

МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ БИОМАССЫ ДЕРЕВЬЕВ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ВИДОВ ПО ДИАМЕТРУ КРОНЫ В СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДРОНОВ*

В. А. Усольцев^{1,2}, И. С. Цепордей², В. П. Часовских³

¹Уральский государственный лесотехнический университет
Российская Федерация, 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

²Ботанический сад УрО РАН
Российская Федерация, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а

³Уральский государственный экономический университет
Российская Федерация, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 62

В связи с изменением климата и потенциальной возможностью его стабилизации с помощью управляемых лесов и оценки их углерод депонирующей способности, особую актуальность приобретает возможность оперативной оценки биомассы и органического углерода лесного покрова. В последние годы технологии дистанционного зондирования лесов на основе беспилотных летательных аппаратов (дронов) позволили получать значения параметров крон деревьев с максимально близкого расстояния, что обеспечивает не только высокую точность и скорость измерений, но и возможность различать деревья по видовому составу. В настоящем исследовании предпринята попытка разработки аллометрических моделей, предназначенных для оценки биомассы деревьев лесообразующих родов России по диаметру кроны. Для реализации поставленной цели исследования использована авторская база данных в количестве 15200 определений биомассы деревьев. Из нее отобраны 1665 модельных деревьев пяти хвойных и 780 модельных деревьев шести лиственных видов. Поскольку фактические значения биомассы деревьев представлены в базе данных несколькими викириующими видами в пределах рода, анализ зависимости биомассы дерева от его диаметра кроны выполнен на уровне родов и подродов. Рассчитан пакет аллометрических моделей биомассы деревьев полного фракционного состава для каждого рода и подрода, все регрессионные коэффициенты которых значимы на уровне $p < 0,001$. Предложенные аллометрические модели могут быть использованы при оценках биомассы и органического углерода деревьев и древостоев лесообразующих родов России на основе цифровой фотограмметрии визуальных данных, получаемых с помощью дронов.

Ключевые слова: биомасса деревьев, дистанционное зондирование полог, дроны, аллометрические модели.

Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 4, P. 300–305

MODELS FOR ESTIMATING BIOMASS OF FOREST-FORMING SPECIES BY CROWN DIAMETER AS RELATED TO DRONE INVOLVING

V. A. Usoltsev^{1,2}, I. S. Tsepordey², V. P. Chasovskikh³

¹Ural State Forest Engineering University
37, Siberian tract, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation

²Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
202a, 8 Marta Str., Yekaterinburg, 620144, Russian Federation

³Ural State University of Economics
62, 8 March Str., Yekaterinburg, 620144, Russian Federation

Due to climate change and the potential possibility of its stabilization with the help of managed forests and assessment of their carbon depositing capacity, the possibility of operational assessment of biomass and organic carbon of forest cover becomes particularly relevant. In recent years, remote sensing technologies of forests based on unmanned aerial vehicles (drones) have made it possible to obtain the values of the parameters of tree crowns from as close distance as possible. That provides not only high accuracy and speed of measurements, but also the ability to distinguish trees by species composition. In this study, an attempt is made to develop allometric models designed to estimate the biomass of trees of forest-forming genera in Russia by crown diameter. To achieve the research goal, an author's database of 15200 definitions of tree biomass was used. A number of 1665 model trees of five coniferous and 780 model

* Работа выполнена согласно государственному заданию Ботанического сада УрО РАН.

trees of six deciduous species were selected from it. Since the actual values of the biomass of trees are presented in the database by several vicarious species within the genus, the analysis of the dependence of the biomass of a tree on its crown diameter is performed at the level of genera and subgenera. A package of allometric models of the biomass of trees of full component composition for each genera and subgenera is calculated, all regression coefficients of which are significant at the level of $p < 0,001$. The proposed allometric models can be used to estimate the biomass and organic carbon of trees and stands of forest-forming genera in Russia based on digital photogrammetry of visual data obtained using drones.

