

студенческое научное общество

ДОНГУ

ISSN 2522-4824

# ВЕСТНИК СНО

ВЫПУСК 18

ТОМ 1:

*Естественные науки*



Донецк 2026

ISSN 2522-4824

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
СТУДЕНЧЕСКОЕ НАУЧНОЕ ОБЩЕСТВО**

# **ВЕСТНИК**

**студенческого научного общества  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»**

**ВЫПУСК 18**

**Том 1**

*Естественные науки*

**Донецк – 2026**

**Вестник студенческого научного общества ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет».** – Донецк: ДонГУ, 2026. – Вып. 18, Том 1: *Естественные науки.* – 238с.

**Редакционная коллегия  
Вестника студенческого научного общества  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»**

**Главный редактор – Белый А.В.,** канд. хим. наук, доцент, проректор  
**Зам. главного редактора – Ганжела А.А.,** председатель Совета СНО  
**Ответственный секретарь – Самарева Т.Н.**  
**Технический редактор – Куликова А.С.**

**Члены редакционной коллегии:**

*Бурляй А.С.,* старший преподаватель  
*Войтенко Е.Ю.,* канд. филол. наук, доцент  
*Воробьева Ю.С.,* старший преподаватель  
*Разумный В.В.,* канд. ист. наук, доцент  
*Чумакова Е.Ю.,* старший преподаватель  
*Сафонов А.И.,* канд. биол. наук, доцент

*Третьяков И.А.,* канд. тех. наук, доцент  
*Финкина А.П.,* старший преподаватель  
*Химченко А.Н.,* канд. экон. наук, доцент  
*Щепин Н.Н.,* канд. физ.-мат. наук, доцент  
*Щепина Н.Д.,* канд. хим. наук, доцент

В восемнадцатом выпуске ежегодного сборника (в 4 томах) опубликованы результаты научных исследований студентов ФГБОУ ВО «ДонГУ» в области естественных (том 1), социально-гуманитарных (том 2 в 3-х частях), экономических (том 3) и юридических наук (том 4). Работы печатаются в авторской редакции, максимально снижено вмешательство в структуру отобранных материалов. *Ответственность за содержание статей, аутентичность цитат, правильность фактов и ссылок несут авторы статей.* Редакционная коллегия не несет ответственность за достоверность информации, представленной в рукописях, и оставляет за собой право не разделять взгляды некоторых авторов на те или иные вопросы.

***Вестник СНО ДонГУ включен в Аналитическую базу данных «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ), номер договора № 132-06/2025.***

**Адрес редакции:**

283001, г. Донецк, пр-т Гурова, 14, гл. корпус ДонГУ, к. 215;  
Тел.: +7 (856) 302-92-26;  
E-mail: [sovetsno@donnu.ru](mailto:sovetsno@donnu.ru)  
URL: <http://donnu.ru/science/sno>

*Печатается по решению Ученого совета  
ФГБОУ ВО «ДонГУ»  
протокол № 4 от 06.04.2026 г.*

# Содержание

## Биологические науки

<i>Авраменко К.Д.</i> Представители класса <i>Polypodiopsida</i> в коллекции тропических и субтропических растений Донецкого ботанического сада.....	5
<i>Антропова Л.П.</i> Изменчивость фотосинтетических пигментов как индикатор антропогенной и природной нагрузки на древесные растения.....	11
<i>Балыкин И.А., Габараев Б.А.</i> Анализ ландшафтного профиля в графике по динамике полемостресса .....	18
<i>Беляев В.Н.</i> Управление полигонами твёрдых коммунальных отходов - шаги к эффективному решению проблемы.....	26
<i>Братухина Е.А.</i> Моделирование тератогенеза листовой розетки <i>Taraxacum officinale</i> f.h.wigg. в антропогенных системах Донбасса.....	32
<i>Валуев Н.Р.</i> Плюсы и минусы утилизации твердых коммунальных отходов термическим путем.....	40
<i>Васильева Н.Н.</i> Описательная морфометрия уязвимости листовой поверхности мхов в условиях Донбасса .....	48
<i>Выликов Е.А.</i> Влияние вибрационно-акустического шума и антропогенных факторов на жизнеспособность древесных насаждений вдоль автомагистралей города Донецка	57
<i>Габараев Б.А.</i> Структурная разнокачественность листового аппарата <i>Phaseolus vulgaris</i> L. в градиенте антропогенного стресса.....	63
<i>Данилевич Л.И.</i> Бриофиты Донбасса в диагностике трансформированных экосистем (2025-2026 гг.).....	73
<i>Джантимирова А.А.</i> Деревья рода <i>Fraxinus</i> L. в условиях урбанизированной среды г. Донецка.....	78
<i>Еременко Л.А.</i> Ландшафтно-индикационный мониторинг в Донбассе для визуализации данных.....	84
<i>Зусарь К.Д., Габараев Б.А.</i> Анализ графических данных фитомониторинга в динамике полемостресса .....	91
<i>Котенко Д.А.</i> Шум и вибрация: невидимые враги городских экосистем.....	99
<i>Крамаренко А.А.</i> Влияние специфических факторов техногенеза в г. Шахтерске на годовой прирост хвои <i>Pinus sylvestris</i> L.....	107
<i>Лебедь Е.Д., Литвиненко В.А., Фесенко М.А.</i> Коррекционные возможности таурина индуцированных этанолом аффективных расстройств .....	113
<i>Пикалова М.В.</i> Видовой состав древесных насаждений рекреационных зон в центральной части г. Ясиноватая.....	117
<i>Потапенко Е.М.</i> Ценопопуляции <i>Plantago major</i> L. в условиях антропогенно трансформированных экотопов г. Докучаевска.....	121
<i>Реуцкая В.В.</i> Оценка жизненного состояния <i>Fraxinus pennsylvanica</i> в лесопосадке на примере города Торез.....	127
<i>Реуцкая В.В.</i> Проблемы устойчивости древесных растений в условиях антропогенной нагрузки.....	133
<i>Рябцев А.А., Габараев Б.А.</i> Отработка алгоритма идентификации тератогенеза на примере индикаторного вида семейства капустных.....	139

<i>Сафонов Р.А.</i> Физико-географическая обусловленность для моделирования массопереноса аэрофитополлютантов .....	145
<i>Хохлова О.А.</i> Антропогенная эвтрофикация водоемов степной зоны: диагностика по структурно-функциональным показателям фитопланктона (на примере Амвросиевского м.о.).....	153
<i>Чунаева Н.В.</i> Гербарные фонды ДонГУ для ретроспективного учета и в визуальном эквиваленте с электронными базами МГУ.....	158

## **Физико-технические и математические науки**

<i>Александрова В.В., Бураков Д.В., Погоржельская А.А., Половникова В.А.</i> Экспериментальное определение постоянной времени системы: микроманометр МКВ-250 – трубка Пито – Прандтля.....	165
<i>Александрова В.В., Красноштан А.В., Платошина В.С.</i> Экспериментальное исследование зависимости постоянной времени термистора от скорости потока в условиях вынужденной конвекции.....	170
<i>Балагуров Д.С., Белозеров М.А.</i> Обзор методов автоматического извлечения ссылок из pdf-документов и интеграции в Microsoft Word для формирования списков литературы по гост.....	175
<i>Бурлай С.С.</i> Разработка рекомендаций по внедрению системы управления качеством атмосферного воздуха для урбанизированных территорий .....	181
<i>Дятлов Д.В.</i> Современные методы и технологии сетевого туннелирования.....	188
<i>Евченко А.А.</i> Сравнительный обзор оптимизационных стратегий в глубоких моделях для классификации и генерации изображений.....	193
<i>Красько М.А.</i> Градиентные методы для глубокого обучения в ИИ (тестирование для квадратичных функций ошибок).....	200
<i>Моспанко И.П.</i> Подходы к построению рекомендательных систем на основе графовых моделей социальных сетей .....	207
<i>Перцев К.М.</i> Математическое моделирование многораундового фрактального шифрования с адаптивной хаотической перестановкой.....	212
<i>Сидоренко А.А.</i> Анализ методов построения рекомендательных систем в сфере высшего образования.....	218
<i>Чумаченко М.Г.</i> Модель выявления аномалий в сетевом трафике в условиях компьютерных атак .....	224
<i>Шабанов И.Ю.</i> Разработка рекомендаций по улучшению экологической обстановки на территории «Харцызского трубного завода» .....	228
<i>Щекин Д.С.</i> Методы анализа данных в системах подбора и ранжирования отелей .....	232

# Биологические науки

УДК 58.006

## ПРЕДСТАВИТЕЛИ КЛАССА *POLYPODIOPSIDA* В КОЛЛЕКЦИИ ТРОПИЧЕСКИХ И СУБТРОПИЧЕСКИХ РАСТЕНИЙ ДОНЕЦКОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА

Авраменко К.Д.

