

УДК 712.413: 574.2

DOI: [10.26102/2310-6018/2022.36.1.012](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2022.36.1.012)

## Информационная система для дистанционного изучения студентами эколого-биологических особенностей древесных растений и механической устойчивости основных видов деревьев, используемых в озеленении города Донецка

В.О. Корниенко<sup>1</sup>, В.Н. Калаев<sup>2</sup>, А.П. Преображенский<sup>3</sup>, И.Я. Львович<sup>3</sup>,  
А.В. Фирсов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Донецкий национальный университет, Донецк, Украина

<sup>2</sup>Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация

<sup>3</sup>Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Российская Федерация  
[dr\\_huixs@mail.ru](mailto:dr_huixs@mail.ru)

**Резюме.** Разработанная информационная обучающая система содержит наглядный, обобщенный, структурированный материал по механической устойчивости, аварийности и эколого-биологическим особенностям основных видов древесных растений, используемых в озеленении города Донецка: систематическое положение, биология и экология, биогеография, представленность в условиях города Донецка, механическая устойчивость и аварийность, форма кроны, структура кроны, ветроустойчивость, устойчивость к антропогенным факторам, критический возраст в условиях города Донецка, наличие спила / керна в ксилотеке, рекомендации для озеленителей, концепции озеленения, иллюстрации. Информационная система носит обучающий характер, позволяет исследователю достаточно быстро и наглядно ознакомиться с эколого-биологическими особенностями роста и развития древесных растений в условиях степной зоны, на примере промышленного города Донецка, а также с методикой проведения мониторинговых исследований по оценке механической устойчивости древесных растений. Научиться анализировать зависимости параметров механической устойчивости для 18 видов древесных растений, произрастающих в условиях города Донецка. Находить и правильно определять положительные и отрицательные стороны применения различных видов древесных растений с целью озеленения в условиях промышленного города. По окончании обучения, по каждому разделу имеется возможность оценить полученные знания и навыки с помощью интерактивного тестирования. Описываемая информационная система обобщает результаты российских и зарубежных исследований эколого-биологических характеристик представленных видов и дополняет их сведениями об особенностях роста, физико-механических свойств древесины, механической устойчивости к динамическим (ветровым) и статическим (оледенение, налипание снега и т.д.) нагрузкам в условиях крупного промышленного города. Информационная система направлена на качественную подготовку будущих специалистов в области биологии и экологии, способствует внедрению полученных результатов в образовательный процесс (в качестве методического пособия для студентов и аспирантов биологических вузов), а также может использоваться при проведении мониторинговых исследований состояния окружающей среды и оценке аварийности древесных растений.

**Ключевые слова:** информационная система, алгоритм, дистанционное обучение, механическая устойчивость, экология древесных растений, устойчивость деревьев, концепция озеленения, подбор видов.

**Для цитирования:** Корниенко В.О., Калаев В.Н., Преображенский А.П., Львович И.Я., Фирсов А.В. Информационная система для дистанционного изучения студентами эколого-биологических особенностей древесных растений и механической устойчивости основных видов деревьев, используемых в озеленении города Донецка. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2022;10(1). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1077>  
DOI: 10.26102/2310-6018/2022.36.1.012

## Information system for students' remote study of ecological and biological features of woody plants and mechanical stability of the main tree species used in landscaping of Donetsk

V.O. Kornienko<sup>1</sup>, V.N. Kalaev<sup>2</sup>✉, A.P. Preobrazhenskiy<sup>3</sup>, I.Y. Lvovich<sup>3</sup>, A.V. Firsov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Donetsk National University, Donetsk, Ukraine

<sup>2</sup> Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation

<sup>3</sup> Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russian Federation  
[dr\\_huixs@mail.ru](mailto:dr_huixs@mail.ru)✉

**Abstract:** The developed information training system contains visual, generalized, structured material on mechanical stability, accident rate as well as ecological and biological features of the main woody plant species used in the landscaping of Donetsk: systematics, biology and ecology, biogeography, representation in the environment of Donetsk, mechanical stability and accident rate, crown shape, crown structure, wind resistance, resistance to anthropogenic factors, critical age in the environment of Donetsk, the presence of a cross-section/core sample in the xylotheque, recommendations for gardeners, landscaping concepts, illustrations. The information system is educational in nature and allows the researcher to quickly and visually familiarize themselves with the ecological and biological features of the growth and development of woody plants in the steppe zone, drawing on the example of the industrial city of Donetsk, as well as with the methodology of monitoring studies to assess the mechanical stability of woody plants, to learn to analyze the dependences of mechanical stability parameters for 18 species of woody plants growing in the Donetsk environment and to find and accurately identify the positive and negative aspects of employing various woody plant species for the purpose of landscaping in an industrial city. At the end of the training, there is an opportunity to evaluate the acquired knowledge and skills through interactive testing for each section. The described information system summarizes the results of Russian and foreign studies on the ecological and biological characteristics of the species presented and supplements them with information about the features of growth, physical and mechanical properties of wood, mechanical resistance to dynamic (wind) and static loads (glaciation, snow sticking, etc.) in a large industrial city. The information system is aimed at high-quality training of future specialists in the field of biology and ecology, contributes to the implementation of the results obtained in the educational process (as a study guide for students and postgraduates of biological universities). It can also be utilized in environment state monitoring and in assessing the accident rate of woody plants.

**Keywords:** information system, algorithm, distance learning, mechanical stability, ecology of woody plants, tree stability, landscaping concept, selection of species.

**For citation:** Kornienko V.O., Kalaev V.N., Preobrazhenskiy A.P., Lvovich I.Y., Firsov A.V. Information system for students' remote study of ecological and biological features of woody plants and mechanical stability of the main tree species used in landscaping of Donetsk. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2022;10(1). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1077> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.36.1.012 (In Russ).

### Введение

В условиях современной дистанционной подготовки кадрового обеспечения учреждений высшего профессионального образования, лесного хозяйства, предприятий, занимающихся благоустройством промышленных городов, предприятий по экологическому надзору, встает вопрос о том, каким образом идет создание этих кадровых сред [1]. Профессиональная подготовка будущих специалистов влияет на качество выполняемых работ и, как следствие, на устойчивое развитие предприятий в целом [2]. Поэтому вопросы, касающиеся механизма подготовки специалистов в дистанционном режиме, являются весьма актуальными.

**Целью работы** явился анализ применения разработанной нами информационной системы для дистанционного изучения студентами эколого-биологических особенностей древесных растений города Донецка в учебном процессе и научно-исследовательской деятельности на примере Донецкого национального университета.

### Материалы и методы

Для решения одной из затронутых проблем в сфере биологии (экологический надзор, биомониторинг среды), нами была разработана программа для ЭВМ: «Эколого-биологические особенности и механическая устойчивость древесных растений, используемых в озеленении города Донецка» (рег. номер: 2021666288) [3], которое используется в Донецком национальном университете (г. Донецк) при чтении дисциплин «Экологическая биофизика», «Устойчивое развитие» и «Современные проблемы биологии (биофизика)» (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Страница входа в программу «Эколого-биологические особенности и механическая устойчивость древесных растений, используемых в озеленении города Донецка»  
Figure 1 – Login page of "Ecological and biological features and mechanical stability of woody plants used in landscaping of the city of Donetsk" program

Программа для ЭВМ несет обучающий характер, позволяет исследователю достаточно быстро и наглядно ознакомиться с эколого-биологическими особенностями роста и развития древесных растений в условиях степной зоны, на примере промышленного города Донецка, а также ознакомиться с методикой проведения мониторинговых исследований по оценке механической устойчивости древесных растений. Научиться анализировать зависимости параметров механической устойчивости для 18 видов древесных растений, произрастающих в условиях города Донецка. Находить и правильно определять положительные и отрицательные стороны применения различных видов древесных растений с целью озеленения в условиях промышленного города. По окончании обучения, по каждому разделу имеется

возможность оценить полученные знания и навыки с помощью интерактивного тестирования.

В отличие от разработанной ранее информационной системы для дистанционного обучения [4], в программе имеются следующие дополнения: приведены авторские методики проведения комплексных исследований по определению механической устойчивости древесных растений; описаны условия, при которых проводились исследования: а) характеристика Донецкого ботанического сада как контрольной территории и б) уровень антропогенной нагрузки города Донецка; даны подробные эколого-биологические характеристики 18 видов деревьев, используемых в озеленении города Донецка, по следующим разделам: «Систематическое положение»; «Биология и экология»; «Биогеография»; «Представленность в условиях города Донецка»; «Механическая устойчивость и аварийность» (значительные дополнения и графические зависимости параметров механической устойчивости от морфометрического маркера  $d/l$ , диаметра, а также возраста растений); «Ветроустойчивость»; «Разное»; «Критический возраст в условиях города Донецка»; «Наличие спила/керны в ксилотеке» (дополнено авторскими фотоматериалами); «Рекомендации для озеленителей»; «Концепции озеленения»; «Иллюстрации» (дополнены авторскими фотоматериалами); разработаны тестовые задания по каждой из основных глав, для оценки освоения обучающимися материала информационной системы. Также, в информационной системе впервые дана оценка механической устойчивости старовозрастных деревьев города Донецка и описано влияние антропогенной нагрузки на механическую устойчивость *Populus bolleana* Lauche, *Gleditsia triacanthos* L., *Quercus robur* L., *Robinia pseudoacacia* L., используемых в озеленении города Донецка.

Для написания программного обеспечения был использован язык C# на платформе Windows 7.

Программа для ЭВМ состоит из 47 вкладок меню: «Введение», «Как работать с базой данных?», «Материалы и методы исследований», «Характеристика Донецкого ботанического сада, как контрольной территории», «Уровень антропогенной нагрузки города Донецка», «Эколого-биологическая характеристика видов, используемых в озеленении города Донецка», «*Acer negundo* L.», «*Acer platanoides* L.», «*Acer pseudoplatanus* L.», «*Acer saccharinum* L.», «*Aesculus hippocastanum* L.», «*Betula pendula* Roth», «*Fraxinus pennsylvanica* Marsh.», «*Fraxinus excelsior* L.», «*Robinia pseudoacacia* L.», «*Gleditsia triacanthos* L.», «*Morus alba* L.», «*Populus bolleana* Lauche», «*Populus simonii* Carrière», «*Populus nigra* L.», «*Quercus robur* L.», «*Quercus rubra* L.», «*Tilia cordata* Mill.», «*Ulmus laevis* Pall.», «Механическая устойчивость старовозрастных деревьев города Донецка», «Влияние антропогенной нагрузки на механическую устойчивость некоторых видов, используемых в озеленении города Донецка», «Заключение», «Авторы» и 20 шт. вкладок для тестовых заданий после каждого раздела или подраздела (Рисунок 2).