Keywords: tree biomass, remote sensing of the canopy, drones, allometric models.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях часто требуется оперативно оценивать углерод депонирующую способность насаждений на некоторых лесных участках как в данный момент времени, так и с определенными временными интервалами. Методы фотограмметрии на основе аэрофотосъемки дали возможность определять размеры крон деревьев с большей точностью, чем при наземной таксации [2; 18]. Сегодня большие перспективы в этом направлении открываются при использовании беспилотных летательных аппаратов, или дронов [3; 13; 17].

В настоящем исследовании предпринята попытка разработки аллометрических моделей, предназначенных для оценки биомассы деревьев лесобразующих родов России по диаметру кроны. Предполагается, что при измерении диаметра кроны с помощью дронов можно оперативно и с небольшими трудозатратами оценивать биомассу деревьев на лесных участках. К настоящему времени имеется большой набор аллометрических моделей и таблиц для оценки биомассы деревьев по диаметру ствола на высоте груди для разных древесных видов в разных странах [15]. Эти модели можно использовать при оценке биомассы деревьев и древостоев путем установления связей между диаметром ствола и параметрами крон, оцененными путем цифровой фотограмметрии [5].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для реализации поставленной цели исследования из сформированной базы данных в количестве 15200 определений [16] отобраны 1665 модельных деревьев пяти хвойных и 780 модельных деревьев шести лист-

венных видов. Поскольку фактические значения биомассы деревьев представлены в базе данных несколькими викарирующими видами в пределах рода, наш анализ зависимости биомассы дерева от его диаметра кроны выполнен на уровне родов и подродов. Для некоторых родов не было возможности рассчитать зависимость биомассы корней от диаметра кроны вследствие нехватки данных, и в таких случаях для каждого рассчитано среднее отношение массы корней к надземной. Обработка экспериментального материала выполнена по программе многофакторного регрессионного анализа Statgraphics-19 (<http://www.statgraphics.com/>).

Принята следующая структура аллометрической модели:

$$\ln P_i = a_0 + a_1(\ln Dcr), \quad (1)$$

где P_i – биомасса i -й фракции в абсолютно сухом состоянии, кг (ствола, ветвей, хвои (листья), надземной и корней, соответственно P_s , P_b , P_f , P_a и P_r); Dcr – диаметр кроны, м. При расчете моделей (1) применена их коррекция на логарифмическое преобразование [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты расчета модели (1) представлены в табл. 1. Все регрессионные коэффициенты моделей, представленных в табл. 1, достоверны на уровне $p < 0,001$, что обеспечивает воспроизводимость полученных результатов [8].

Для родов (подродов) с недостаточной представленностью фактических данных о биомассе корней предлагаются средние показатели относительной биомассы корней Pr/Pa [4] (табл. 2).

Таблица 1
Результаты расчета моделей (1)

Род (подрод)	Зависимая переменная	Регрессионные коэффициенты модели (1)		$adjR^{2**}$	SE***
		a_0^*	a_1		
Хвойные роды (подроды)					
Подрод <i>Pinus</i> L. (двуххвойные сосны)	$\ln P_s$	1,3728	3,1588	0,775	1,04
	$\ln P_b$	-1,0900	3,3297	0,862	0,82
	$\ln P_f$	-1,0441	2,6438	0,825	0,75
	$\ln P_a$	1,5231	3,1102	0,809	0,92
	$\ln P_r$	0,2914	2,1315	0,747	0,83
<i>Picea</i> L.	$\ln P_s$	-0,6877	4,2035	0,792	1,02
	$\ln P_b$	-1,3117	3,3039	0,816	0,74
	$\ln P_f$	-0,9527	2,7751	0,730	0,80
	$\ln P_a$	0,1182	3,7837	0,805	0,88
	$\ln P_r$	-1,6477	3,9079	0,859	0,77