Научные руководители: Николаева А.В., канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «ДБС», Сафонов А.И., канд. биол. наук, зав. кафедрой ФГБОУ ВО «ДонГУ»

*Аннотация.* В данной работе представлены итоги инвентаризации коллекции представителей класса *Polypodiopsida* коллекции тропических и субтропических растений Донецкого ботанического сада. Проведена сравнительная характеристика таксонов по географическому происхождению, экологической приуроченности, жизненным формам и способности к самовоспроизведению. Установлено, что коллекция включает 14 видов из 10 родов и 7 семейств, происходящих из тропических и субтропических регионов пяти континентов. Выявлено 6 видов, успешно адаптированных к условиям защищённого грунта и размножающихся самосевом. Рассмотрены области практического применения папоротников в медицине и фитодизайне, определены перспективные для интерьерного озеленения виды.

*Ключевые слова:* представители класса *Polypodiopsida*, коллекция тропических и субтропических растений Донецкого ботанического сада, интродукция, фитодизайн.

Представители класса настоящие папоротники (*Polypodiopsida*) относятся к древнейшим сосудистым растениям отделу папоротниковидных (*Polypodiophyta*). Около 75 % данного отдела в наши дни произрастает на территории тропических и субтропических регионов. *Polypodiopsida* — наиболее широкий класс из всего отдела *Polypodiophyta*. Папоротники по сей день занимают важную нишу в экологических и трофических связях [1]. Для науки папоротники как древняя группа растений являют собой объект, изучение которого даёт ответы на многие вопросы естественной истории, эволюционной биологии, генетики и палеоботаники. Изучение данного таксона позволяет более точно представить облик нашей планеты в доисторические времена, достроить филогенетическое древо автотрофных организмов, а также отследить механизмы эволюционной адаптации растений [5]. Кроме того, многие виды папоротников применяются в медицине на протяжении всей истории человечества, а их лекарственные свойства подтверждены современной наукой. Изучение биохимии папоротников позволило разработать ряд препаратов, показавших свою эффективность, ещё раз демонстрируя практическую пользу данного таксона [3]. Также в массовой культуре папоротники высоко ценятся в ландшафтной архитектуре и фитодизайне закрытых помещений, так как помимо декоративной ценности папоротников, выделяют их благоприятное воздействие на микроклимат жилых и производственных помещений.

Цель работы – провести инвентаризацию представителей класса *Polypodiopsida* в коллекции тропических и субтропических растений Донецкого ботанического сада, выполнить их эколого-географический анализ, оценить успешность интродукции и выделить виды, перспективные для использования в фитодизайне закрытых помещений.

Донецкий ботанический сад основан в 1964 году. Оранжерейный комплекс состоит из пяти оранжерей общей площадью 2660 м<sup>2</sup>, в трёх из которых культивируются представители птеридофлоры. Коллекционный фонд тропических и субтропических растений Донецкого ботанического сада насчитывает более 3000 таксонов.

Сохранение и пополнение коллекций ботанических садов — важная задача, цель которой — создание устойчивой, репрезентативной базы растений из различных климатических зон в условиях умеренного пояса. Это даёт возможность проводить работы как в исследовательском направлении, так и в практическом, и эстетическом [5]. Данные, полученные в ходе изучения коллекционных фондов, позволяют обосновать и предложить для практики фитодизайна ассортимент наиболее перспективных и устойчивых видов. В коллекции стоит выделить некоторые виды папоротников с доказанными лекарственными свойствами. Вегетативные части *Adiantum capillus-veneris* L. обладают доказанными антиоксидантными свойствами, из растения изготавливают различные мази и отвары, снимающие воспаления. Экстракт, полученный из адиантума, обладает антибактериальными свойствами в отношении как грамположительных, так и грамотрицательных бактерий [2]. Лиановидный папоротник родом из болот Азии, Индии и Океании — *Stenochlaena palustris* (Burm. f.) Bedd. Используется народами Индии и Малайзии в медицине как бактерицидное и противогрибковое средство. Применяется в лечении лихорадки, язв, кожных заболеваний, отвары используют при лечении заболеваний желудка и отравления. В официальных исследованиях подтверждают антигликозидные свойства стенохлоены болотной, что позволяет рассматривать её для потенциального применения в лечении сахарного диабета [9]. Папоротники рода *Nephrolepis* Schott используются в народной медицине как противокашлевое средство, а также при болях в желудке. Растение известно своими фунгицидными и бактериостатическими свойствами [3; 4].

Также необходимо отметить благоприятное воздействие папоротников на микроклимат жилых и производственных помещений. В частности, представленные в коллекции Донецкого ботанического сада виды родов *Nephrolepis* и *Adiantum*. Папоротники благодаря своим особенностям, связанным с их экологическим положением в геобиоценозах, улучшают качество воздуха, поглощая формальдегид, толуол и другие продукты деструкции полимерных материалов, кроме того, снижают концентрацию антропоксинов. В частности, папоротники относят к ионизаторам воздуха, что благоприятно сказывается на самочувствии человека [4; 6; 10]. Но стоит избегать применения папоротников в интерьере озеленении детских помещений (школах и детских садах), а также в больницах, так как споры папоротников могут быть возбудителями аллергической реакции и вредны для людей с заболеваниями дыхательной системы. Папоротники обладают высокой декоративностью и очень ценятся в фитодизайне, особенно в тех широтах, где папоротники не являются частью естественной флоры, а это довольно широкий географический ареал, в том числе и регион Донбасса. Наш климат с ярко выраженной сезонностью и засушливым летом с малым количеством осадков делает проблематичным интродукцию даже тех видов папоротников, которые традиционно считаются растениями для озеленения открытого грунта. Наибольшую популярность в озеленении помещений папоротники обрели во времена викторианской Англии. В исторический период активной колонизации, в том числе тропических регионов, стремились привезти из далёких стран изящные экзотические растения. В сознании людей объекты природной флоры умеренного пояса значительно уступали в разнообразии форм привезённым экземплярам [4]. Это стремление воссоздать джунгли в сезонных широтах побудило ботаников воздвигнуть ботанические сады, а простых обывателей — добавить в свои дома больше тропических растений. Папоротники стали предметом роскоши, украшали и без того богато убранные залы. Тенденция на создание имитации тропического леса в закрытых помещениях росла, и в интерьерах стали появляться эпифитные папоротники в подвесных и настенных кашпо. На текущий момент мы можем встретить множество интересных решений в озеленении: фитостены, панно, фитомодули и т. п.. Кроме разнообразия форм подвесных кашпо, по всему миру распространилось японское направление в

фитодизайне; особая техника формирования “горшка” из торфа и мха — кокедама. Для видов, требовавших более трепетного отношения, в моду вошли стеклянные витрины, которые затем трансформировались в современные флорариумы. И отдельно хотелось бы выделить относительно новую тенденцию в фитодизайне — палюдарииум. Это целые закрытые экосистемы, воссоздающие условия тропических водоёмов, болот и прибрежных районов. Чаще — закрытая конструкция из стекла, в которой поддерживаются оптимальные условия для роста влаголюбивых растений, в частности папоротников, что позволяет наблюдать тропики в миниатюре [4; 5]. Конечно, существуют и более сложные установки, например, гидро- и аквапоника. Но при наличии необходимого оборудования, знаний и навыков можно соорудить довольно эффектные фитозоны в местах проведения досуга. Фитодизайн в современных реалиях — очень востребованное направление, пропитанное особым эстетизмом, и соответствует современным тенденциям на экологичность и естественность. Растительность в интерьере делает его завершённым, комфортным. Санитарно-гигиеническое и эстетико-психологическое влияние растений в сумме дают положительный результат в виде снижения стресса. Живые растения никогда не выйдут из моды, так как всегда будут напоминать человеку о природе, ассоциирующейся со спокойствием, пользой и, конечно, изящной красотой.

Наиболее часто в интерьерах используют виды: *Adiantum capillus-veneris* L., *Asplenium bulbiferum* G. Forst., *Asplenium nidus* L., *Microsorium punctatum* (L.) Copel., *Nephrolepis exaltata* (L.) Schott., *Cyrtomium falcatum* (L. f.) C. Presl., *Platycterium bifurcatum* (Cav.) C. Chr., *Pteris longifolia* L. [7].