В пункте «Введение» дано предисловие авторов, в котором говорится, что в программе обобщены результаты исследования устойчивости основных 18 видов используемых в озеленении города Донецка к действию механических факторов природного и антропогенного происхождения. Весь материал, для каждого вида древесного растения, разделен на 14 подразделов: «систематическое положение»; «биология и экология»; «биогеография»; «представленность в условиях города Донецка»; «механическая устойчивость и аварийность»; «форма кроны»; «структура кроны»; «ветроустойчивость»; «разное», «критический возраст в условиях города Донецка»; «наличие спила / керны в ксилотеке»; «рекомендации для озеленителей»; «концепции озеленения»; «иллюстрации» (Рисунок 3).

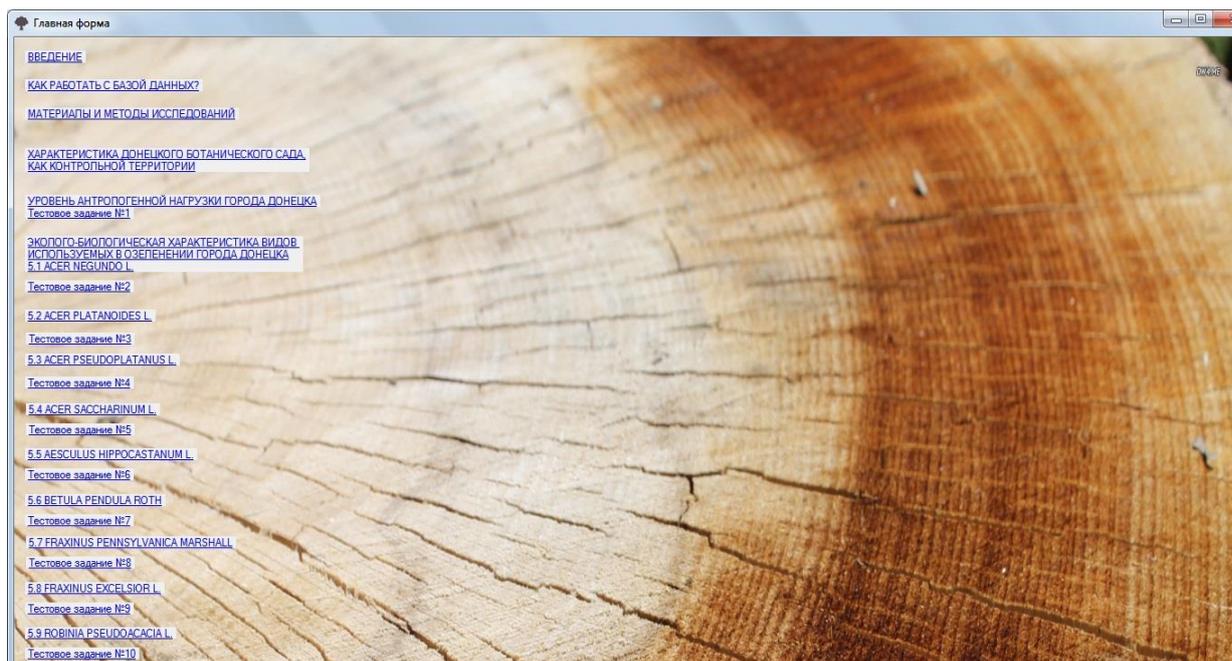


Рисунок 2 – Вводная страница базы данных по эколого-биологическим особенностям и механической устойчивости древесных растений, используемых в озеленении города Донецка  
Figure 2 – Introductory page of the database on ecological and biological features and mechanical stability of woody plants used in landscaping of the city of Donetsk

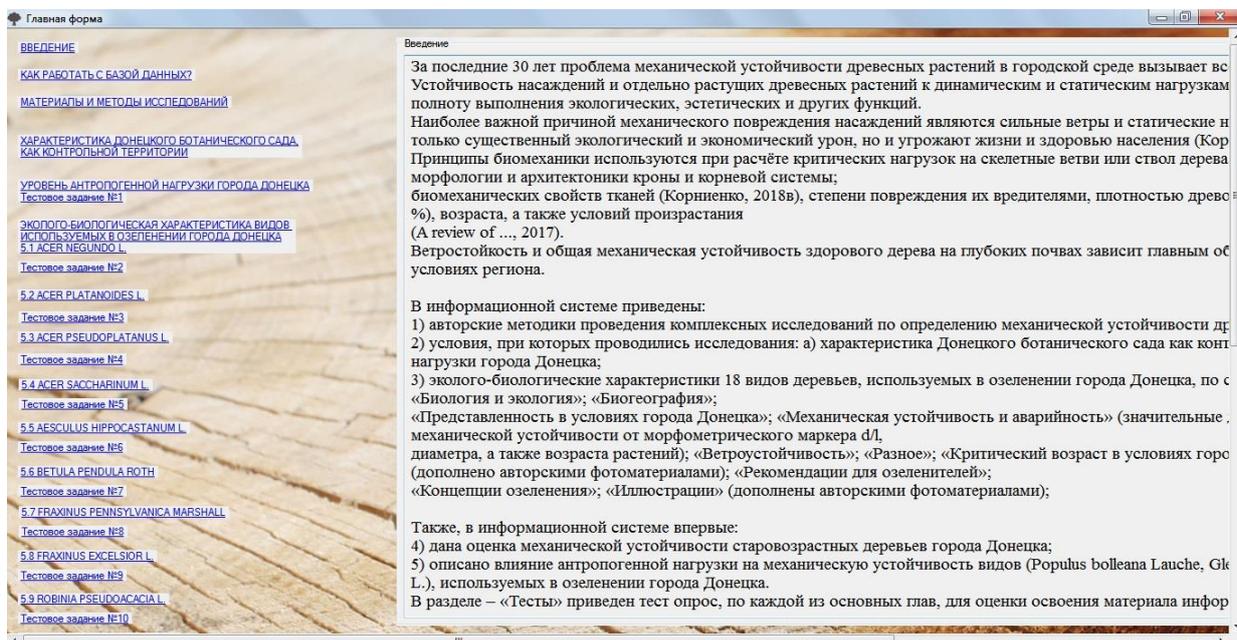


Рисунок 3 – Пункт «Введение»  
Figure 3 – Introduction paragraph

В разделе «Как работать с базой данных?» приведены основные понятия и термины, используемые при написании информационной системы, для более точного и правильного восприятия материала, изложенного в программе; графически представлены используемые текстовые указания формы и структуры кроны описанных древесных видов; дана краткая инструкция по работе с графиками, описывающими механическую устойчивость древесных растений, используемых в озеленении города Донецка (Рисунок 4).

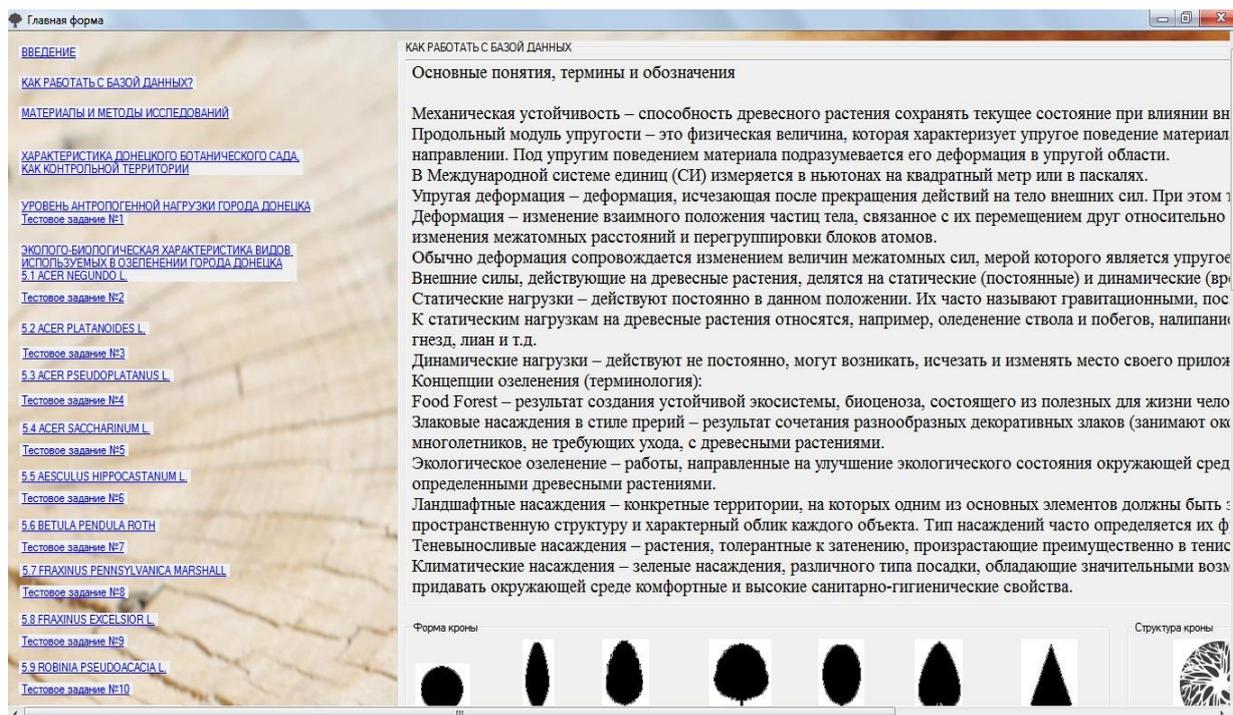


Рисунок 4 – Пункт «Как работать с базой данных?»  
Figure 4 – “How to work with the database?” paragraph

В разделе «Материалы и методы исследования» представлены оборудование, методики, и концепции, которыми пользовались авторы при сборе и обработке экспериментальных данных. Приводится шкала оценки жизнеспособности древесных растений Л. С. Савельевой, методика проведения исследований по определению механической устойчивости древесных растений, методика определения модуля упругости древесины (МОЕ) и методы статистической обработки экспериментальных данных (Рисунок 5).