Окончание табл. 1

Род (подрод)	Зависимая переменная	Регрессионные коэффициенты модели (1)		$adjR^{2**}$	SE***
		a_0^*	a_1		
<i>Abies</i> Mill.	$\ln P_s$	3,6862	1,3585	0,372	0,81
	$\ln P_b$	1,0775	1,7742	0,632	0,64
	$\ln P_f$	1,2636	1,3489	0,435	0,72
	$\ln P_a$	3,8127	1,4107	0,429	0,75
	$\ln P_r$	-1,2933	3,3717	0,651	0,81
<i>Larix</i> Mill.	$\ln P_s$	0,9429	2,9603	0,783	1,00
	$\ln P_b$	-1,1464	2,8661	0,905	0,59
	$\ln P_f$	-1,9992	2,3545	0,872	0,58
	$\ln P_a$	1,1248	2,8846	0,818	0,87
	$\ln P_r$	0,7476	2,2860	0,694	0,70
Подрод <i>Haploxylon</i> (пятихвойные сосны)	$\ln P_s$	-0,1241	3,2871	0,791	0,88
	$\ln P_b$	-1,0706	3,0015	0,815	0,75
	$\ln P_f$	-1,2602	2,6026	0,843	0,58
	$\ln P_a$	0,3997	3,1351	0,828	0,75
	$\ln P_r$	—	—	—	—
Лиственные роды					
<i>Betula</i> L.	$\ln P_s$	0,8579	2,6037	0,790	0,84
	$\ln P_b$	-1,3154	2,8681	0,797	0,91
	$\ln P_f$	-1,9517	2,1248	0,768	0,77
	$\ln P_a$	1,0178	2,6137	0,801	0,82
	$\ln P_r$	1,5260	1,7772	0,666	0,65
<i>Populus</i> L.	$\ln P_s$	0,3936	2,7814	0,823	0,49
	$\ln P_b$	-2,6687	3,3665	0,839	0,60
	$\ln P_f$	-3,2737	2,7978	0,785	0,59
	$\ln P_a$	0,4242	2,8530	0,835	0,48
	$\ln P_r$	—	—	—	—
<i>Tilia</i> L.	$\ln P_s$	3,0110	1,5766	0,551	0,85
	$\ln P_b$	1,3755	1,2847	0,559	0,76
	$\ln P_f$	-0,4838	1,1621	0,563	0,68
	$\ln P_a$	3,2197	1,5153	0,560	0,80
	$\ln P_r$	—	—	—	—
<i>Alnus</i> Gaertn.	$\ln P_s$	3,0247	1,6498	0,455	0,91
	$\ln P_b$	0,2965	1,8645	0,578	0,85
	$\ln P_f$	-0,4115	1,2563	0,502	0,67
	$\ln P_a$	3,1164	1,6524	0,475	0,88
	$\ln P_r$	—	—	—	—
<i>Salix</i> L.	$\ln P_s$	-1,0895	3,1089	0,975	0,31
	$\ln P_b$	-2,5138	3,2841	0,964	0,38
	$\ln P_f$	-2,3712	2,1896	0,939	0,34
	$\ln P_a$	-0,7207	3,0777	0,990	0,18
	$\ln P_r$	—	—	—	—
<i>Quercus</i> L.	$\ln P_s$	0,8666	2,9430	0,704	1,09
	$\ln P_b$	-2,0350	3,5970	0,854	0,85
	$\ln P_f$	-2,5974	2,4818	0,852	0,59
	$\ln P_a$	0,8901	3,0291	0,744	1,01
	$\ln P_r$	2,4277	1,4565	0,814	0,40

Примечание. Здесь и далее:

*Свободный член модели скорректирован на логарифмическое преобразование [6];

** $adjR^2$ – коэффициент детерминации, скорректированный на число переменных;

***SE – стандартная ошибка уравнения.

Таблица 2

Средние показатели отношения массы корней к надземной для пяти родов (подродов)

Показатель	<i>Haploxylon</i>	<i>Populus</i>	<i>Tilia</i>	<i>Alnus</i>	<i>Salix</i>
Pr/Pa	0,24±0,10	0,33±0,08	0,27±0,11	0,22±0,07	0,27±0,09

Далее нами рассчитаны аллометрические модели вида

$$\ln D = a_0 + a_1(\ln Dcr), \quad (2)$$

где D – диаметр ствола на высоте груди, см. Результаты расчета моделей (2) представлены в табл. 3. Модели (2) служат промежуточным звеном, когда есть не-

обходимость использовать построенные модели (1) при известных параметрах крон, полученных путем цифровой фотограмметрии, для оценки биомассы деревьев на локальных объектах, используя соответствующие локальные аллометрические модели, в которых независимая переменная представлена диаметром ствола на высоте груди [15].