Согласно проведённой инвентаризации на момент окончания 2025 года, в коллекции тропических и субтропических растений Донецкого ботанического сада класс *Polypodiopsida* представлен 14 видами, относящимися к 10 родам и 7 семействам (табл. 1). При описании коллекции использовалась новая систематика класса настоящие папоротники, а также каталог Plants of the World Online / Royal Botanic Gardens, Kew [11].

Таблица 1. Количественный состав семейств, родов и видов класса *Polypodiopsida* Cronquist, Takht. & W.Zimm., представленные в коллекции ДБС

№	Семейство	Количество родов	Количество видов
1	<i>Adiantaceae</i> (C. Presl) Ching	1	3
2	<i>Aspleniaceae</i> Newman	1	2
3	<i>Blechnaceae</i> Newman	1	1
4	<i>Dryopteridaceae</i> Herter.	1	2
5	<i>Nephrolepidaceae</i> Pic. Serm.	1	1
6	<i>Polypodiaceae</i> J. Presl & C. Presl	4	4
7	<i>Pteridaceae</i> E.D.M. Kirchn.	1	1

Пополнение коллекции в основном осуществляется благодаря обмену с другими ботаническими садами и научными учреждениями ботанического профиля. Также в делектусах, поступающих в наш сад, числятся споры папоротников, что позволяет сотрудникам расширить коллекцию.

Результаты эколого-географического анализа показали, что в коллекции представлены папоротники тропических и субтропических регионов пяти континентов. Спектр жизненных форм включает травянистые растения, эпифиты и литофиты [4; 5]; водные и древовидные формы не представлены (табл. 2).

Размножение папоротников в коллекции осуществляется преимущественно вегетативно. Также ведутся работы по введению спор в культуру *in vitro*,

преодолевающие сложности их проращивания. В результате анализа успешности интродукции папоротников в оранжереях Донецкого ботанического сада установлено, что 6 видов демонстрируют высокую степень адаптации: *Adiantum capillus-veneris* L., *Stenochlaena palustris* (Burm. f.) Bedd., *Cyrtomium falcatum* (L. f.) C. Presl, *Nephrolepis exaltata* (L.) Schott, *Phymatosorus pustulatus* (G. Forst) Large & Braggins, P.S. Green, *Pteris longifolia* L. Данные виды успешно проходят полный цикл развития и активно размножаются как вегетативно, так и спорами (самосевом).

Таблица 2. Эколого-географическая характеристика представителей класса *Polypodiopsida* в коллекции тропических и субтропических растений Донецкого ботанического сада. (по данным [4; 5; 7; 8; 11])

Вид	География	Экологическая приуроченность	Жизненная форма	Самовоспроизведение
Family ADIANTACEAE (C. Presl) Ching				
<i>Adiantum capillus-veneris</i> L.	субтропики и тропики обоих полушарий	леса и скалы	травянистое растение/литофит	+
<i>Adiantum raddianum</i> (C.Presl.)	Южная Америка	леса	травянистое растение/эпифит	
<i>Adiantum tenerum</i> (T. Moore) André.	Большие и Малые Антильские о-ва, тропическая Америка	леса	Травянистое растение	
Family ASPLENIACEAE Newman				
<i>Asplenium bulbiferum</i> G. Forst.	Австралия, Нов. Зеландия, Северная Индия	леса и скалы, часто рядом с волоёмами	травянистое растение	
<i>Asplenium nidus</i> L.	Юго-Восточная Азия, Полинезия, тропическая Австралия, Океания	леса	травянистое растение /эпифит	
Family BLECHNACEAE Newman				
<i>Stenochlaena palustris</i> (Bur m. f.) Bedd.	Ю-В Азия, Австралия, Океания	леса, болота	травянистое растение/лиана	+
Family DRYOPTERIDACEAE Herter.				
<i>Cyrtomium carvotideum</i> (Wall. ex Hook. & Grev.) C. Presl	Китай, Тайвань, Тибет, Япония, Южная Корея, Гавайи, Индия, Вьет нам, Непал, Бутан, Пакистан, Кашмир	субтропические леса	травянистое растение	
<i>Cyrtomium falcatum</i> (L. f.) C. Presl	Китай, Япония, Сев. Индия, Шри Ланка, Полинезия, Южная Африка	субтропические леса	травянистое растение	+
Family NEPHROLEPIDACEAE Pic. Serm.				
<i>Nephrolepis exaltata</i> (L.) Schott	Юго-Восточная Азия	леса	травянистое растение /эпифит	+
Family POLYPODIACEAE J. Presl & C. Presl				
<i>Acrostichum aureum</i> L.	Африка, Азия, Океания, Южная Америка, северная часть Австралии	прибрежные зоны, мангровые леса, солончаки, болота	травянистое растение	
<i>Microsorium punctatum</i> (L.) Copel.	Африка, Мадагаскар, Сейшельские о-ва, Новая Каледония, Реюньон, Китай, Индия, Бангладеш, острова Тихого океана	леса	эпифит/литофит	
<i>Phymatosorus pustulatus</i> (G. Forst) Large Braggins, P.S. Green	Океания, Новая Зеландия	леса и скалы	травянистое растение /эпифит	+

<i>Platyserium bifurcatum</i> (Cav.) C. Chr.	Восточная Австралия, о-ва Новая Гвинея и Новая Каледония	леса	эпифт	
Family PTERIDACEAE E.D.M. Kirchn.				
<i>Pteris longifolia</i> L.	США (Флорида), Мексика, Вест Индия, Багамские о-ва	леса	травянистое растение	+

Полученные данные об успешности интродукции и способности к самовоспроизведению позволяют выделить группу видов, наиболее перспективных для использования в интерьерном озеленении. Именно эти виды, уже адаптированные к условиям защищённого грунта и активно размножающиеся в коллекции, могут стать основой для производственной деятельности ботанического сада и рекомендаций для фитодизайна (табл. 3).

Таблица 3. Виды папоротников коллекции тропических и субтропических растений Донецкого ботанического сада, рекомендуемые для фитодизайна закрытых помещений

№	Вид	Декоративные особенности	Рекомендуемое применение
1	<i>Adiantum capillusveneris</i> L.- <i>veneris</i>	Нежные ажурные вайи	Подвесные кашпо, флорариумы, групповые посадки
2	<i>Asplenium bulbiferum</i> G. Forst.	Раскидистые вайи с выводковыми почками	Солитёр, групповые посадки, кадочная культура
3	<i>Asplenium nidus</i> L.	Розетка цельных блестящих листьев	Подвесные кашпо, витрины, кокедама
4	<i>Microsorium punctatum</i> (L.) Copel.	Жёсткие блестящие листья, устойчивость к сухости	Подвесные кашпо, панно, фитостены
5	<i>Nephrolepis exaltata</i> (L.) Schott	Классические изогнутые вайи	Подвесные композиции, ампельная культура, солитёр, групповое посадки
6	<i>Cyrtomium falcatum</i> (L. f.) C. Presl	Тёмно-зелёные кожистые листья	Фоновое растение, группы, кадочная культура
7	<i>Platyserium bifurcatum</i> (Cav.) C. Chr.	Два типа вай, экзотичный вид	Настенные композиции, витрины, подвесные кашпо,
8	<i>Pteris longifolia</i> L.	Изящные перистые вайи	Ярусные композиции, закрытые витрины
9	<i>Stenochlaena palustris</i> (Burm. f.) Bedd.	Лиановидный папоротник	Вертикальное озеленение, витрины, кадочная культура
10	<i>Phymatosorus pustulatus</i> (G. Forst) Large & Braggins, P.S. Green	Фактурные листья	Эпифитные композиции, групповые посадки, фоновое растение

Таким образом, в результате инвентаризации коллекции тропических и субтропических растений Донецкого ботанического сада установлено, что класс Polypodiopsida представлен 14 видами из 10 родов и 7 семейств. Наибольшее видовое разнообразие отмечено в семействах Adiantaceae (3 вида) и Polypodiaceae (4 вида). Эколого-географический анализ показал, что коллекция сформирована из видов, происходящих из тропических и субтропических регионов пяти континентов. Спектр жизненных форм включает травянистые растения, эпифиты и литофиты. Выявлено 6 видов (*Adiantum capillus-veneris* L., *Stenochlaena palustris* (Burm. f.) Bedd., *Cyrtomium falcatum* (L. f.) C. Presl, *Nephrolepis exaltata* (L.) Schott, *Phymatosorus pustulatus* (G. Forst) Large & Braggins, P.S. Green, *Pteris longifolia* L.), которые характеризуются высокой степенью адаптации к условиям защищённого грунта, успешно проходят полный цикл развития и размножаются вегетативно и самосевом.

