

науки и техники АПК Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 63-66.

8. Мирончик А.Ф. Межвидовая динамика аккумуляции ⁹⁰Sr основными древесными породами лесов могилевской области // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2006. – № 4 (13). – С. 221-229.

9. Терешкина О.И., Рудакова И.П., Самылина И.А. Оценка риска радионуклидного загрязнения лекарственного растительного сырья. Фармация. – 2011. – № 7. – С. 3-6.

10. Dyakova N.A., Slivkin A.I., Gaponov S.P., Myndra A.A., Samylina I.A. Analysis of the relationship between the accumulation of pollutants and principal groups of biologically active substances in medicinal plant raw materials using knotweed (*Polygonum aviculare* L.) and broadleaf plantain (*Plantago major* L.) leaves as examples // Pharmaceutical Chemistry Journal. – 2015. – Т. 49. – № 6. – Р. 384-387. DOI: 10.1007/s11094-015-1289-6

Статья поступила в редакцию 07.11.2019 г.

Dyakova N.A. Assessment of radionuclide contamination of plant resources of the Voronezh region by example of leaves of winter linden tree // Bull. of the State Nikita Botan. Gard. – 2020. – № 134. – Р. 87-93.

As part of the study, the activity of artificial and natural radionuclides (strontium-90, cesium-137, potassium-40, thorium-232, radium-226) was determined in 36 samples of medicinal plant raw materials of the core and upper soil layers on which the plants were grown. All samples meet the existing requirements of regulatory documentation on radionuclide activity. The average value of the strontium-90 accumulation coefficient was 0.39, in different samples of the region it varied from 0.31 to 0.60. Cesium-137 accumulation coefficients ranged from 0.29 to 0.65 at an average of 0.39. For thorium-232, the average accumulation coefficient in the core lip flowers is 0.15 and took values in the samples studied from 0.09 to 0.231. For potassium-40, the average accumulation ratio in the feed was 0.98 and varied from 0.71 to 1.29, and for radium-226 – 0.47, with a variation from 0.39 to 0.59.

Key words: *Central Black Earth; winter linden tree; radionuclides; accumulation coefficient*

УДК 712.413: 574.23: 574.24

DOI: 10.36305/0513-1634-2020-134-93-100

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ И АВАРИЙНОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ JUNIPERUS VIRGINIANA L.

Владимир Олегович Корниенко

Донецкий национальный университет,
г. Донецк, ул. Университетская, 24
E-mail: kornienkovo@mail.ru

Экспериментально установлено, что монокуртины можжевельника виргинского обладают меньшей устойчивостью к действию природно-климатических факторов, во-первых это связано с увеличением высоты расположения биомассы дерева и, во-вторых, с приложением нагрузок в виде силы ветра, а также дополнительной массы при выпадении осадков. По результатам проведения диагностики состояния и мониторинга устойчивости насаждений *Juniperus virginiana* L. аварийность оценена в 14% от общего количества (585 шт.).

Ключевые слова: *можжевельник виргинский; биомеханика; архитектура; аварийность; механическая устойчивость; температура; статические нагрузки*

Введение

Архитектура и форма кроны деревьев оказывают существенное влияние на устойчивость к динамическим и статическим нагрузкам [6 – 9, 11, 12, 14, 16, 17]. При резком изменении природно-климатических условий устойчивость растений снижается. Это может быть связано с модулем упругости древесных тканей растения [2, 6, 13, 15], с циклическими процессами заморозки/оттаивания [2, 6, 10, 14, 18, 19], наличием воды (живицы) в древесине, приводящей к разрывам (или микроразрывам) тканей фракциями льда в просветах сосудов [10], действию критических нагрузок на растение при ослабленном состоянии и т.д.

Проведенные нами ранее исследования биомеханических свойств *Juniperus virginiana* L. (можжевельника виргинского) [4] показали, что потеря упругости приводит к медленным изгибам побегов, что, в свою очередь, отражается на площади проекции кроны, а также на её светопроницаемости и, как следствие, на температуре и влажности под пологом [4, 6]. Световое состояние насаждений является значимым фактором, влияющим на фитоклиматические и биоэкологические особенности степных лесонасаждений [1]. Изменение фитоклимата под пологом в сторону повышенной освещённости из-за изменения архитектуры приводит к снижению устойчивости и, как следствие, неспособности древесных растений сопротивляться натиску агрессивной травянистой и древесно-кустарниковой растительности [4]. В связи с недостаточной изученностью актуальных с фундаментальной и прикладной позиций вопросов по влиянию природно-климатических факторов на механическую устойчивость, аварийность, структурно-функциональную организацию и адаптацию биосистем в условиях трансформированной среды обитания необходимы дальнейшие исследования в этой области. Действие таких факторов может привести к изменению формы кроны, снижению жизнеспособности и долговечности как солитерных растений, группы (куртины), так и экотопа. Поэтому целью работы являлось изучение влияния природно-климатических факторов на механическую устойчивость и аварийность древесных растений на примере *Juniperus virginiana* L.