Таблица 3
Результаты расчета моделей (2)

Род (подрод)	Зависимая переменная	Регрессионные коэффициенты модели (2)		$adjR^2$	SE
		a_0	a_1		
Хвойные роды (подроды)					
Подрод <i>Pinus</i> (двухвойные сосны)	$\ln D$	1,7295	1,0355	0,621	0,44
<i>Picea</i>	$\ln D$	0,6686	1,7819	0,804	0,41
<i>Abies</i>	$\ln D$	2,4659	0,5337	0,355	0,33
<i>Larix</i>	$\ln D$	1,4623	1,0931	0,769	0,35
Подрод <i>Haploxylon</i> (пятихвойные сосны)	$\ln D$	1,1484	1,2838	0,793	0,34
Лиственные роды					
<i>Betula</i>	$\ln D$	1,2705	1,0250	0,791	0,32
<i>Populus</i>	$\ln D$	1,0422	1,2074	0,850	0,19
<i>Tilia</i>	$\ln D$	2,6741	0,3339	0,490	0,20
<i>Alnus</i>	$\ln D$	2,1375	0,6572	0,458	0,36
<i>Salix</i>	$\ln D$	0,7066	1,3175	0,981	0,11
<i>Quercus</i>	$\ln D$	1,1187	1,1959	0,740	0,40

В литературе имеются многочисленные модели, аналогичные (2), для разных древесных видов. Коэффициенты детерминации, характеризующие долю объясненной изменчивости диаметра ствола посредством диаметра кроны, варьируют в довольно широких пределах. Например, у пихты, ели и бука в Хорватии он равен соответственно 0,909; 0,961 и 0,956 [14], у сосны ладанной в США – 0,762 [12], у семи лиственных видов США он варьирует от 0,610 до 0,870 [7], а у других шести лиственных видов США – от 0,560 до 0,870 [10]. Коэффициенты детерминации в наших моделях (2) варьируют у разных родов от 0,355 до 0,981. Но даже при самом низком коэффициенте, например, в модели (2) для липы или в модели (1) для пихты, регрессионный коэффициент модели значим на уровне $p < 0,001$ ($t = 7,0-7,1 > t_{001} = 3,29$). Наличие низких коэффициентов детерминации в некоторых случаях в наших моделях (2) возможно, вызвано широкой территориальной представленностью видов с соответственно большой долей неучтенного «шума». В то же время, высокие коэффициенты детерминации трех древесных видов в Хорватии (0,90–0,96) можно объяснить тем, что модели были получены в пределах одного локального объекта – национального парка, где было замерено по 2 тыс. деревьев каждого вида [14].

Картирование деревьев с помощью дронов с минимальной высоты дает возможность не только определять диаметры крон с большой точностью и скоростью, но и безошибочно идентифицировать древесные породы, даже такие, как ель и пихта, например, по противоположной ориентации шишек. Если в саксальниках, представляющих открытые (разреженные) древесные сообщества, определение массы деревьев по диаметру кроны, оцениваемому путем дешифро-

вочной таксации аэрофотоснимков, было общепринятой процедурой [1], то в сомкнутых древостоях часть деревьев остается скрытой под основным пологом, обуславливая тем самым некоторое занижение оценок биомассы [9]. Величина этого занижения пропорциональна сомкнутости полога, и технически возможно внесение поправок в результате специального исследования. В случаях, когда путем периодических облетов одного и того же участка оценивается изменение биомассы древостоя во времени, вероятность возможного занижения оценок существенно снижается или становится сопоставимой с погрешностью замера параметров крон.