На основании оценки декоративных качеств и успешности интродукции выделено 10 видов, перспективных для использования в фитодизайне закрытых помещений. Данные виды могут применяться в различных формах интерьерного озеленения:

ампельной культуре, фитостенах, флорариумах, палюдариумах, а также в качестве солитеров и фоновых растений.

Полученные результаты могут быть использованы для пополнения и оптимизации коллекционного фонда, а также для разработки рекомендаций по использованию папоротников в озеленении интерьеров и производственной деятельности ботанического сада.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тахтаджян А.Л. Высшие растения. Мхи. Плауны. Хвощи. Папоротники. Голосемянные растения. М.: Изд-во «Просвещение», 1987. Т. 4. 447 с.
2. Яковлев Г.П. Большой энциклопедический словарь лекарственных растений: учебное пособие. СПб.: СпецЛит, 2015. 759 с.
3. Головкин Б.Н., Золкин С.Ю., Трофимова И.А. Медицинская ботаника. М.: ГЕОС, 2019. 326 с.
4. Раббонаева В. И., Рогулева Н. О. Представители класса настоящие папоротники (Polypodiopsida) в коллекции оранжереи Ботанического сада Самарского университета // Научное обозрение. Биологические науки. 2020. №3. С. 24–29.
5. Кашаева Г. Г., Якупова В. В., Лебедева М. В. Папоротникообразные коллекции оранжереи ЮУБСИ УФИЦ РАН // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. №12 (90). С. 179–185.
6. Тарасенко А. В. Влияние комнатных растений на микроклимат в помещении, а также на здоровье и психоэмоциональное состояние человека // Наука и образование сегодня. 2018. №5 (28). С. 15–16.
7. Тептина А. Ю., Пауков А. Г. Декоративные интерьерные растения : учебное пособие. В 2 ч. Ч. 2. Голосемянные, папоротники, плауновидные и однодольные / А. Ю. Тептина, А. Г. Пауков ; под общ. ред. А. Ю. Тептиной ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2020. 238 с.
8. Степанов Н. В. Ботаника. Систематика высших споровых растений : учебное пособие / Н. В. Степанов. Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2017. 204 с. ISBN 978-5-7638-3684-4.
9. Hendra R., Khodijah R., Almurdani M., Haryani Y., Nugraha A. S., Frimayanti N., Teruna H. Y., Abdulah R. Free Radical Scavenging, Anti-Infectious, and Toxicity Activities from *Stenochlaena palustris* (Burm.f.) Bedd. Extracts // *Advances in Pharmacological and Pharmaceutical Sciences*. 2022. Vol. 2022.
10. Wolverson B. C., Douglas W. L., Bounds K. A study of interior landscape plants for indoor air pollution abatement: An Interim Report // NASA Technical Reports Server. 1989. July 1. Report Number: NASA-TM-108061.
11. Plants of the World Online [Electronic resource] / Royal Botanic Gardens, Kew. URL: [powo.science.kew.org](http://powo.science.kew.org). (accessed: 05.02.2026)

#### REPRESENTATIVES OF THE CLASS POLYPODIOPSIDA IN THE COLLECTION OF TROPICAL AND SUBTROPICAL PLANTS OF THE DONETSK BOTANICAL GARDEN

**Abstract.** This paper presents the results of an inventory of the collection of class Polypodiopsida representatives within the tropical and subtropical plant collection of the Donetsk Botanical Garden. A comparative analysis of the taxa was conducted based on geographical origin, ecological preferences, life forms, and self-reproduction capacity. It was established that the collection includes 14 species from 10 genera and 7 families, originating from tropical and subtropical regions of five continents. Six species were identified as successfully adapted to protected ground conditions and capable of self-seeding. The areas of practical application of ferns in medicine and phytodesign are considered, and species promising for interior landscaping are identified. **Keywords:** representatives of the class Polypodiopsida, collection of tropical and subtropical plants of the Donetsk Botanical Garden, introduction, phytodesign.

#### **Avramenko K.D.**

Scientific adviser: Nikolaeva A.V. Ph.D.,  
Leading Researcher Donetsk Botanical Garden  
Safonov A.I. Ph.D.,  
Head of the Department of Botany and Ecology Donetsk State University  
E-mail: [avramenkostya358@mail.ru](mailto:avramenkostya358@mail.ru)

УДК 577.3

## ИЗМЕНЧИВОСТЬ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ КАК ИНДИКАТОР АНТРОПОГЕННОЙ И ПРИРОДНОЙ НАГРУЗКИ НА ДРЕВЕСНЫЕ РАСТЕНИЯ

*Антропова Л.П.*

*Научный руководитель: Чуфицкий С.В., доцент  
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

*Аннотация.* В работе представлен обзор научных источников, посвященных изучению изменчивости фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов) у древесных растений под воздействием антропогенных и природных факторов. Показано, что содержание пигментов и их соотношение являются надежными индикаторами стресса, вызванного загрязнением воздуха и почвы, температурными перепадами и засухой. Выявлены разнонаправленные адаптационные реакции растений: в одних случаях происходит снижение концентрации хлорофиллов в зонах интенсивного антропогенного воздействия, в других – увеличение содержания пигментов, особенно хлорофилла *b* и каротиноидов, что является компенсаторным адаптивным механизмом, направленным на выживание растений в неблагоприятных условиях урбанизированной среды.

*Ключевые слова:* фотопигменты, фотосинтетический аппарат, хлорофиллы, каротиноиды, антропогенное воздействие.

**Введение.** Фотосинтетические пигменты – хлорофиллы *a*, *b* и каротиноиды играют ключевую роль в энергообеспечении растений и чутко реагируют на изменения условий произрастания, что позволяет рассматривать их в качестве надежных индикаторов качества окружающей среды [1-2]. Антропогенная нагрузка, связанная с загрязнением воздуха и почвы выбросами автотранспорта и промышленности, а также экстремальные климатические факторы вызывают стресс у древесных растений [3-5, 13]. Внешне это проявляется в изменении окраски листьев, вызванном перестройкой пигментных комплексов, что может отражать как степень повреждения фотосистемы II, так и общую фотосинтетическую активность [6, 14].

Несмотря на обширное количество исследований в данной области, обобщение полученных данных затруднено в силу видоспецифичности реакций растений, а также зависимости результатов от конкретных условий места произрастания и сезонной динамики [7, 15]. Это обуславливает необходимость дальнейшего накопления и систематизации данных для разработки надежных критериев оценки состояния насаждений. Подобные исследования имеют высокую практическую значимость и могут быть применены в экологическом мониторинге и биондикации для контроля качества урбанизированной среды и отбора устойчивых видов для озеленения.

Целью данной работы является обобщение и анализ данных научной литературы об изменчивости содержания фотосинтетических пигментов у древесных растений под воздействием антропогенных и природных факторов.

### **Основная часть.**

Анализ литературных данных демонстрирует неоднозначность реакции пигментного комплекса древесных растений на антропогенный стресс. Изменения концентраций хлорофиллов и каротиноидов зависят не только от вида и экологических условий, но и от характера самого загрязнения, что подтверждается чередой исследований:

Так, в работе Уромова И.П. и др. [8] был проанализирован пигментный состав листовых пластинок у пяти древесных пород: мелколистная липа (*Tilia cordata* Mill.), тополь бальзамический (*Populus balsamifera*), клён остролистный (*Acer platanoides* L.), клён ясенелистный (*Acer negundo* L.) и берёза повислая (*Betula pendula* Roth). Сравнение проб, отобранных в городских условиях, с контрольными образцами выявило снижение концентрации хлорофилла *a* от 1,7% до 14,8%. Содержание хлорофилла *b* выросло на

3,1-7,3% у большинства растений, за исключением *T. cordata*. Также отмечен значимый рост уровня каротиноидов – от 4,6% до 22,4%. Показательным является отношение пигментов  $a/b$ , которое служит индикатором фотосинтетической активности. Значение, соответствующее высокой активности, наблюдалось только у контрольных экземпляров *T. cordata*. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что трансформации в пигментном комплексе листьев обусловлены как биологическими особенностями видов растений, так и их адаптационным ответом на специфические факторы окружающей среды в месте произрастания.