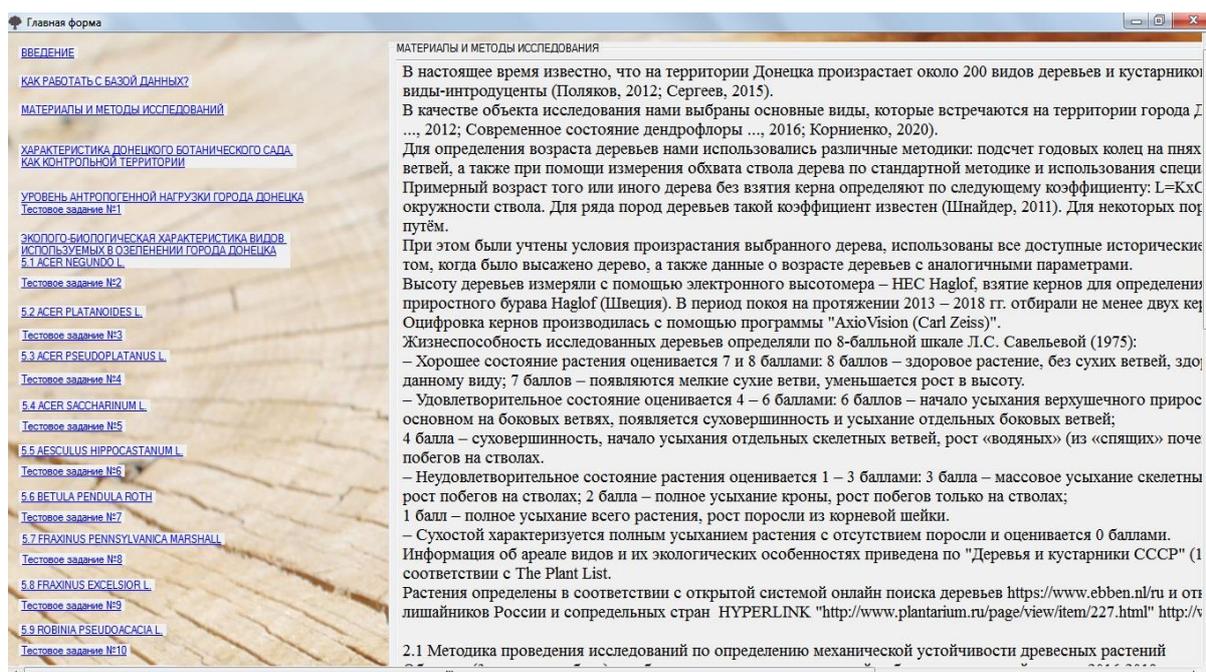


Рисунок 5 – Пункт «Материалы и методы исследований»  
Figure 5 – “Materials and methods of research” paragraph

Для корректной оценки влияния антропогенной нагрузки на физико-механические свойства древесных растений, их жизнеспособность и общую устойчивость, необходимо было найти территорию, которая являлась бы контрольной или «экологически чистой», с точки зрения действия факторов урбанизированной среды. Для решения этой проблемы мы оценили загрязненность абиотическими факторами территории дендрария ГУ «Донецкий ботанический сад» и установили, что она экологически чистая. Данные собственных исследований приведены в разделе «Характеристика Донецкого ботанического сада как контрольной территории» (Рисунок 6).

ХАРАКТЕРИСТИКА ДОНЕЦКОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА, КАК КОНТРОЛЬНОЙ ТЕРРИТОРИИ

Донецкий ботанический сад – один их крупнейших в Европе. Общая площадь Сада – 203 га. Он расположен на проспекте Ильича, связывающая эти два города, разделяет Сад на два крупных участка: Южный, или Дендрарий Донецкого ботанического сада (ДБС) расположен на юго-востоке степной зоны и примыкает к Борок, расположенная на плакорной части (Нешетов, 2013).

Площадь дендрария составляет 147,25 га (Методический подход к ..., 2019). Почвенный покров дендрария представлен черноземом обыкновенным среднетугумусным, среднесуглинистым, на лесовидных суглинках (ри Дендрарий по периметру огражден бетонными конструкциями и лесозащитными насаждениями от автотрассы акустического шума и токсикантов за пределы ограждения.

В почвах и воздушной среде концентрации токсикантов находятся в пределах предельно допустимого значения.

Древесные насаждения преимущественно произрастают в условиях, которые не соответствуют экологическим условиям произрастания (Нешетов, 2013). Однако в условиях ДБС большинство видов растений из коллекции, являются зимо- и засухоустойчивыми, во (Биоэкологические особенности редких растений ..., 2010).

Согласно проведенным мониторинговым исследованиям по биоиндикации состояния окружающей среды на оплетки клена остролистного (0,045±0,004), территория дендрария ГУ ДБС является экологически «чистой», реакция организма условно нормальная (Коп

Таблица 1 – Оценка загрязненности абиотическими факторами территории дендрария ГУ «Донецкий ботанический сад»

Факторы антропогенной нагрузки (абиотические)												
Интенсивность, ед./час $\bar{X} \pm S_x$	Вибрационно-акустический шум, дБА	Элементы загрязнения почвы $\bar{X} \pm S_x$							Компоненты загрязнения атмосферного воздуха $\bar{X} \pm S_x$			
		Max	$\bar{X} \pm S_x$	Zn,	Cu,	Cr,	Co,	Mn,	Cd,	Ni,	CO <sub>2</sub> ,	H <sub>2</sub> S,

Рисунок 6 – Пункт «Характеристика Донецкого ботанического сада как контрольной территории»

Figure 6 – “Characteristics of the Donetsk Botanical Garden as a control territory” paragraph

В разделе «Уровень антропогенной нагрузки города Донецка» приведены собственные экспериментальные данные по суммарному эффекту токсических веществ в атмосферном воздухе города Донецка, уровню вибро-акустической нагрузки, действующей на зеленые насаждения, произрастающие вдоль автомагистралей (с учетом амплитудно-частотных характеристик основных видов транспорта, представленных в городе) (Рисунок 7).

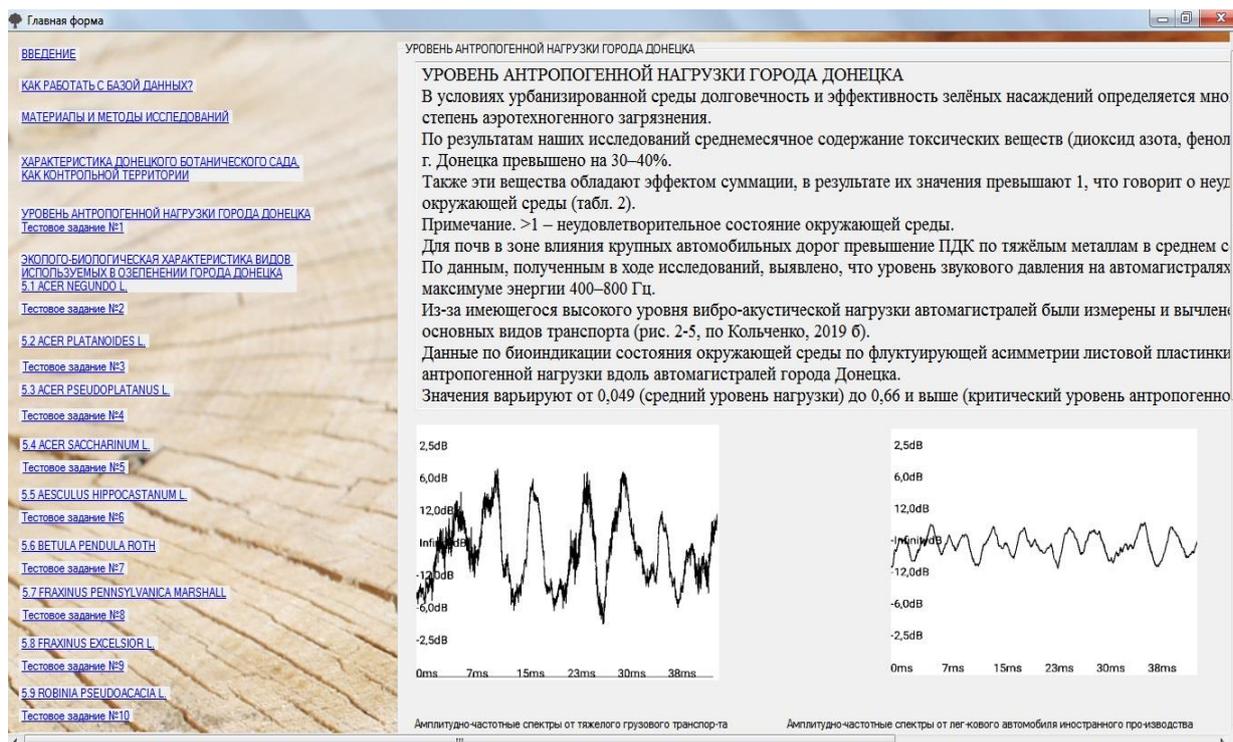


Рисунок 7 – Пункт «Уровень антропогенной нагрузки города Донецка»  
Figure 7 – “The level of anthropogenic load of the city of Donetsk” paragraph

В конце раздела с целью закрепления изученных материалов дается проверочный тест (Рисунок 8).