Объекты и методы исследования

Мониторинговые исследования проводились с 2017 по 2019 гг. в коллекционных насаждениях дендрария Донецкого ботанического сада (ДБС), расположенного в восточной части г. Донецка – крупного промышленного центра Донецкого региона. Коллекция можжевельников начала формироваться в 70-х гг., в 1971 – 1972 гг. было высажено более 500 саженцев *J. virginiana*, полученных из Мариупольской лесной научно-исследовательской станции (Донецкая обл.).

Исследуемая контрольная группа *J. virginiana* отличалась от экспериментальной наличием первого ряда *J. sabina* L. (можжевельник казацкий), растущего по периметру и создающего преграду для прохождения прямых солнечных лучей (рис. 1). Экспериментальная группа – монокуртины можжевельника виргинского, образованные в 2017 году после вырубki первого ряда можжевельника казацкого. Следует отметить, что до проведения этих санитарных мероприятий все растения экспериментальных куртин находились в одинаковых условиях с контролем и имели вертикальную ориентацию стволов.



Рис. 1 Контрольная куртина *Juniperus virginiana* L. на территории дендрария Донецкого ботанического сада (фото Корниенко В.О., 2019 год)

Результаты визуального осмотра *J. virginiana* фиксировались с помощью фотоаппарата Nikon Coolpix S2600, обработку и анализ изображений проводили в программе AxioVision Rel. 4.8. Высоту деревьев измеряли с помощью электронного высотомера – НЕС Haglof, диаметр стволов измеряли с помощью мерной вилки фирмы Haglof, а диаметр скелетных ветвей при помощи штангенциркуля.

Механическую устойчивость и аварийность растений определяли методами, описанными в предыдущих работах [2, 3, 5].

Для статистической обработки данных использовали программы «Statistica 8» (StatSoftInc.) и «Excel 2010» (Microsoft Corporation). Достоверность отличий средних значений полученных данных определяли с использованием t-критерия Стьюдента.

Результаты и обсуждение

Вследствие выпадения твёрдых осадков (налипание снега, наледи) после продолжительной тёплой зимы (декабрь 2017 года) для многих древесных растений в условиях города Донецка были характерны необратимые деформации стволов и скелетных ветвей. В период с 2017 по 2019 гг. нами были исследованы куртины можжевельника виргинского, как модельные, на устойчивость к таким климатическим условиям.

В результате действия критических нагрузок наблюдалось изменение формы кроны. Для многих древесных растений при такой нагрузке деформация ветвей и стволов оказалась необратимой, и при снятии действующей массы форма кроны не восстанавливалась (рис. 2).



А)



Б)

Рис. 2 Пример изменения положения скелетных ветвей *Juniperus virginiana* L. в результате снятия статической нагрузки в виде снега и наледи (фото Корниенко В.О., 2018 год)

Примечание: областью выделены скелетные ветви с нагрузкой в виде налипшего снега – А) и скелетные ветви без нагрузки – Б).

В контрольных куртинах *J. virginiana* при действии статических нагрузок углы отклонения стволов от вертикали составляли не более 7 ± 3 град (норма), в экспериментальных – $42,4 \pm 20,0$ град (рис. 3).



Рис. 3 Общая схема отклонения стволов и скелетных ветвей *Juniperus virginiana* L., потерявших механическую устойчивость в экспериментальных группах (фото Корниенко В.О., 2018 год)

Однако среднее значение параметра не демонстрировало полной картины поведения древесного растения при изгибе. В связи с этим мы выделили три участка, разделяющих ствол растения по основным линиям изгиба (рис. 4).



Рис. 4 Углы отклонения стволов *Juniperus virginiana* L. в экспериментальных куртинах (общая схема) (фото Корниенко В.О., 2019 год)

На участке «А» угол отклонения в среднем составляет 24 ± 12 град, затем вторая линия изгиба «Б» со значениями 66 ± 17 град и третья «В», имеющая максимальный угол отклонения 99 ± 13 град. В наших исследованиях схема, приведенная на рисунке 4, характерна для всех стволов и скелетных ветвей, потерявших упругость.

Такие изменения архитектоники кроны, выявленные в 2018 году, должны были отразиться на устойчивости и аварийности не только отдельных экземпляров можжевельника виргинского, но и на куртинах в целом.