Однако типы адаптационной способности могут различаться. В отличие от предыдущего исследования, в работе Дегтяревой А.П. [9] объектом выступала хвоя сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) из двух популяций в различных условиях. Контрольной местностью являлись лесные культуры на относительно чистой территории, опытной испытывающей антропогенную нагрузку – поселок вблизи автодороги и промобъектов. Содержание хлорофилла  $a$  в загрязненной зоне практически не изменилось, показав лишь незначительный рост с 0,75 до 0,80 мг/г. Зато концентрация хлорофилла  $b$  оказалась существенно выше – на 31%, что закономерно повысило и суммарное содержание ( $a+b$ ) на 0,21 мг/г. Однако ключевой индикатор – соотношение  $a/b$  – в этих же условиях снизилось на 16%, прямо указывая на падение фотосинтетической эффективности. Автор интерпретирует это сочетание (стабильный хлорофилл  $a$  на фоне резкого возрастания  $b$ ) как защитный механизм. При этом общее снижение фотосинтетической активности обосновывается значимым падением соотношения  $a/b$ , что согласуется с результатами о негативном влиянии загрязнения среды на физиологию растений.

Иной результат демонстрирует работа Drăgucian V.-D. с соавт. [16], где оценивалось количество пигмента у грецкого ореха (*Juglans regia* L.) и робинии ложноакациевой (*Robinia pseudoacacia* L.) в различных городских территориях (улицы, парки, площадь). Было выявлено, что содержание фотопигмента варьировало незначительно в зависимости от места произрастания, однако межвидовые различия и различия между типами местообитаний оказались существенны. Содержание хлорофилла было выше в городских районах для исследуемых видов, что позволило предположить, что это адаптационная приспособленность к антропогенному стрессу. Снижение уровня хлорофилла для *J. regia* был в местах произрастания, находящихся в центре города (180 мгм<sup>2</sup>), в то время как наиболее высокий уровень хлорофилла для *R. pseudoacacia* было в пригородном районе (700 мгм<sup>2</sup>), что говорит о том, что видовая специфика играет не меньшую роль, чем локализация.

Bierza K. И др. [17] изучали влияние промышленного и городского пылевого загрязнения на экофизиологию и пигментный комплекс в листовых пластинках липы мелколистной (*T. cordata* Mill.). Исследование проводилось в центре города и бывшем промышленном районе, где ранее существовал завод по выплавке цветных металлов. Участки сбора проб в центре города были разделены в зависимости от интенсивности движения на три группы – от слабой (основные дороги) до высокой (с автобусными остановками и трамвайными линиями). Выяснилось, что на участках с интенсивным движением и в промзоне общее содержание хлорофиллов  $a$  и  $b$  в среднем на 27-28% ниже, чем на улицах с малым и средним трафиком. Самые низкие значения находятся вблизи точек с интенсивным движением и более высокими уровнями химических элементов таких как Pb, Al и Cr. При этом в центральной части центра города липы характеризовались более высоким содержанием фотопигментов и меньшим загрязнением воздуха тяжелыми металлами (Cr, Pb, Mn и Fe). Авторы связывают угнетение фотосинтеза с подавлением ферментов биосинтеза хлорофилла, повреждением хлоропластов либо разрушением самого пигмента под действием пылевых частиц. Однако учёными было отмечено, что в других исследованиях

содержания хлорофилла увеличивалось при окислительном стрессе, вызванном воздействием тяжелых металлов. Это подтверждает, что направленность адаптационных сдвигов зависит от влияющей на растения дозы загрязнителя и экспозиции.

L. Wang и соавт. [18] исследовали влияние комбинированного воздействия озона и засухи на содержание пигментов в листьях клёна красного (*Acer rubrum* L.) и моноклёна (*Acer pictum* Thunb.ex Murray). Исследование проводилось на экспериментальной полевой станции. Результаты показали, что двойной стресс приводил к изменению окраски листьев *A. rubrum* с зеленой на красную и к уменьшению размеров листьев. Изменения во внешнем виде и морфологии *A. pictum* в первую очередь проявлялось в пожелтении и хлорозе листьев, от края до центральной части, а также в области жилок. Размер листьев *A. pictum* существенно не изменился при одинарном воздействии стрессовых факторов, но при двойном воздействии наблюдалась тенденция к уменьшению листовых пластин. Общее содержание пигмента ( $a+b$ ) и хлорофилла  $a$  у обоих видов значительно снижалось при одинарном воздействии  $O_3$  и засухи, в то время как содержание каротиноидов и хлорофилла  $b$  значительно снижалось при одинарном и двойном воздействии. Соотношение хлорофилла  $a$  и  $b$  в листьях *A. rubrum* существенно менялось при каждом стрессовом воздействии, сначала увеличиваясь, а затем уменьшаясь при воздействии  $O_3$  в отдельности, что может указывать на фазовый характер адаптации.

Несколько иной аспект антропогенного влияния – световое загрязнение рассматривали Kutafina N.V. и соавт. [19]. Определялось содержание и соотношение различных форм фотопигментов в листьях берёзы повислой (*B. pendula* Roth), произрастающих при естественном освещении, по сравнению с растениями, растущими при дополнительном искусственном освещении вблизи уличных фонарей и окон. Было отмечено увеличение содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях березы повислой в результате искусственного увеличения продолжительности светового периода в условиях умеренного климата. У растений выявлено увеличение содержания суммарных хлорофиллов на 12,0%, каротиноидов – на 23,0%. Авторы отмечали, что у растений происходила адаптация пигментного аппарата путём трансформации светособирающего комплекса, как у берёз, произрастающих в условиях естественного освещения, так и у расположенных в зоне искусственного освещения. Факторы урбанизированной среды, такие как уплотнение почвы, освещенность, которые обычно негативно влияют на растения парковых зон, в конце вегетации не приводили к уменьшению содержания фотопигментов по сравнению с исследуемыми древесными растениями в лесной зоне. Это свидетельствует о том, что *B. pendula* обладает большей адаптационной способностью и экологической пластичностью к действию антропогенных и природных факторов.

Abriha-Molnár V.É. и соавт. [20] изучали уровень загрязнения поверхности листьев и содержание в них хлорофилла на участке дороги, который начинался на перекрёстке и заканчивался в менее оживлённом пригороде. Также оценивалось влияние метеорологических условий на количество оседающей пыли. Исследуемая территория располагалась в центральной части города. На качество воздуха в городе в основном влияло загрязнение твердыми частицами от автотранспорта. Объектом исследования являлся каркас западный (*Celtis occidentalis* L.). Количество пыли, осевшей на поверхности листьев, существенно различалось в зависимости от даты отбора проб в июле и сентябре. Наряду с определением количества осевшей пыли, также определяли содержание хлорофилла в тех же образцах, взятых вдоль дороги. Исследователи обнаружили, что содержание хлорофилла в *C. occidentalis* снижалось по мере удаления от транспорта в июле, хотя и не так быстро, как снижалось количество осевшей пыли. Воздействие умеренного количества загрязняющих веществ в воздухе привело к увеличению содержания хлорофилла. По сравнению с июлем содержание хлорофилла в

*C. occidentalis* в сентябре значительно увеличилось. Однако показатели, полученные в каждом из мест, сильно различались между собой, поэтому, в отличие от июля, в сентябре на участке отбора проб не прослеживалась четкая тенденция. Было высказано предположение, что определенный уровень загрязнения воздуха положительно влияет на содержание хлорофилла растений благодаря компенсаторным механизмам, например для поддержания фотосинтетической активности в условиях затенения, вызванного твердыми частицами.

В исследованиях Porek R. и др. [21] оценивалось влияние накопления твердых частиц на фотосинтетические процессы липы мелколистной (*T. cordata*), рябины промежуточной (*Sorbus intermedia* (Ehrh.) Pers.) и платана клёнолистного (*Platanus hispanica* Mill. ex Muenchh.). Данные показали, что степень накопления твердых частиц зависит не только от вида растения, но и от высоты и места сбора проб. Наибольшее среднее содержание хлорофилла было зафиксировано в верхней части кроны *S. intermedia*, далее у *T. cordata* на обочине дороги и у *P. hispanica*, произрастающих дальше от автомагистрали. Самое низкое содержание хлорофилла, зафиксированное в *P. hispanica* в центральной части кроны. В среднем самое высокое содержание хлорофилла было обнаружено в листьях, растущих со стороны дороги и в верхней части кроны, то есть в местах, наиболее подверженных воздействию загрязняющих веществ. В целом оседание твердых частиц из атмосферы на поверхности листьев может приводить к закупорке устьиц и образованию феофитина, который, в свою очередь, вызывает разрушение пигментов и препятствует фотосинтетической активности, тем самым снижая содержание хлорофилла. Однако в некоторых более ранних исследованиях авторы отмечают, что у некоторых видов растений содержание хлорофилла выше даже в загрязнённых районах, что подтверждает результаты данного исследования. Растения, у которых содержание хлорофилла выше даже в загрязнённой среде, демонстрируют устойчивость к распространённым загрязнителям воздуха.