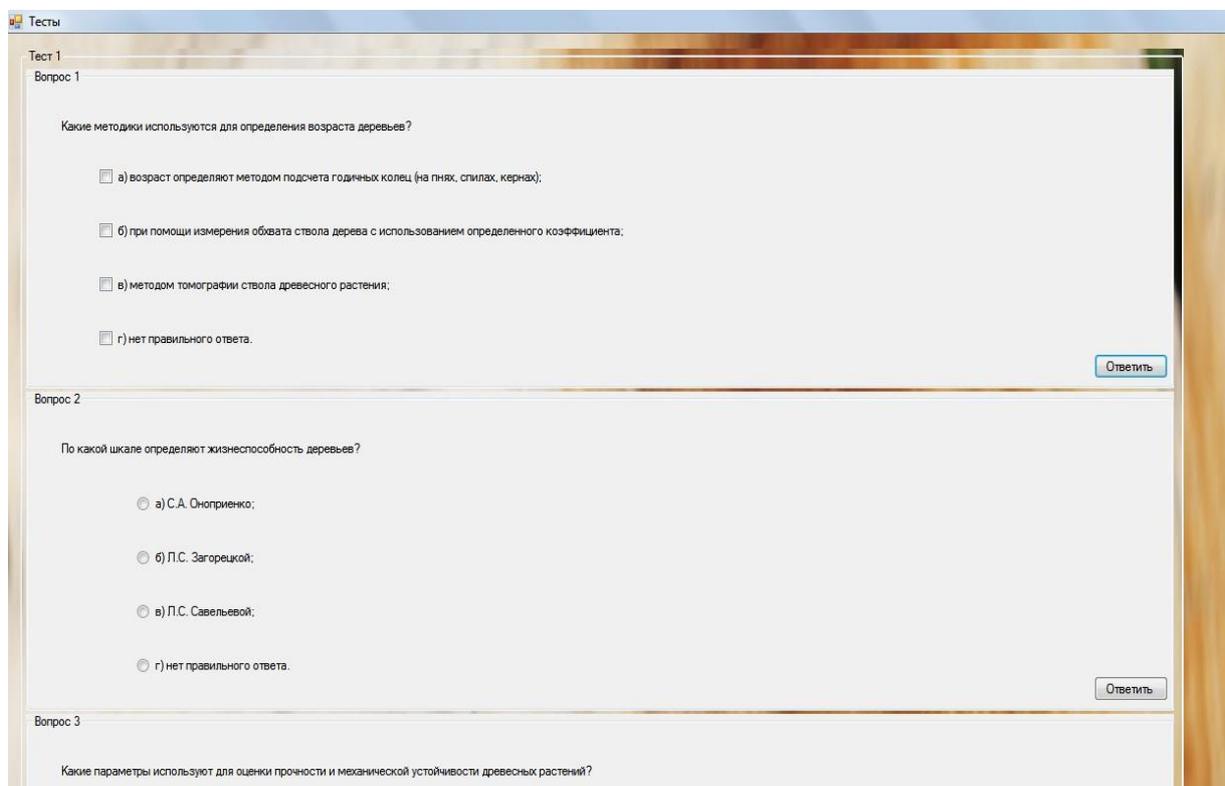


Рисунок 8 – Пункт «Тест № 1»  
Figure 8 – Test No. 1 paragraph

В пункте «Эколого-биологическая характеристика видов используемых в озеленении города Донецка» дается 18 подразделов, согласно многолетним исследованиям, по каждому из исследованных видов на территории города Донецка («*Acer negundo* L.» [5-7], «*Acer platanoides* L.» [5, 6, 8, 9], «*Acer pseudoplatanus* L.» [5-7], «*Acer saccharinum* L.» [5-7, 10, 11], «*Aesculus hippocastanum* L.» [5-7], «*Betula pendula* Roth» [5-7], «*Fraxinus pennsylvanica* Marsh.» [5-7], «*Fraxinus excelsior* L.» [5-7], «*Robinia pseudoacacia* L.» [5-7, 12], «*Gleditsia triacanthos* L.» [5-7, 13], «*Morus alba* L.» [5-7], «*Populus bolleana* Lauche» [5-7], «*Populus simonii* Carrière» [5-7], «*Populus nigra* L.» [5-7], «*Quercus robur* L.» [5-7, 14, 15], «*Quercus rubra* L.» [5-7, 14-16], «*Tilia cordata* Mill.» [5-7], «*Ulmus laevis* Pall.» [5-7]) (Рисунок 9).

В каждом подразделе имеется информация по следующим тематическим разделам: «систематическое положение»; «биология и экология»; «биогеография»; «представленность в условиях города Донецка»; «механическая устойчивость и аварийность»; «форма кроны»; «структура кроны»; «ветроустойчивость»; «разное», «критический возраст в условиях города Донецка»; «наличие спила / керна в ксилотеке»; «рекомендации для озеленителей»; «концепции озеленения»; «иллюстрации» [5-16].

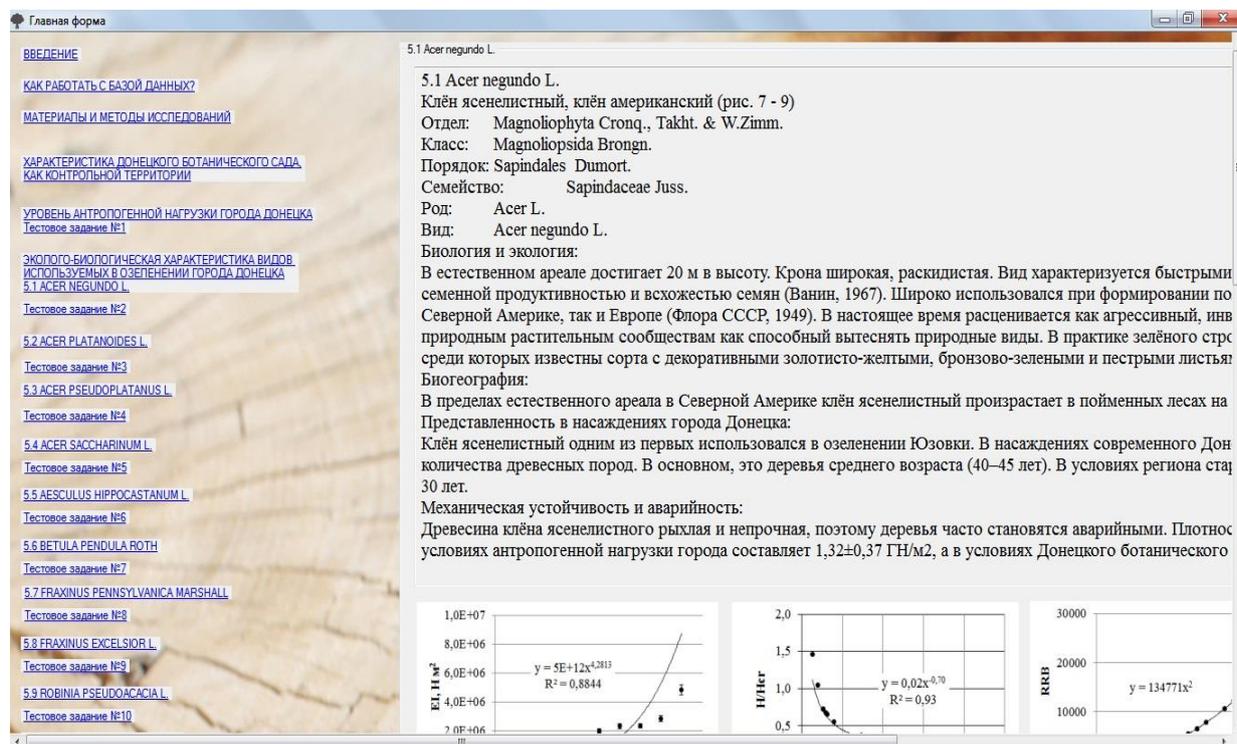


Рисунок 9 – Пункт «Эколого-биологическая характеристика видов используемых в озеленении города Донецка»

Figure 9 – “Ecological and biological characteristics of the species used in the landscaping of the city of Donetsk” paragraph

Например, для *Acer negundo* L., дается систематическое положение и краткое описание вида с особенностями произрастания в городе Донецке [5]. В подразделе «Биогеография» указывается естественный ареал распространения растения. Представленность в условиях города Донецка приводится согласно собственным экспериментальным данным, собранным в период с 2014 по 2019 год [6] и некоторых современных литературных данных ученых ботаников из Донецкого ботанического сада (Рисунок 10).

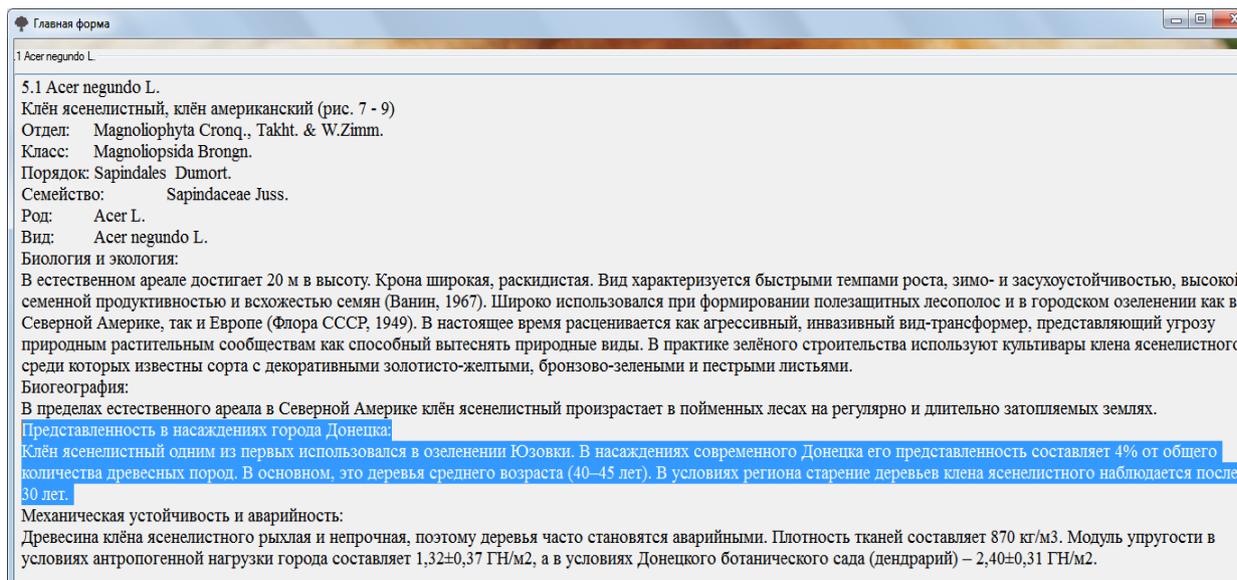


Рисунок 10 – Подраздел «*Acer negundo* L.», тематические вкладки «биология и экология» вида, «биогеография» и «представленность в насаждениях города Донецка»  
Figure 10 – *Acer negundo* L. subsection, “biology and ecology” of the species, “biogeography” and “representation in the plantings of the city of Donetsk” thematic tabs

Данные по физико-механическим свойствам живой древесины, а также степени аварийности растений в условиях города Донецка [5-7, 16] приведены в тематической вкладке «механическая устойчивость и аварийность» (Рисунок 11). Данные по плотности и модулю упругости тканей растений можно использовать при оценке механической устойчивости деревьев в условиях как городской среды, так и в условиях относительного контроля.