Рассчитанные по моделям (1) значения биомассы деревьев и древостоев могут быть пересчитаны на количество депонируемого в биомассе углерода по коэффициенту 0,5 [11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, для основных древесных родов и подродов, произрастающих на территории России, впервые предложен пакет аллометрических моделей для оценки биомассы деревьев по диаметру кроны. Все регрессионные коэффициенты построенных моделей значимы на уровне $p < 0,001$, что обеспечивает воспроизводимость полученных результатов. Применение беспилотных летательных аппаратов (дронов) дает возможность оперативно и с небольшими затратами оценивать биомассу деревьев по регистрируемым показателям диаметра кроны, в том числе, с учетом дифференциации полога по видовому составу.

Предложенные аллометрические модели могут быть использованы при оценках биомассы и органического углерода деревьев и древостоев лесообра-

зующих родов России на основе цифровой фотограмметрии визуальных данных, получаемых с помощью дронов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Леонтьев В. Л. Об определении запаса саксаульников // Ботанический журнал. 1950. Т. 35, № 6. С. 637–645.

2. Синицын С. Г., Сухих В. И. Использование материалов многозональных и космических съемок в интересах лесного хозяйства // Аэрокосмические исследования Земли. М.: Наука, 1979. С. 86–101.

3. Усольцев В. А. Перспективы 3D-моделирования пространственной структуры фитомассы лесов // Экопотенциал. 2014. № 2 (6). С. 55–71. <https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/3356/1/>.

4. Усольцев В. А., Цепордей И. С. Отношение подземной биомассы к надземной лесообразующих видов Евразии в градиентах температур и осадков // Биосфера. 2022. Т. 14, № 3. С. 158–179. DOI: 10.24855/biosfera.v14i2.673.

5. Balenovic I., Seletkovic A., Pernar R. et al. Regression models of DBH estimation for photogrammetric measurement // Šumarski list. 2012. No. 3–4. P. 129–139 (словен. с англ. резюме).

6. Baskerville G. L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass // Canadian Journal of Forest Research. 1972. Vol. 2(1). P. 49–53.

7. Francis J. K. The relationship of bole diameters and crown widths of seven bottomland hardwood species. USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station. Research Note SO-328, 1986. 3 p.

8. Guttinger S. The limits of replicability // European Journal for Philosophy of Science. 2020. Vol. 10. P. 1–17.

9. Ilvessalo Y. On the correlation between the crown diameter and the stem of trees // Communicationes Instituti Forestalis Fenniae. 1950. Vol. 38(2). P. 1–32.

10. Lockhart B. R., Weih R. Jr., Smith K. M. Crown radius and diameter at breast height relationships for six bottomland hardwood species // Journal of the Arkansas Academy of Science. 2005. Vol. 59. P. 110–115.

11. Matthews G. The carbon content of trees. Technical Paper 4. Edinburgh: Forestry Commission, 1993. 21 p.

12. Minor C. O. Stem-crown diameter relationships in southern pine // Journal of Forestry. 1951. Vol. 49 (7). P. 490–493.

13. Olsson H., Egberth M., Engberg J. et al. Current and emerging operational uses of remote sensing in Swedish forestry // McRoberts R. E., Reams G. A., Van Deusen P. C., McWilliams W. H. (eds.). Proceedings of the XVII-th annual forest inventory and analysis symposium; October 3–6, 2005; Portland, ME. Gen. Tech. Rep. WO-77. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 2007. P. 39–46.

14. Pernar R. Application of results of aerial photograph interpretation and geographical information system for planning in forestry // Glasnik za šumske pokuse: Annales Experimentis Silvarum Culturae Provehendis. 1997. Vol. 34. P. 141–189.

15. Ter-Mikaelian M. T., Korzukhin M. D. Biomass equations for sixty-five North American tree species. Forest Ecology and Management. 1997. Vol. 97. P. 1–24.

16. Usoltsev V. A. Single-tree biomass data for remote sensing and ground measuring of Eurasian forests: digital version. The second edition, enlarged. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University; Botanical Garden of Ural Branch of RAS, 2020. <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/9647>.

17. van Geffen F., Heim B., Brieger F. et al. SiDro-Forest: a comprehensive forest inventory of Siberian boreal forest investigations including drone-based point clouds, individually labeled trees, synthetically generated tree crowns, and Sentinel-2 labeled image patches // Earth System Science Data. 2022. Vol. 14. P. 4967–4994. <https://doi.org/10.5194/essd-14-4967-2022>.