Кузьмин П. А. [10] исследовал влияние урбанизированной среды на синтез хлорофиллов и каротиноидов в листьях *T. cordata* в зависимости от сезона. Листовые пластинки собирались из разных районов города: вдоль автомагистральных дорог, возле литейного и кузнечного заводов. В июле и августе отмечалось большее количество хлорофилла *a* в контрольных растениях. Однако, в июне, в начальный период активной вегетации, в растениях, высаженных вдоль улиц, отмечалось большее содержание хлорофилла *a*, чем в контроле. Автор объясняет такой результат запуском активных метаболических процессов в клетках растений. Процесс способствует повышению скорости синтеза хлорофилла, что может выступать компенсацией последующего негативного воздействия загрязнителей на растительные организмы. В августе месяце в течении пяти лет исследований содержание хлорофилла *a* в листьях было минимальным вдоль улиц. Снижение содержания фотопигментов указывает на негативное воздействие техногенной нагрузки на растения и на разрушение самих пигментов. В условиях санитарно-защитных зон промышленных предприятий влияние техногенной нагрузки было меньше. Хлорофилл *a* также разрушался, но в меньшей степени. *T. cordata*, произрастающая возле промышленных предприятий на протяжении летних месяцев имела больше хлорофилла *b*, чем в контроле на протяжении всего исследования. Содержания каротиноидов в июне и июле было выше, по сравнению с контролем. Это способствует стабильному протеканию физиологических и биохимических процессов в условиях техногенного воздействия. Все это отражает формирование у *T. cordata* специфической адаптационной реакции на условия урбанизированной среды.

В работе Стасова В.В. и соавт. [11] изучались фотосинтетические пигменты в листовых пластинках *B. pendula* при воздействии техногенных факторов. Мониторинговые площадки были заложены вблизи города, в березняках, и подвергались антропогенной нагрузке разной интенсивности. В результате было выявлено, что

растения, произрастающие в местах с техногенной нагрузкой, содержали больше хлорофилла *a*. Количество хлорофилла *b* было ниже в 2,5-3 раза, чем хлорофилла *a*, но сопоставимо с содержанием каротиноидов. Общее количество хлорофиллов ( $a+b$ ), соотношение форм хлорофиллов ( $a/b$ ) и отношение суммы содержания хлорофиллов к суммарному содержанию каротиноидов ( $(a+b)/\text{каротиноиды}$ ) не позволяет выявить связи полученных данных с особенностями условий произрастания исследуемых березовых древостоев. Процесс накопления техногенной пыли на листьях положительно коррелирует с содержанием пигментов, особенно хлорофилла *a*. В целом физиологическое состояние *B. pendula*, произрастающей в пригородах, было оценено исследователями как удовлетворительное.

Panici P.A. и др. [22] на примере пяти видов: граб обыкновенный (*Carpinus betulus* L.), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.), робиния псевдоакация (*Robinia pseudoacacia* L.), клён полевой (*Acer campestre* L.), клён белый (*Acer pseudoplatanus* L.) провели сравнительный анализ пигментного комплекса в контрастных условиях произрастания (природный парк и центр города). Средний показатель содержания хлорофилла *a* в природном парке для всех видов составил 18,09 %, 14,55% для *F. excelsior* до – 32,64 % для *A. pseudoplatanus*. У *C. betulus* значение этого параметра было значительно выше, чем у *R. pseudoacacia*, *A. campestre* и *F. excelsior*, которые отличались друг от друга. В городской черте изменчивость между видами по этому признаку была значительно ниже и составляла от 24,1% у *C. betulus* до 26,19 % у *A. campestre*, который показал большее содержание пигмента в сравнении с другими видами. В целом за период наблюдений стабильно высокие показатели демонстрировал *A. pseudoplatanus*, тогда как *A. campestre* и *F. excelsior* характеризовались минимальными значениями. Авторы делают вывод, что на накопление хлорофилла влияет сложный комплекс факторов: видовая специфика, сезонный аспект и локальные условия произрастания.

В исследовании Чернявской И.В. и др. [12] изучалось содержание фотопигментов в листьях представителей рода *Acer* L. в условиях городской среды. Исследуемыми видами выступали клён сахаристый (*Acer saccharinum* L.), клён полевой (*Acer campestre* L.), клён белый (*Acer pseudoplatanus* L.), клён ясенелистный (*Acer negundo* L.), клён платановидный (*Acer platanoides* L.). Сравнение насаждений в центре города (с интенсивным трафиком) и в ботаническом саду (контроль) выявило четкую закономерность. В условиях загрязнения у всех видов отмечено существенное увеличение доли хлорофилла *b*, а суммарное содержание фотопигментов возросло практически вдвое. Пиковые концентрации хлорофилла *a* в городской среде пришлось на июль-август, причем максимальные значения у *A. pseudoplatanus*, *A. platanoides* и *A. saccharinum* фиксировались вдоль автомагистрали уже в июле, тогда как *A. negundo* и *A. campestre* достигали максимума в августе. Наибольшей пластичностью, самый высокий коэффициент вариации содержания хлорофилла *a* и каротиноидов, в городе отличался *A. negundo*, что указывает на его высокие адаптивные способности. Авторы предполагают, что в зоне антропогенной нагрузки у представителей рода *Acer* происходит усиление синтеза фотосинтетических пигментов и каротиноидов. Структура пигментных комплексов перестраивается в условиях городской среды для дальнейшего выживания древесных растений.

Таким образом, многочисленные исследования свидетельствуют об изменении содержания фотосинтетических пигментов под воздействием различных антропогенных факторов. Выявленная динамика содержания пигментов хорошо согласуется с представлениями о пластичности видов, отражая их адаптивные возможности и служа надежным критерием оценки физиологического состояния древесных растений в условиях стресса. Установлено, что характер и степень изменений концентраций хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов, а также их соотношения ( $a/b$ ), зависят как от видовой