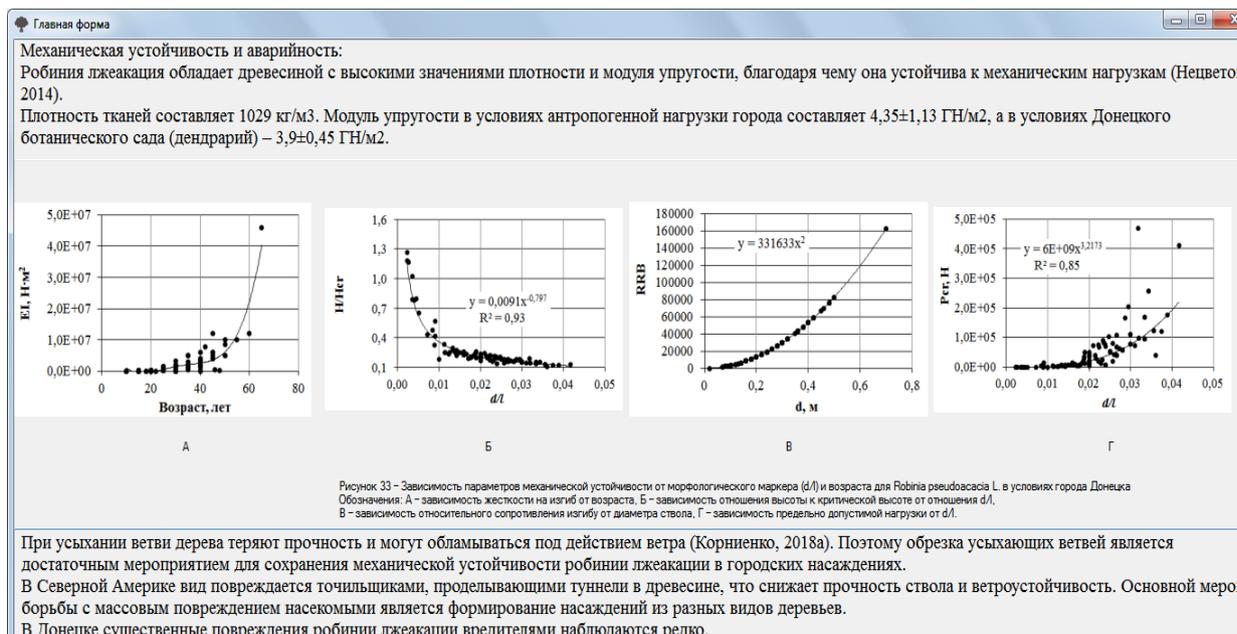


Рисунок 11 – Подраздел «*Robinia pseudoacacia* L.», тематическая вкладка «механическая устойчивость и аварийность»  
Figure 11 – *Robinia pseudoacacia* L. subsection, mechanical stability and accident rate thematic tab

Также имеются тематические вкладки «форма кроны» и «структура кроны», в которых приведены данные об архитектонике кроны конкретного вида, произрастающего в условиях степной зоны города Донецка. В тематической вкладке «ветроустойчивость» кратко оценивается уровень ветроустойчивости конкретного вида под воздействием региональных метеорологических факторов. Во вкладке «Разное» указывается устойчивость выбранного вида древесных растений к антропогенным нагрузкам различной природы, например, для дуба черешчатого, приводятся данные по солеустойчивости, засухоустойчивости, устойчивости к загрязнению воздуха и жаре.

«Критический возраст в условиях города Донецка» приведен для каждого вида и основывается на собственных исследованиях [6]. Критический возраст – это показатель, при достижении которого дерево теряет свои экологические свойства (частично или полностью), механическую устойчивость и становится аварийным (т. е. имеется большая вероятность облома / падения ветвей или даже всего растения).

В разделе «Наличие спила / керна в ксилотеке» указывается, имеются ли в коллекционном фонде образцы, собранные в условиях города Донецка. В ксилотеке находятся спилы, керны представленных видов древесных растений, а также элементы коры, побегов и текстур (Рисунок 12).



Рисунок 12 – Тематическая вкладка «Иллюстрации», представлены спил (А) и кора (Б) робинии лжеакации  
Figure 12 – Illustrations thematic tab, presented by the split (A) and the bark (B) of the robinia pseudoacatation

Во вкладке «Рекомендации для озеленителей» и «Концепции озеленения» описаны основные мероприятия по содержанию и уходу за деревьями в городских зеленых насаждениях для поддержания их общей и механической устойчивости, а также даны рекомендации по озеленению для каждого вида и типы насаждений, которые можно использовать (Рисунок 13).

Рекомендации для озеленителей:

Порода пригодна для посадки в первых рядах вдоль автомобильных дорог. Используется как орнаментальное дерево в городских насаждениях, в ветрозащитных и лесомелиоративных полосах, а также в почвозащитных целях и в озеленении шахтных отвалов. Часто применяется для создания тени на открытых пространствах. В зеленом строительстве можно использовать бесколочковые формы вида.

Концепции озеленения:

Климатические насаждения, экологическое озеленение, сплошная посадка, злаковые насаждения в стиле прерий.

*Gleditsia triacanthos* L. (иллюстрации)



Рисунок 13 – Пункт «Эколого-биологическая характеристика видов, используемых в озеленении города Донецка», тематические вкладки «Рекомендации для озеленителей» и «Концепции озеленения»

Figure 13 – “Ecological and biological characteristics of species used in landscaping of the city of Donetsk” paragraph, “Recommendations for gardeners” and “Landscaping concepts” thematic tabs

После каждого из подразделов, имеется вкладка «Тестовое задание №» для закрепления знаний при использовании информационной системы и выявлении пробелов в пройденном материале.

В пункте «Механическая устойчивость старовозрастных деревьев города Донецка» приводятся данные по репрезентативности старовозрастных деревьев в городе Донецке (Рисунок 14), их возрастной структуре, механической устойчивости старовозрастных деревьев в условиях урбанизированной среды (эксперимент) и контроля (ДБС, Путиловский лес), а также наиболее устойчивым видам в условиях степной зоны Донбасса.

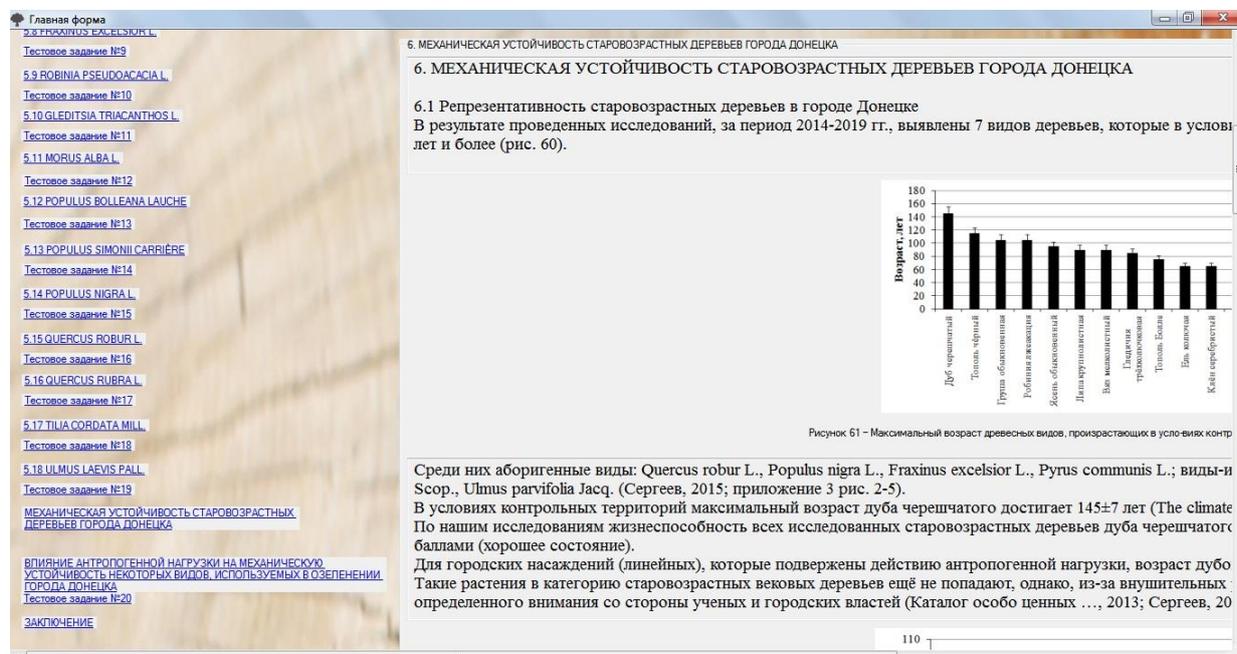


Рисунок 14 – Пункт «Механическая устойчивость старовозрастных деревьев города Донецка»  
Figure 14 – “Mechanical stability of old-age trees of Donetsk city” paragraph

В пункте «Влияние антропогенной нагрузки на механическую устойчивость некоторых видов, используемых в озеленении города Донецка» дается более подробное описание наиболее механически устойчивых видов на территории Донбасса.

Приводятся данные по зависимости жесткости на изгиб (EI), относительного сопротивления изгибу (RRB), критической массы ( $m_{cr}$ ) и критической высоты от диаметра ствола исследуемых видов (*Populus bolleana* Lauche, *Gleditsia triacanthos* L., *Quercus robur* L., *Robinia pseudoacacia* L), в условиях контроля и антропогенной нагрузки города Донецка (Рисунок 15).