18. Weaver T. Area-mass relationships for common Montana shrubs // Proceedings of the Montana Academy of Sciences. 1977. Vol. 37. P. 54–58.

REFERENCES

1. Leontiev V. L. On estimating the biomass of saxaul (*Haloxylon persicum*) forests // Botanical Journal. 1950. Vol. 35. No. 6. P. 637–645.

2. Sinitsyn S. G., Sukhikh V. I. The use of materials of multi-zone and space surveys in the interests of forestry // Aerospace research of the Earth. Moscow: Nauka, 1979. P. 86–101.

3. Usoltsev V. A. Prospects of 3D-modelling of the spatial structure of forest biomass // Eco-Potential. 2014. № 2 (6). P. 55–71.

4. Usoltsev V. A., Tsepordey I. S. Root to shoot biomass ratios of forest-forming species along temperature and precipitation gradients in Eurasia // Biosphere. 2022. Vol. 14. No. 3. P. 158–179.

5. Balenovic I., Seletkovic A., Pernar R. et al. Regression models of DBH estimation for photogrammetric measurement // Šumarski list. 2012. No. 3–4. P. 129–139 (словен. с англ. резюме).

6. Baskerville G. L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass // Canadian Journal of Forest Research. 1972. Vol. 2(1). P. 49–53.

7. Francis J.K. The relationship of bole diameters and crown widths of seven bottomland hardwood species. USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station. Research Note SO-328, 1986. 3 p.

8. Guttinger S. The limits of replicability // European Journal for Philosophy of Science. 2020. Vol. 10. P. 1–17.

9. Ilvessalo Y. On the correlation between the crown diameter and the stem of trees // Communicationes Instituti Forestalis Fenniae. 1950. Vol. 38(2). P. 1–32.

10. Lockhart B. R., Weih R. Jr., Smith K. M. Crown radius and diameter at breast height relationships for six bottomland hardwood species // Journal of the Arkansas Academy of Science. 2005. Vol. 59. P. 110–115.

11. Matthews G. The carbon content of trees. Technical Paper 4. Edinburgh: Forestry Commission, 1993. 21 p.

12. Minor C. O. Stem-crown diameter relationships in southern pine // Journal of Forestry. 1951. Vol. 49 (7). P. 490–493.

13. Olsson H., Egberth M., Engberg J. et al. Current and emerging operational uses of remote sensing in Swedish forestry // McRoberts R.E., Reams G.A., Van Deusen P.C., McWilliams W.H. (eds.). Proceedings of the XVII-th annual forest inventory and analysis symposium; Octo-

ber 3–6, 2005; Portland, ME. Gen. Tech. Rep. WO-77. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 2007. P. 39–46.

14. Pernar R. Application of results of aerial photograph interpretation and geographical information system for planning in forestry // *Glasnik za šumske pokuse: Annales Experimentis Silvarum Culturae Provehendis*. 1997. Vol. 34. P. 141–189.

15. Ter-Mikaelian M. T, Korzukhin M. D. Biomass equations for sixty-five North American tree species. *Forest Ecology and Management*. 1997. Vol. 97. P. 1–24.

16. Usoltsev V. A. Single-tree biomass data for remote sensing and ground measuring of Eurasian forests: digital version. The second edition, enlarged. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University; Botanical

Garden of Ural Branch of RAS, 2020. <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/9647>.

17. van Geffen F., Heim B., Brieger F. et al. SiDro-Forest: a comprehensive forest inventory of Siberian boreal forest investigations including drone-based point clouds, individually labeled trees, synthetically generated tree crowns, and Sentinel-2 labeled image patches // *Earth System Science Data*. 2022. Vol. 14. P. 4967–4994. <https://doi.org/10.5194/essd-14-4967-2022>.

18. Weaver T. Area-mass relationships for common Montana shrubs // *Proceedings of the Montana Academy of Sciences*. 1977. Vol. 37. P. 54–58.

© Усольцев В. А., Цепордей И. С.,
Часовских В. П., 2023

Поступила в редакцию 15.02.2023
Принята к печати 14.07.2023