принадлежности растения, так и от природы, интенсивности и продолжительности воздействия неблагоприятных факторов. Антропогенная нагрузка, проявляющаяся в загрязнении воздуха и почвы тяжелыми металлами, твердыми частицами и выбросами автотранспорта, в большинстве случаев приводит к перестройке пигментного комплекса. Это может выражаться как в деградации пигментов из-за повреждения хлоропластов и угнетения ферментов биосинтеза, так и, напротив, в увеличении их концентрации, что рассматривается как компенсаторная адаптивная реакция, направленная на поддержание фотосинтетической активности в условиях затенения листовой пластинки пылью или воздействия окислительного стресса. Показательным маркером снижения функциональной активности фотосистемы II служит уменьшение соотношения хлорофиллов  $a/b$ , которое часто фиксируется в наиболее загрязненных зонах. Природные факторы, такие как засуха, экстремальные температуры и изменение светового режима, также модифицируют пигментный состав, причем комбинированное действие стрессоров приводит к более выраженному хлорозу и снижению размеров листовых пластин. В качестве наиболее чувствительных индикаторов антропогенного загрязнения могут выступать *T. cordata*, *A. platanoides* и *B. pendula*, демонстрирующие либо высокую чувствительность и пластичность, что позволяет использовать их для биоиндикации и мониторинга состояния урбанизированных и техногенно-трансформированных экосистем.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Донецкого государственного университета «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (FRRE-2024-0018).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кочуров Б. И. Пигментный состав как биоиндикатор в урбэкодиагностике городской среды / Б. И. Кочуров, Н. В. Чубченко // Экология урбанизированных территорий. – 2023. – № 4. – С. 26-34. – DOI 10.24412/1816-1863-2023-4-26-34.
2. Семенютина А. В. Метод оценки пигментного комплекса древесных растений как индикатор адаптации к засушливым условиям / А. В. Семенютина, А. Ш. Хужахметова, В. А. Семенютина, И. П. Свинцов // Наука. Мысль: электронный периодический журнал. – 2018. – № 1. – С. 69-82.
3. Антропова, Л. П. Изучение фотосинтетической активности листьев *Tilia cordata* Mill. в условиях антропогенной нагрузки / Л. П. Антропова, С. В. Чуфицкий // Самарский научный вестник. – 2025. – Т. 14, № 3. – С. 15-23. – DOI 10.55355/snvt2025143101. – EDN QJOSLU.
4. Корниенко, В. О. Жизнеспособность дуба черешчатого в условиях города Донецка / В. О. Корниенко, В. Н. Калаев // Сибирский лесной журнал. – 2024. – № 4. – С. 95-106. – DOI 10.15372/SJFS20240409. – EDN SPLUNB.
5. Антропова, Л. П. Сравнительный анализ флуоресценции хлорофилла у древесных растений как метод биоиндикации городской среды / Л. П. Антропова, С. В. Чуфицкий // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2025. – № 2. – С. 64-75. – DOI 10.5281/zenodo.15583344. – EDN JEVOWU.
6. Изменение структуры листа и пигментного комплекса *Betula pendula* в условиях аэротехногенного загрязнения / С. В. Беренцева, Г. Г. Борисова, А. В. Собенин, М. Г. Малева // Вестник Нижневартовского государственного университета. – 2024. – № 2(66). – С. 4-14. – DOI 10.36906/2311-4444/24-2/01. – EDN JBVZRG.
7. Содержание фотосинтетических пигментов листовой пластинки доминирующих видов древесных растений. Мозыря и Г. Калинковичи / В. В. Малащенко, А. А. Хоченков, С. М. Мижуи, Д. С. Мифтахова // Вестник Мозырского государственного педагогического университета им. И.П. Шамякина. – 2021. – № 1(57). – С. 9-15. – EDN IPVLJN.
8. Уромова, И. П. Влияние антропогенных факторов на содержание фотосинтетических пигментов в листьях древесных растений в городских условиях / И. П. Уромова, О. В. Штырлина, И. С. Дедюра // Journal of Agriculture and Environment. – 2023. – № 12(40). – DOI 10.23649/JAE.2023.40.15. – EDN TXGPNR.
9. Дегтярева, А. П. Изменение содержания фотосинтетических пигментов в хвое сосны обыкновенной под воздействием окружающей среды / А. П. Дегтярева // Наука и Образование. – 2021. – Т. 4, № 4. – EDN WNLZQI.

10. Кузьмин, П. А. Экофизиологический аспект содержания фотосинтетических пигментов в листьях *Tilia cordata* Mill. в урбанизированной среде / П. А. Кузьмин // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2024. – № 3. – С. 71-77. – DOI 10.5281/zenodo.14532311. – EDN XNTYDA.
11. Фотосинтетические пигменты в листьях березы повислой при техногенном воздействии / В. В. Стасова, Л. Н. Скрипальщикова, Н. В. Астраханцева, А. П. Барченков // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2023. – № 3(393). – С. 35-47. – DOI 10.37482/0536-1036-2023-3-35-47. – EDN JEZUIF.
12. Чернявская, И. В. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях представителей рода *Acer* L. в условиях городской среды / И. В. Чернявская, Е. М. Еднич, Т. Н. Толстикова // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. – 2023. – Т. 15, № 5. – С. 153-171. – DOI 10.12731/2658-6649-2023-15-5-931. – EDN GRNENC.
13. Zielewicz W. Quantification of Chlorophyll and Carotene Pigments Content in Mountain Melick (*Melica nutans* L.) in Relation to Edaphic Variables / W. Zielewicz, B. Wróbel, G. Niedbała // Forests. – 2020. – Vol. 11, No. 11. – P. 1197. – DOI: 10.3390/f11111197.
14. Xie Y. Predicting autumn phenology: How deciduous tree species respond to weather stressors / Y. Xie, X. Wang, A. M. Wilson, J. A. Silander // Agricultural and Forest Meteorology. – 2018. – Vol. 250-251. – P. 127-137. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.12.259>.
15. Selzer L. J. Pigments and photosynthesis of understory grasses: Light irradiance and soil moisture effects / L. J. Selzer, C. A. Busso // Russian Journal of Plant Physiology. – 2016. – Vol. 63, No. 2. – P. 224-234. – DOI: 10.1134/S1021443716020126.
16. Drăgucian V.-D. Studies Regarding the Physiological Behaviour of *Juglans regia* and *Robinia pseudoacacia* in Urban Environment / V.-D. Drăgucian, I.-M. Toplicean, A.-R. Miculescu, A.-D. Datcu // Annals of West University of Timișoara, ser. Biology. – 2023. – Vol. 26, No. 2. – P. 115-122.
17. Bierza K. The effect of industrial and urban dust pollution on the ecophysiology and leaf element concentration of *Tilia cordata* Mill. / K. Bierza, W. Bierza // Environmental Science and Pollution Research. – 2024. – Vol. 31. – P. 58413-58429. – DOI: 10.1007/s11356-024-34999-9.
18. Wang L. The Effects of Dual Ozone and Drought Stresses on the Photosynthetic Properties of *Acer rubrum* and *A. pictum* / L. Wang, L. Qu, H. Li [et al.] // Forests. – 2023. – Vol. 14, No. 5. – P. 998. – DOI: 10.3390/f14050998.
19. Kutafina N. V. The physiological basis of adaptation of a plant species in urbanized environment / N. V. Kutafina, A. N. Krasnopivceva // RUDN Journal of Ecology and Life Safety. – 2017. – Vol. 25, No. 1. – P. 21-28. – DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-1-21-28.
20. Abriha-Molnár V. É. Environmental impact assessment based on particulate matter, and chlorophyll content of urban trees / V. É. Abriha-Molnár, S. Szabó, T. Magura [et al.] // Scientific Reports. – 2024. – Vol. 14. – P. 19911. – DOI: 10.1038/s41598-024-70664-4.
21. Popek R. Enhancing Urban Sustainability: How Spatial and Height Variability of Roadside Plants Improves Pollution Capture for Greener Cities / R. Popek, A. Roy, M. Mandal [et al.] // Sustainability. – 2024. – Vol. 16, No. 24. – P. 11131. – DOI: 10.3390/su162411131.
22. Panici P. A. Evaluation of Photosynthetic Rate and Chlorophyll Content in Five Forest Species / P. A. Panici, C. Beinșan, L. Ioviță [et al.] // Scientific Papers. Series B, Horticulture. – 2024. – Vol. LXVIII, No. 2. – P. 126-134. – ISSN 2285-5653.

#### VARIABILITY OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS AS AN INDICATOR OF ANTHROPOGENIC AND NATURAL STRESS ON WOODY PLANTS

**Annotation.** The paper presents an overview of scientific sources devoted to the study of the variability of photosynthetic pigments (chlorophylls *a*, *b* and carotenoids) in woody plants under the influence of anthropogenic and natural factors. It has been shown that the pigment content and their ratio are reliable indicators of stress caused by air and soil pollution, temperature fluctuations and drought. Multidirectional adaptive reactions of plants have been identified: in some cases, there is a decrease in the concentration of chlorophylls in areas of intense anthropogenic impact, in others, an increase in the content of pigments, especially chlorophyll *b* and carotenoids, which is a compensatory adaptive mechanism aimed at the survival of plants in adverse conditions of an urban environment.

**Key words:** photopigments, photosynthetic apparatus, chlorophylls, carotenoids, anthropogenic impact.

**Antropova L.P.**

Scientific adviser: Chufitsky S.V., docent

Donetsk State University

E-mail: [antropowalilya@yandex.ru](mailto:antropowalilya@yandex.ru)

УДК 58.15:911.52 (477.60)

## АНАЛИЗ ЛАНДШАФТНОГО ПРОФИЛЯ В ГРАФИКЕ ПО ДИНАМИКЕ ПОЛЕМОСТРЕССА

*Балыкин И.А., Габараев Б.А.*

*Научный руководитель: Сафонов А.И., канд. биол. наук, зав. кафедрой  
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

*Аннотация.* На примере существующего графика по ландшафтному профилю, соединяющему крайние точки мониторинговой сети Центрального Донбасса в критериях полемостресса, осуществлен анализ с детализацией по отдельным участкам линии. Такой подход с участием программной обработки данных даёт возможность зафиксировать статистически те параметры, которые вполне важны для дальнейшего сравнения с негативными или позитивными тенденциями в экологических параметрах Донбасса и в условиях беллигеративных ландшафтов.

*Ключевые слова:* фитоиндикация, Донбасс, экологический мониторинг, полемостресс.