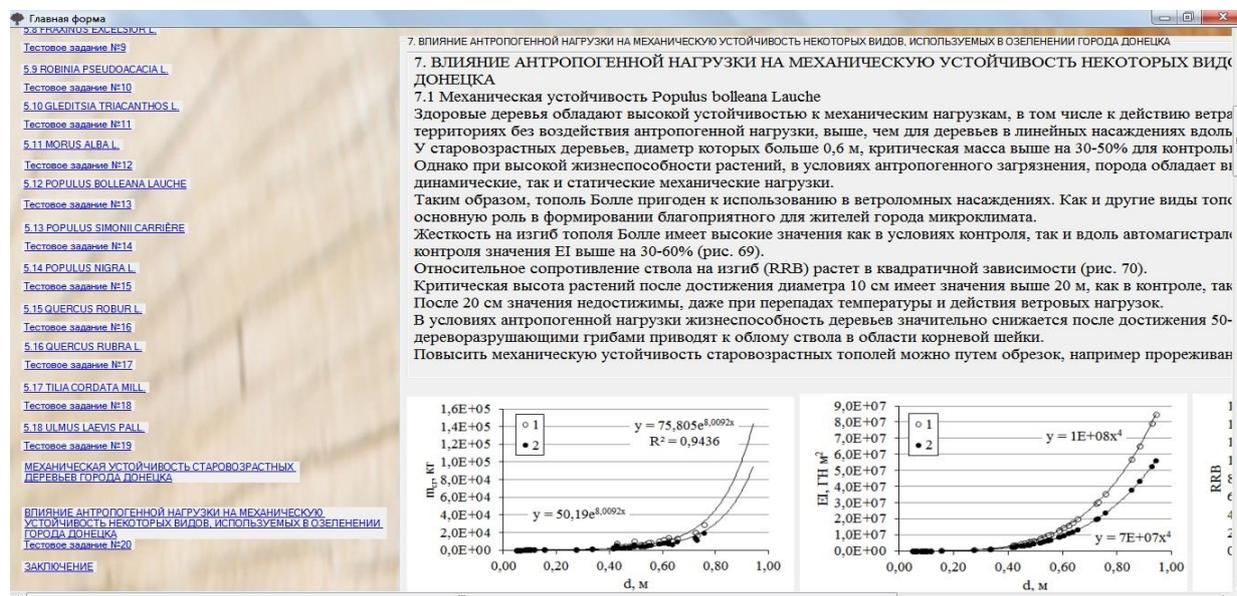


Рисунок 15 – Пункт «Влияние антропогенной нагрузки на механическую устойчивость некоторых видов, используемых в озеленении города Донецка»  
Figure 15 – “The impact of anthropogenic load on the mechanical stability of some species used in the landscaping of the city of Donetsk” paragraph

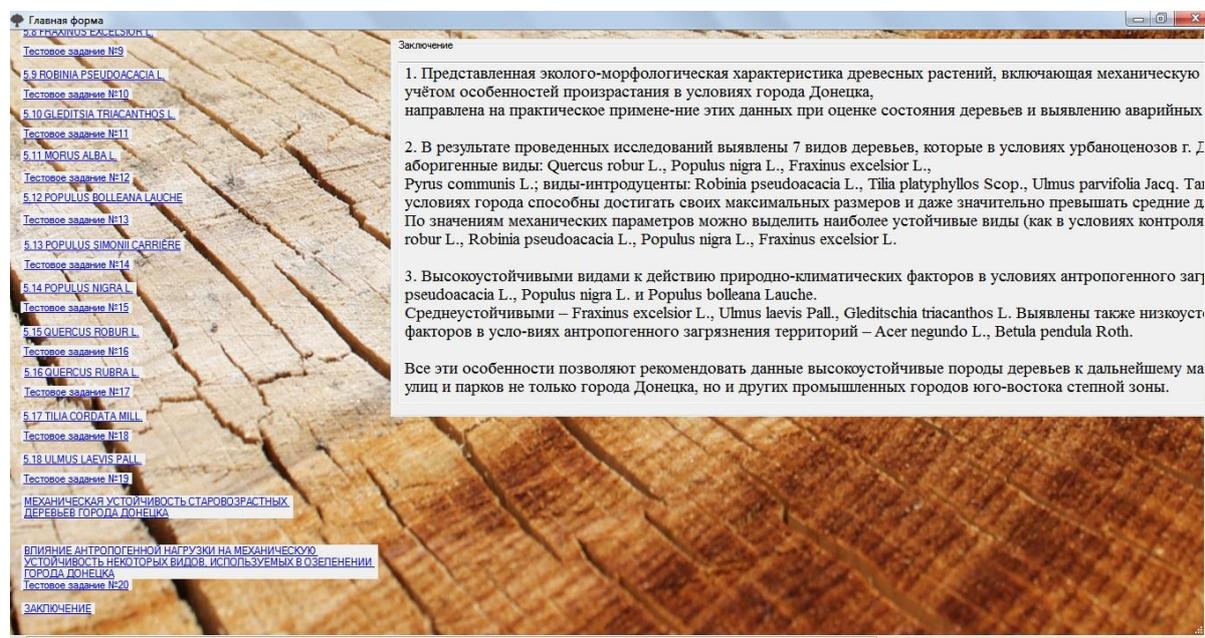


Рисунок 16 – Пункт «Заключение»  
Figure 16 – Conclusion paragraph

В пункте «Заключение» даются основные выводы по устойчивости древесных видов в условиях города Донецка и выделяются наиболее перспективные виды для

решения вопросов по экологическому планированию, с целью озеленения территории города Донецка (Рисунок 16).

### Результаты исследований

В основу работы информационной системы для дистанционного изучения студентами эколого-биологических особенностей древесных растений и механической устойчивости основных видов деревьев, используемых в озеленении города Донецка, был положен алгоритм, представленный на Рисунке 17.

Предлагаемый в данной работе алгоритм является последней разработкой авторов, на его основе существуют возможности комплексной оценки знаний обучающихся.

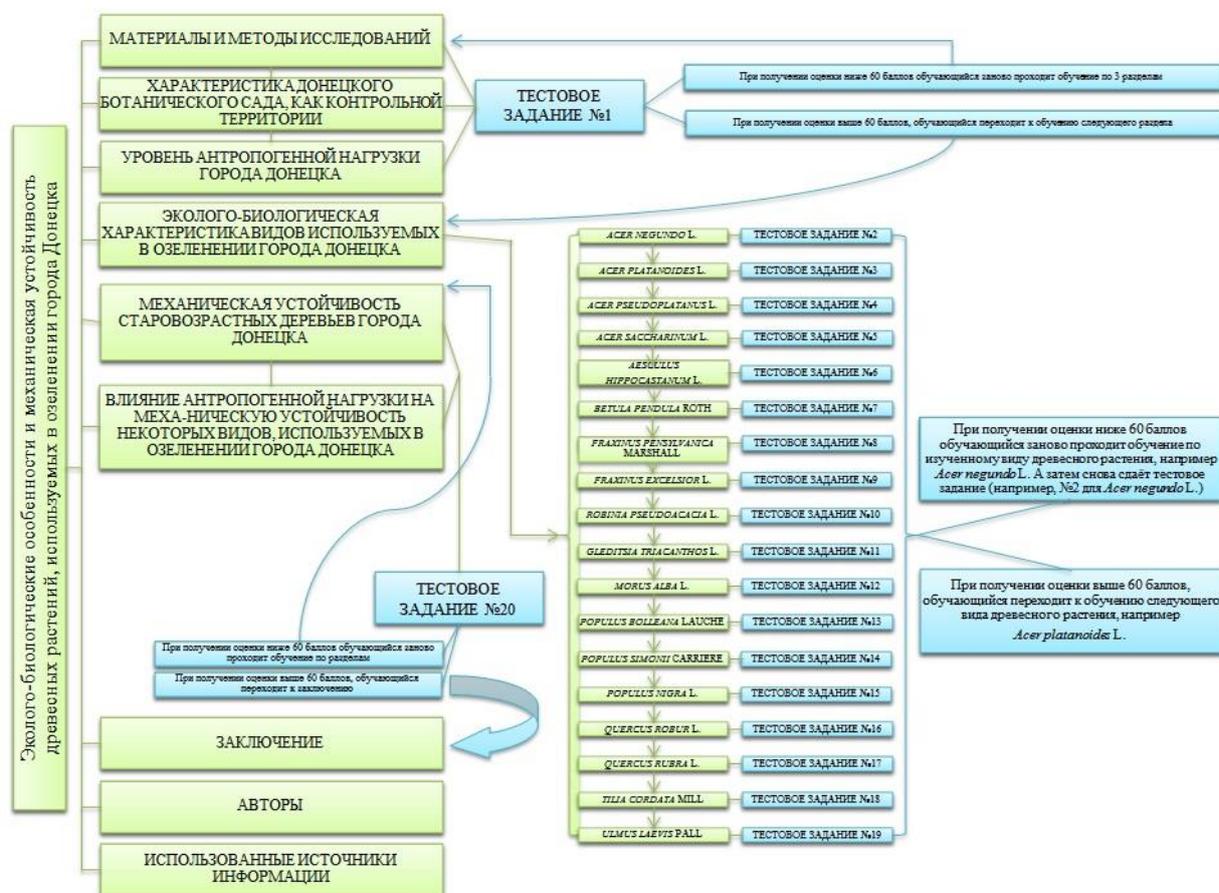


Рисунок 17 – Алгоритм, положенный в основу информационной системы «Информационная обучающая система по эколого-биологическим особенностям и механической устойчивости древесных растений, используемых в озеленении города Донецка»

Figure 17 – The algorithm used as the basis of “Information training system on ecological and biological features and mechanical stability of woody plants used in landscaping of the city of Donetsk” information system

#### Описание работы алгоритма информационной системы:

1. После освоения разделов «Материалы и методы исследований», «Характеристика Донецкого ботанического сада как контрольной территории» и «Уровень антропогенной нагрузки города Донецка» обучающийся нажимает на вкладку «ТЕСТОВОЕ ЗАДАНИЕ № 1». В этом задании имеется 20 вопросов, каждый из которых оценивается в 5 баллов. В сумме можно набрать максимум 100 баллов.