Для контрольных и экспериментальных куртин мы определили общую схему формы куртин и их центра масс (рис. 5). Общая закономерность следующая: чем ниже расположен центр масс на абрисе растения, тем устойчивее дерево. Экспериментальные куртины обладают меньшей устойчивостью, что связано, во-первых, с увеличением высоты расположения биомассы дерева, и во-вторых, с приложением нагрузок в виде силы ветра, а также дополнительной массы при выпадении осадков.

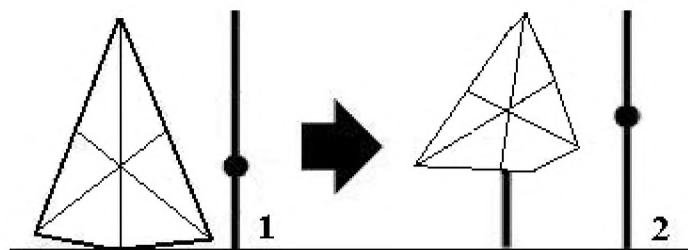


Рис. 5 Упрощенная схема формы кроны и расположения центра масс (•) относительно высоты для контрольных (1) и экспериментальных (2) куртин *Juniperus virginiana* L. на территории дендрария ДБС (авторская схема Корниенко В.О.)

В результате действия природно-климатических факторов (ветер, температура, осадки) экологические последствия для деревьев можжевельника виргинского экспериментальных куртин на территории дендрария ДБС были следующими.

1. Изменение формы кроны вследствие потери упругости скелетными ветвями в 2017/2018 году приводило к неравномерному прогреву стволов лучами солнца. В результате биологическая система по биомеханическим свойствам имела свойства неоднородности. Прогретая (нижняя) часть ствола функционировала в области упругой деформации, а замороженная (верхняя) представляла собой биомассу (с учетом наледи и снегового покрова), которая искусственно повышала критическую нагрузку. Выделены несколько вариантов последствий потери механической устойчивости: первый – необратимая деформация стволов растений (рис. 4), второй – облом ствола на высоте в среднем $1,5 \pm 0,5$ м (рис. 6 А) и третий, когда растения *J. virginiana* вываливались в зоне корневой шейки (рис. 6 Б).



А



Б

Рис. 6. Потеря механической устойчивости стволов *Juniperus virginiana* L. (облом стволов в экспериментальных куртинах на высоте в среднем $1,5 \pm 0,5$ м)
(фото в дендрарии ДБС, Корниенко В.О., 2019 год)

2. Аварийность всех экспериментальных куртин определена как высокая (растения на периферии имели 0-4 балла показателя аварийности; деревья, произрастающие в центре куртины – 5-6 баллов).

3. По результатам проведения диагностики состояния и мониторинга механической устойчивости насаждений *J. virginiana* в 2019 году гибель деревьев оценена в 14% от общего количества (585 шт.), по сравнению с 2017 годом. Оценка жизнеспособности в 2019 году показала, что растений имеющих хорошее состояние – 56%, удовлетворительное – 21%, и неудовлетворительное – 10%.

Необходимо отметить, что описанные нами эффекты проявляются не только на выбранных модельных куртинах можжевельника виргинского, но также и на многих других видах древесных растений, применяемых в практике озеленения города Донецка. Так, например, у дуба черешчатого с 2011 по 2018 год наблюдается постепенное изменение формы кроны (от пирамидальной до раскидистой с выпадением из контура основных скелетных ветвей) вследствие потери упругости и действия природно-климатических факторов (возраст деревьев 40 лет). Для деревьев берёзы повислой возрастом 10-12 лет (годы наблюдений 2015-2018) также наблюдается потеря устойчивости вследствие действия климатических факторов: из обследованных после снежной бури в городских насаждениях деревьев (710 шт.) выявлено 11% обрубленных.

Выводы

Снижение механической устойчивости происходит с увеличением высоты расположения биомассы дерева и с приложением нагрузок в виде силы ветра, а также дополнительной массы при выпадении осадков. Наиболее критично это проявляется при смене сезона, или резких перепадах температуры с выпадением осадков.

По результатам проведения диагностики состояния и мониторинга устойчивости насаждений *Juniperus virginiana* L. аварийность деревьев состоянием на 2019 год оценена в 14% от общего количества (585 шт.). Для всех растений контрольной группы показатель аварийности составлял 8-10 б, а для деревьев экспериментальной группы 0-4 б (на периферии) и 5-6 б (для растений произрастающих в центре).

Рекомендации

Для сохранения растений необходимо снижать действие света на нижнюю часть ствола методом обматывания их защитным волокном или применением защитных чехлов. Укреплению канатами и подпорками подлежат деревья, необратимо изогнувшиеся вследствие потери упругости и разрывов тканей от критической нагрузки.