После завершения тестирования, необходимо выбрать вкладку «Показать результаты». На экран выводится окно с данными по количеству правильных / неправильных ответов и процентное отношение этих значений. Также результат (оценка) подкреплён картинкой (Рисунок 18).

Вид смайлика	Оценка по 100-балльной шкале	Оценка по государственной шкале
	90-100	Отлично
	80	Хорошо
	70	Удовлетворительно
	60	Удовлетворительно
	0-50	Неудовлетворительно

Рисунок 18 – Критерии оценивания тестовых заданий № 1-20  
Figure 18 – Evaluation criteria for test tasks No. 1-20

В случае, когда обучаемый получает оценку ниже 60 баллов, он заново проходит обучение по 3 разделам. Только при условии, что полученная оценка находится в диапазоне 60-100 баллов, возможно перейти к изучению следующего раздела – «Эколого-биологическая характеристика видов, используемых в озеленении города Донецка».

2. Раздел «Эколого-биологическая характеристика видов, используемых в озеленении города Донецка» имеет 18 тематических вкладок. Для каждого вида древесного растения разработаны отдельные тестовые задания № 2-19. В каждом тестовом задании 10 вопросов, которые оцениваются по 10 баллов. Обязательно в вопросах присутствует графический материал (графики механической устойчивости и иллюстрации для определения вида растения). Начинается раздел с изучения *Ascer negundo L.* После завершения обучения необходимо нажать на вкладку «ТЕСТОВОЕ ЗАДАНИЕ № 2» и завершить освоение программы по изучению клена ясенелистного. В случае, когда обучаемый получает оценку ниже 60 баллов, он

заново проходит обучение по вкладке «*Acer negundo L.*», а затем снова сдает тестовое задание. Только при условии, что полученная оценка находится в диапазоне 60-100 баллов, возможно перейти к изучению следующего вида растения – «*Acer platanoides L.*». Подобный алгоритм работы характерен для всего раздела «Эколого-биологическая характеристика видов, используемых в озеленении города Донецка».

3. После освоения разделов «Механическая устойчивость старовозрастных деревьев города Донецка» и «Влияние антропогенной нагрузки на механическую устойчивость некоторых видов, используемых в озеленении города Донецка» обучающийся нажимает на вкладку «ТЕСТОВОЕ ЗАДАНИЕ № 20». В этом задании имеется 10 вопросов. Они ориентированы на тех, кто успешно завершил тестовые задания № 1-19 и поэтому включают информацию из предыдущих разделов. Каждый такой вопрос оценивается в 10 баллов. В сумме можно набрать максимум 100 баллов. После завершения тестирования, необходимо выбрать вкладку «Показать результаты». В случае, когда обучаемый получает оценку ниже 60 баллов, он заново проходит обучение по 2 разделам. Только при условии, что полученная оценка находится в диапазоне 60-100 баллов, возможно перейти к вкладке «Заключения» и завершить программу подготовки по представленной информационной системе.

Общий результат оценивания знаний по пройденному материалу рассчитывается как среднее от всех полученных оценок за тестовые задания № 1-20. При несогласии обучающегося с оценкой, он проходит весь курс заново, начиная с первого раздела информационной системы.

### **Реализация информационной системы в образовательной среде**

Программа для ЭВМ внедрена в учебный процесс и используется при освоении дисциплин для студентов направления подготовки 06.04.01 Биология (профиль биофизика): «Современные проблемы биологии (биофизика)», «Экологическая биофизика» и для студентов (программа подготовки академический бакалавр) направления подготовки 05.03.06 Экология и природопользование, 06.03.01 Биология: «Экологическая биофизика» и «Большой практикум и методика биологического эксперимента в школе», реализуемые на базе ГУ ВПО «Донецкий национальный университет» кафедрой биофизики.

Занятия проходят в лаборатории информационных технологий, поэтому реализация информационной системы возможна как при чтении лекций, например, по теме «Основы биомеханики растений» (дисциплина «Экологическая биофизика», Рисунок 19), «Адаптация и устойчивость биологических систем» (дисциплина «Современные проблемы биологии (биофизика)»), проведении лабораторных работ, так и в дистанционном режиме в рамках самостоятельной работы студента (СРС).

При проведении лабораторной работы «Методика определения модуля упругости древесных тканей» студентам выдаются образцы древесины основных видов растений, представленных в зеленых насаждениях города Донецка. Обучающиеся должны определить модуль упругости и плотность каждого образца, затем провести идентификацию вида дерева, по значениям физико-механических свойств древесины, приведенных в информационной системе.

При выполнении лабораторной работы «Формирование древесных насаждений вдоль трасс с целью создания устойчивых насаждений», студенты используют данные из информационной системы по: устойчивости деревьев каждого вида к ветровым и гравитационным нагрузкам, эколого-биологическим особенностям видов древесных растений в условиях промышленного города. Обучающиеся должны провести

озеленение территории по выбранным вариантам (например, улицы Щорса), с учетом данных из информационной системы по: а) механической устойчивости и аварийности вида; б) ветроустойчивости; в) концепций озеленения; г) критического возраста в условиях региона; а также д) экологических особенностей видов древесных растений в условиях антропогенного загрязнения.

#### Тематический план «Экологическая биофизика»

Темы	Вопросы темы
4. Основы биомеханики растений.	4.1 Микро- макростроение древесины, химический состав древесины. Схематически смоделированную и возможную физическую структуру кристаллических и аморфных областей в волокнах целлюлозы. ** 4.2 Плотность или объёмный вес. Влажность древесины. Обезвоживание. Звуковые свойства. Электрические свойства. Тепловые свойства. Прочность. Модули упругости. ** 4.3 Влияние природно-климатических факторов на механическую устойчивость и аварийность древесных растений. 4.4 Свойства, характеристики, «поведение» свободной и связанной воды внутри древесных тканей. Реакции древесных растений на понижение температуры. Морозоустойчивость. ** 4.5 Физико-механические свойства древесины в условиях антропогенного загрязнения. Влияние антропогенной нагрузки на морфометрические параметры стволов деревьев произрастающих в условиях антропогенной нагрузки города. 4.6 Влияние антропогенной нагрузки на механическую устойчивость древесных растений. 4.7 Реакции растений на действие ветра и другие механические стимулы. Аспекты адаптации растений к комплексу факторов окружающей среды. Приспособленные изменения в архитектонике растений в онтогенезе. **

Рисунок 19 – Пример тематического плана рабочей программы по дисциплине «Экологическая биофизика» по направлению подготовки 06.04.01 Биология (биофизика)

Figure 19 – Example of the syllabus for the module “Ecological biophysics”, field of study: 06.04.01 Biology (biophysics)

Общий результат освоения темы дисциплины оценивается как среднее от всех полученных оценок за тестовые задания № 1-20.

#### Реализация информационной системы в научной среде

Материалы информационной системы могут быть внедрены и использованы сотрудниками ГУ «Донецкий ботанический сад», Государственным комитетом по экологической политике и природным ресурсам, КП Зеленого строительства, студентами различных направлений подготовки при проведении мониторинговых и дендроиндикационных исследований состояния окружающей среды, для реализации хоздоговорных тем по экологии, дендрологических исследований (оценке аварийности деревьев), при планировании мероприятий по озеленению территорий промышленных городов юго-востока степной зоны.

На данный момент программа для ЭВМ внедрена и уже используется студентами ГОУ ВПО «ДонНУ» направления подготовки 06.03.01 Биология при выполнении курсовых и дипломных работ. Информационная система используется студентами для:

– идентификации древесных видов при проведении исследований в полевых условиях (в линейных насаждениях города Донецка, на территории ГУ «Донецкий ботанический сад» (ДБС)), т. к. она может использоваться офлайн;

– оценки механической устойчивости и аварийности древесных растений. Для расчета параметров механической устойчивости ( $EI$ ,  $RRB$ ,  $Hcr$ ,  $Pcr$ ,  $mcr$ ) необходимо знать значение модуля упругости древесины и плотности с учетом условий произрастания. Так, например, модуль упругости на территории с высокой антропогенной нагрузкой (например, по улице Артема, города Донецка) для *Betula pendula* Roth равен  $5,03 \pm 0,77$  ГН/м<sup>2</sup>, а на контрольных территориях (дендрарий ДБС) –  $4,30 \pm 0,46$  ГН/м<sup>2</sup>. При такой, казалось бы, незначительной детали, разница в расчете критической массы на ствол дерева составляет – 15 %. Например, у растения березы повислой при морфологических параметрах ствола  $d=0,1$  м,  $H=15$  м, разница  $mcr$  составляет 128 кг, такая нагрузка может оказаться критической.

– планирования мероприятий с целью озеленения территорий с различной степенью антропогенного загрязнения (в качестве дипломного проекта). При выполнении обязательно учитываются эколого-биологические особенности используемых видов, данные по механической устойчивости и аварийности видов в условиях юго-востока степной зоны.