Список литературы

1. Бельгард А.Л. Степное лесоведение. – М.: Лесная промышленность, 1971. – 336 с.
2. Корниенко В.О., Калаев В.Н., Елизаров А.О. Влияние температуры на биомеханические свойства древесных растений в условиях закрытого и открытого грунта // Сибирский лесной журнал, 2018. – №6. – С. 91-102. DOI: 10.15372/SJFS20180608
3. Корниенко В.О., Калаев В.Н. Механическая устойчивость древесных пород и рекомендации по предотвращению их аварийности в городских насаждениях. – Воронеж: Роза Ветров, 2018. – 92 с.
4. Корниенко В.О., Калаев В.Н. Экологическое значение биомеханических свойств древесных растений на примере *Juniperus virginiana* L. // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация, 2018. – № 1. – С. 97-103.
5. Корниенко В.О., Приходько С.А. Новый методический подход к оценке механической устойчивости зелёных насаждений в городской среде // Самарский научный вестник, 2018. – Т. 7. – № 2 (23). – С. 72-77.

6. Корниенко В.О., Нецветов М.В. Криоскопия влаги и температурная зависимость модуля упругости древесины // Вісті Біосферного заповідника "Асканія-Нова", 2014. – Т. 16. – С. 88–94.
7. Нецветов М.В. Вплив вітру на освітленість піднаметового простору *Acer saccharinum* L. та *A. pseudoplatanus* L. // Український ботанічний журнал, 2012. – Т. 69. – № 1. – С. 46–53.
8. Dahle G.A., James K.R., Kane B., Grabosky J.C., Detter A.A review of factors that affect the static loadbearing capacity of urban trees // Arboriculture & Urban Forestry, 2017. – Vol. 43(3). – P. 89–106.
9. James K.R., Dahle G.A., Grabosky J., Kane B., Detter A. Tree biomechanics literature review: dynamics // Arboriculture & Urban Forestry, 2014. – Vol. 40(1). – P. 1–15. DOI: 10.13140/RG.2.1.1089.1765
10. Mishiro A. Effect of freezing treatments on the bending properties of wood // Bulletin of Tokyo University, 1990. – V. 82. – P. 177–189.
11. Niklas K.J. Plant Allometry: the scaling of form and process. – Chicago: University of Chicago Press, 1994. – 365 p.
12. Niklas K.J. Plant biomechanics: an engineering approach to plant form and function. — Chicago: University of Chicago Press, 1992. — 622 p.
13. Niklas K.J. Tree Biomechanics with Special Reference to Tropical Trees. In: Goldstein G, Santiago LS (eds) Tropical tree physiology: adaptations and responses in a changing environment. – Springer International Publishing, Cham, 2016. – Vol. 6. – P. 413–435. DOI: 10.1007/978-3-319-27422-5_19
14. Niklas K.J., Spatz H.C. Plant physics. – University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA, 2012. – 426 p. DOI: 10.1119/1.4730936
15. Niklas K.J., Spatz H.C. Worldwide correlations of mechanical properties and green wood density // American Journal of Botany, 2010. – Vol. 97 (10). – P. 1587–1594. DOI: 10.3732/ajb.1000150
16. Read J., Stokes A. Plant biomechanics in an ecological context // American journal of botany, 2006. – Vol. 93. – №10. – P. 1546–1565. DOI: 10.3732/ajb.93.10.1546
17. Sellier D., Fourcaud T. Crown structure and wood properties: influence on tree sway and response to high winds // American Journal of Botany, 2009. – N 96. – P. 885–896. DOI: 10.3732/ajb.0800226
18. Szmurku M.B., Campean M., Laurenzi W. Influence of cyclic freezing and thawing upon spruce wood properties // Pro Ligno, 2012. – V. 8(1). – P. 35–43.
19. Szmurku M.B., Campean M., Porojan M., Eur. J. Strength reduction of spruce wood through slow freezing // European Journal of Wood and Wood Products, 2013. – Vol. 71. – P. 205–210. DOI: 10.1007/s00107-013-0667-6

Статья поступила в редакцию 12.06.2020 г.

Kornienko V.O. Influence of the natural and climatic factors on variation in a crown shape, mechanical resistance and an accident rate of woody plants on the example of *Juniperus virginiana* L. // Bull. of the State Nikita Botan. Gard. – 2020. – № 134. – P. 93–100.

It has been experimentally found that the mono groups of *Juniperus virginiana* L. have less resistance to the natural and climatic factors, this is firstly due to increase in the height of biomass of the tree and secondly to application of loads in the form of a wind force, as well as an additional mass in precipitation. According to the results of diagnostics of the state and monitoring of sustainability of *Juniperus virginiana* L. plantings, the accident risk is estimated at 14% of the total number (585 units).

Key words: *Juniperus virginiana*; biomechanics; architectonics; accident risk; mechanical stability; temperature; static loads