### Выводы

1. Разработанная информационная система способствует внедрению представленных материалов в образовательный процесс (в качестве методического пособия для студентов и аспирантов биологических вузов), а также используется в научно-исследовательской деятельности при мониторинговых исследованиях состояния окружающей среды и при оценке устойчивости древесных растений.
2. Алгоритм, положенный в основу информационной системы для дистанционного изучения студентами эколого-биологических особенностей древесных растений и механической устойчивости основных видов деревьев, используемых в озеленении города Донецка, направлен на качественную подготовку будущих специалистов в области биологии и экологии.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Преображенский А.П., Чопоров О.Н. Адаптация студентов как молодых сотрудников организации. *Современные исследования социальных проблем*. 2017;8(6-2):161–164.
2. Горшкова О.О. Формирование готовности будущих инженеров к исследовательской деятельности в ходе самостоятельной и научно-исследовательской работы. *В мире научных открытий*. 2015;1-1(61):490–500.
3. Корниенко В.О., Калаев В.Н., Преображенский А.П., Львович И.Я., Чопоров О.Н., Фирсов А.В. *Свидетельство РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021666288. Эколого-биологические особенности и механическая устойчивость древесных растений, используемых в озеленении города Донецка. Заявка № 2021665290 от 01.10.2021. Регистрация 12.10.2021 г.*
4. Корниенко В.О., Калаев В.Н., Преображенский А.П., Львович И.Я., Чопоров О.Н. *Свидетельство РФ о государственной регистрации базы данных № 2020620885. Информационная обучающая система по механической устойчивости, аварийности*

- и экологии основных видов-озеленителей города Донецка. Заявка № 2020620885 от 08.06.2020. Регистрация 30.06.2020 г.
5. 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.
  6. Корниенко В.О., Приходько С.А., Яицкий А.С. Оценка жизненного состояния древесных насаждений в условиях урбанизированной среды. *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки*. 2020;03(2):14–19.
  7. 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;6:91–102.
  8. Корниенко В.О., Кольченко О.Р., Матвеева Т.Б. *Acer platanoides* L. в условиях антропогенной нагрузки г. Донецка. *Самарский научный вестник*. 2019;8/3(28):46–52.
  9. Кольченко О.Р., Корниенко В.О. Эколого-биологическая характеристика *Acer platanoides* L. в условиях г. Донецка. *Вестник Донецкого национального университета. Серия А. Естественные науки*. 2019;3-4:151–162.
  10. Нецветов М.В., Корниенко В.О. Влияние листьев на динамические характеристики *Acer saccharinum* L. и *A.ibericum* Vieb. *Проблемы экологии та охорони природи техногенного регіону*. 2010;1(10):246–251.
  11. Корнієнко В., Нецветов М., Нікуліна В., Сулова О. Дослідження стійкості дерев до вібрацій. *Вісник Львів. ун-ту Серія фіз.* 2009;44:185–193.
  12. Корниенко В.О. Биомеханика ствола *Robinia pseudoacacia* L. в онтогенезе. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация*. 2017;4:48-50.
  13. Корниенко В.О., Калаев В.Н. Эколого-морфологические и биомеханические особенности *Gleditsia triacanthos* L. в условиях антропогенного загрязнения города Донецка. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация*. 2018;2:143–151.
  14. Netsvetov M., Sergeev M., Nikulina V., Korniyenko V., Prokopuk Yu. The climate to growth relationships of pedunculate oak in steppe. *Dendrochronologia*. 2017;44:31–38.
  15. Корниенко В.О. Экологическое значение биомеханических свойств *Quercus robur* L. и *Quercus rubra* L. в городских насаждениях. *Актуальные вопросы биологической физики и химии*. 2017;2(1):37–40.
  16. Корниенко В.О., Нецветов М.В. Влияние отрицательных температур на механическую устойчивость дуба красного (*Quercus rubra* L.). *Промышленная ботаника*. 2013;13:180–186.

## REFERENCES

1. Preobrazhenskiy A.P., Choporov O.N. Adaptaciya studentov kak molodyh sotrudnikov organizacii. *Sovremennye issledovaniya social'nyh problem = Modern studies of social issues*. 2017;8(6-2):161–164. (In Russ.)
2. Gorshkova O.O. Formirovanie gotovnosti budushchih inzhenerov k issledovatel'skoj deyatel'nosti v hode samostoyatel'noj i nauchno-issledovatel'skoj raboty. *V mire nauchnyh otkrytij = In the World of Scientific Discoveries*. 2015;1-1(61):490–500. (In Russ.)
3. Kornienko V.O., Kalaev V.N., Preobrazhenskiy A.P., Lvovich I.YA., Choporov O.N., Firsov A.V. Svidetel'stvo RU o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2021666288. *Ekologo-biologicheskie osobennosti i mekhanicheskaya ustojchivost'*

- drevesnyh rastenij, ispol'zuemyh v ozelenenii goroda Donecka. Zayavka № 2021665290 ot 01.10.2021. Registraciya 12.10.2021. (In Russ.)*
4. Kornienko V.O., Kalaev V.N., Preobrazhenskiy A.P., Lvovich I.YA., Choporov O.N. Svidetel'stvo RU o gosudarstvennoj registracii bazy dannyh № 2020620885. *Informacionnaya obuchayushchaya sistema po mekhanicheskoy ustojchivosti, avarijnosti i ekologii osnovnyh vidov-ozelenitelej goroda Donecka. Zayavka № 2020620885 ot 08.06.2020. Registraciya 30.06.2020. (In Russ.)*
  5. Kornienko V.O., Kalaev V.N. *Mekhanicheskaya ustojchivost' drevesnyh porod i rekomendacii po predotvrashcheniyu ih avarijnosti v gorodskih nasazhdeniyah. Voronezh: Roza Vetrov; 2018. 92 p. (In Russ.)*
  6. Kornienko V.O., Prihod'ko S.A., Yaickij A.S. Ocenka zhiznennogo sostoyaniya drevesnyh nasazhdenij v usloviyah urbanizirovannoj sredy. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i Tekhnicheskie Nauki = Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy. 2020;03/2:14–19. (In Russ.)*
  7. Kornienko V.O., Kalaev V.N., Elizarov A.O. Vliyanie temperatury na biomekhanicheskie svojstva drevesnyh rastenij v usloviyah zakrytogo i otkrytogo grunta. *Sibirskij lesnoj zhurnal = Siberian journal of forest science. 2018;6:91–102. (In Russ.)*
  8. Kornienko V.O., Kol'chenko O.R., Matveeva T.B. Acer platanoides L. v usloviyah antropogennoj nagruzki g. Donecka. *Samarskij nauchnyj vestnik = Samara journal of science. 2019;8/3(28):46–52. (In Russ.)*
  9. Kol'chenko O.R., Kornienko V.O. Ekologo-biologicheskaya harakteristika Acer platanoides L. v usloviyah g. Donecka. *Vestnik Doneckogo nacional'nogo universiteta. Seriya A Estestvennye nauki = Bulletin of Donetsk National University. Series A: Natural Sciences. 2019;3-4:151–162. (In Russ.)*
  10. Necvetov M.V., Kornienko V.O. Vliyanie list'ev na dinamicheskie harakteristiki Acer saccharinum L. i Acer ibericum Bieb. *Problemi ekologii ta ohoroni prirodi tekhnogennogo regionu = Problems of ecology and nature protection of technogenic region. 2010;1(10):246–251. (In Russ.)*
  11. Kornienko V., Necvetov M., Nikulina V., Suslova O. Doslidzhennya stijkosti derev do vibracij. *Visnik L'viv. un-tu Seriya fiz. 2009;44:185–193. (In Ukrain.)*
  12. Kornienko V.O. Biomekhanika stvola Robinia pseudoacacia L. v ontogeneze. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Himiya. Biologiya. Farmaciya = Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy. 2017;4:48–50. (In Russ.)*
  13. Kornienko V.O., Kalaev V.N. Ekologo-morfologicheskie i biomekhanicheskie osobennosti Gleditsia triacanthos L. v usloviyah antropogennoho zagryazneniya goroda Donecka. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Himiya. Biologiya. Farmaciya = Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy. 2018;2:143–151. (In Russ.)*
  14. Netsvetov M., Sergeyev M., Nikulina V., Korniyenko V., Prokopuk Yu. The climate to growth relationships of pedunculate oak in steppe. *Dendrochronologia. 2017;44:31–38.*
  15. Kornienko V.O. Ekologicheskoe znachenie biomekhanicheskikh svojstv Quercus robur L. i Quercus rubra L. v gorodskih nasazhdeniyah. *Aktual'nye voprosy biologicheskoy fiziki i himii = Russian journal of biological physics and chemisrty. 2017;2(1):37-40. (In Russ.)*
  16. Kornienko V.O., Necvetov M.V. Vliyanie otricatel'nyh temperatur na mekhanicheskuyu ustojchivost' duba krasnogo (Quercus rubra L.). *Promyshlennaya botanika = Industrial botany. 2013;13:180–186. (In Russ.)*

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Корниенко Владимир Олегович**, старший преподаватель кафедры биофизики, ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», Донецк.

*e-mail:* [kornienkovo@mail.ru](mailto:kornienkovo@mail.ru)

ORCID: [0000-0002-7728-8116](https://orcid.org/0000-0002-7728-8116)

**Vladimir O. Kornienko**, Senior Lecturer Of Biophysics Department, Donetsk National University, Donetsk.

**Калаев Владислав Николаевич**, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры генетики, цитологии и биоинженерии медико-биологического факультета, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж, Российская Федерация.

*e-mail:* [dr\\_huixs@mail.ru](mailto:dr_huixs@mail.ru)

ORCID: [0000-0002-4247-4509](https://orcid.org/0000-0002-4247-4509)

**Vladislav N. Kalaev**, Dr. Sci. (Biology), Full Professor, Professor Of Genetics, Cytology And Bioengineering Department, Faculty Of Medicine And Biology, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation.

**Преображенский Андрей Петрович**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры информационных систем и технологий, АНОО ВО «Воронежский институт высоких технологий», Воронеж, Российская Федерация.

*e-mail:* [app@vvt.ru](mailto:app@vvt.ru)

ORCID: [0000-0002-6911-8053](https://orcid.org/0000-0002-6911-8053)

**Andrey P. Preobrazhenskiy**, Dr. Sci.(Tech). (Phys&Math.), Ass. Professor, Professor Of Department Of Information Systems And Technologies, Voronezh Institute Of High Technologies, Voronezh, Russian Federation.

**Львович Игорь Яковлевич**, доктор технических наук, профессор, Ректор АНОО ВО «Воронежский институт высоких технологий», Воронеж, Российская Федерация.

*e-mail:* [office@vvt.ru](mailto:office@vvt.ru)

ORCID: [0000-0003-4236-6863](https://orcid.org/0000-0003-4236-6863)

**Igor Y. Lvovich**, Dr. Sci.(Tech), Professor, Rector, Voronezh Institute Of High Technologies, Voronezh, Russian Federation..

**Фирсов Александр Викторович**, студент АНОО ВО «Воронежский институт высоких технологий», Воронеж, Российская Федерация.

*e-mail:* [firsovalex@yandex.ru](mailto:firsovalex@yandex.ru)

**Alexandr V. Firsov**, student Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russian Federation.

*Статья поступила в редакцию 04.01.2022; одобрена после рецензирования 03.02.2022; принята к публикации 25.02.2022.*

*The article was submitted 04.01.2022; approved after reviewing 03.02.2022; accepted for publication 25.02.2022.*