Во взаимодействии человека с окружающей средой отмечается много негативных примеров, однако это в основном неизбежные (вынужденные) меры по выживанию и обеспечению социальных потребностей человечества, при этом, безусловно, необходимо отметить и положительные тенденции локального уровня в урбанизированных системах, связанные с оптимизационными процессами в местах интенсивного антропопрессинга [1; 2], а также учет новых тенденций в городской среде [3]. За период военного противостояния в Донбассе проведены многие исследования фитоиндикационного содержания [4; 5], в том числе с использованием картографического метода и многочисленных способов визуализации и обработки полученного натурального экспериментального пула данных [6-8].

Цель работы – провести детализацию и описать характер изменения ландшафтного экологического профиля полемостресса на примере уже существующего графического материала, выделив отдельные фрагменты динамики таким образом, чтобы очертить именно фактор беллигеративности и схожести с естественно-историческими и климатическим причинами изменений опорных показателей.

В совокупности существующих методических приемов и данных об экологическом фитомониторинге в 2025 году выделились сведения, собранные в опубликованных базах данных о растениях в Донбассе, имеющих диагностическое значение [9-11]. Опорные результаты для фитоиндикационного анализа были нами использованы по сведениям актуального состояния беллигеративных ландшафтов Центрального Донбасса [12-15]. В части методики важным являлось соблюдение принципов «опыт-контроль», которые характерны для чистых лабораторных экспериментов, в том числе по токсикологии [16]. В качестве примеров по реализации экспериментальной части работы использованы разработки отечественных ученых [17-21], а также актуальные сведения о состоянии растительных объектов в Донбассе [22; 23] и способы компьютерной обработки данных полевых исследований, в первую очередь – геоботанических сведений, имеющих информационно-индикационное значение [24]. Особое внимание в наших исследованиях привлекли разработки молодых ученых Донецкого национального технического университета [25] по обработке уже существующего картографического материала в отношении данных экологического благополучия в Донбассе по фитомониторингу, реализуемому в Донецком государственном университете, когда помимо картографического зонирования используются территориально связывающие систему мониторинга специальные профили, обобщающие данные и отражающие динамику ключевых параметров по приближению и удалению от источника вредности или опасности в промышленно развитом регионе.

Для целевого выполнения задания нужно было проанализировать кривые 2013 года (зеленая), 2018 (красная) и 2023 (синяя) на графике. Нужно вычислить максимумы и минимумы для каждого года, а также найти пересечения и зависимости между кривыми. С помощью Python были извлечены данные, используя компьютерное зрение для обнаружения кривых и преобразования пикселей в координаты (рис.1).



Рис. 1. Начальный этап анализа и детализации графического материала

Была использована детекция линий для обнаружения осей графика: найдена вертикальная линия слева и нижняя ось. Для этого применена детекция краёв на градациях серого, используя OpenCV. Это помогло точно определить расположение осей для последующего извлечения данных. Нужно было извлечь кривые для каждого пикселя по оси X в пределах области графика. Использовано маскирование по цвету (например, для зеленой линии будет подходить RGB (0, 170, 80), для красной – (200, 0, 0), для синей — (70, 120, 190)). После этого определены позиции линий, используя медианные значения Y (рис. 2).

Для устранения артефактов стрелок использованы морфологическое сужение и выбраны кандидаты с малыми вертикальными размерами на каждом столбце. Стрелки, как правило, создают толстые объекты. Вычислено для каждого x положение y, сгруппировано и выбрано с минимальной вертикальной толщиной, исключая длинные группы. Кривые следуют, но в области стрелки возникают вертикальные пики. Чтобы устранить эти помехи использованы медианный фильтр или метод Савицкого-Голая для сглаживания. Также применим алгоритм, который исключит x-диапазоны, соответствующие стрелкам, на основе плотности пикселей.

Примечательно, что пиксель стрелки с координатами (161, 18, 223) имеет низкую насыщенность, несмотря на то что стрелка должна быть циановой. Это может быть связано с тем, что выбрана точка на границе.

На расстоянии около 2.17 км максимум 48.7, затем резкое падение в районе 2.5 км (или на индексе 38). Это может быть связано с ошибкой трекинга, из-за области с стрелками. В целом, максимальное значение в 2023 году – около 0-2 км с 49 Мм, минимум в 2013 году – около 22.6 км с 9.35 Мм (рис. 3).

## Идентификация компонентов с максимальным диапазоном по оси X

```
def largest_span_component(mask): num_labels, labels, stats, centroids =
cv2.connectedComponentsWithStats(mask, connectivity=8) # stats: [label,
x,y,w,h,area]; label 0 is background best=None best_span=-1 for i in
range(1,num_labels): x,y,w,h,area = stats[i] span=w # x-span # require wide span if
span>best_span: best_span=span; best=i comp = (labels==best).astype(np.uint8)*255 if
best is not None else mask return comp, best_span, num_labels-1, stats comp_r,
span_r, ncomp_r, stats_r = largest_span_component(mask_r) comp_g, span_g, ncomp_g,
stats_g = largest_span_component(mask_g) comp_b, span_b, ncomp_b, stats_b =
largest_span_component(mask_b) span_r, ncomp_r, span_g, ncomp_g, span_b, ncomp_b
(541, 9, 628, 33, 483, 23)
```

## Оценка компонентов для анализа кривой

```
def component_stats(mask): num_labels, labels, stats, centroids =
cv2.connectedComponentsWithStats(mask, connectivity=8) comps=[] for i in
range(1,num_labels): x,y,w,h,area=stats[i] comps.append((i,w,h,area,x,y))
comps sorted=sorted(comps,key=lambda t:t[1],reverse=True) return comps sorted,
labels, stats comps_r, labels_r, stats_r = component_stats(mask_r) comps_r[:5]
[(6, 541, 268, 2631, 372, 120), (7, 169, 168, 1081, 116, 152), (1, 146, 44, 813, 17, 1),
(5, 115, 142, 683, 1, 121), (8, 81, 82, 376, 936, 252)]
```

## Вычисление отображения координат и экстремумов

```
w = len(ys_r2) x_km = np.linspace(0,65,w) y0_rel = 543-50 # 493 y50_rel = 51-50 # 1
def yrel_to_mm(yrel): return (y0_rel - yrel) / (y0_rel - y50_rel) * 50 mm_g =
yrel_to_mm(ys_g2) mm_r = yrel_to_mm(ys_r2) mm_b = yrel_to_mm(ys_b2) mm_g.min(),
mm_g.max(), mm_r.min(), mm_r.max(), mm_b.min(), mm_b.max() (9.34959349593496,
37.855691056910565, 9.959349593495935, 37.80487804878049, 10.111788617886178, 48.72967479674797)
```

## Нахождение экстремумов для каждого года

```
def find_extreme(x, y, kind='max'): if kind=='max': idx = int(np.argmax(y)) else: idx
= int(np.argmin(y)) return idx, x[idx], y[idx] ext_overall = [] for name,y in
[('2013',mm_g), ('2018',mm_r), ('2023',mm_b)]: idx_max, km_max, val_max =
find_extreme(x_km,y,'max') idx_min, km_min, val_min = find_extreme(x_km,y,'min')
ext_overall.append((name, km_max, val_max, km_min, val_min)) ext_overall[:3]
[(('2013', 43.503937007874015, 37.855691056910565, 22.64763779527559, 9.34959349593496),
('2018', 42.86417322834645, 37.80487804878049, 22.391732283464567, 9.959349593495935), ('2023',
2.175196850393701, 48.72967479674797, 23.09547244094488, 10.111788617886178)]
```

## Вычисление корреляции между годами по сегментам

```
import numpy as np def corr(a,b): return np.corrcoef(a,b)[0,1] corr_g_r = corr(mm_g,
mm_r) corr_g_b = corr(mm_g, mm_b) corr_r_b = corr(mm_r, mm_b) corr_g_r, corr_g_b,
corr_r_b (0.6758097729548562, 0.7272455213537484, 0.8805385720958009)
```

## Оценка скользкой корреляции и отрицательных диапазонов

```
def rolling_corr(x, a, b, window_km=5): # window in km, approximate indices dx =
x[1]-x[0] win = int(window_km/dx) win = max(win, 5) half=win//2 rc=[] xs=[] for i in
range(half, len(x)-half): aa=a[i-half:i+half+1] bb=b[i-half:i+half+1]
c=np.corrcoef(aa,bb)[0,1] rc.append(c); xs.append(x[i]) return np.array(xs),
np.array(rc) xs_gr, rc_gr = rolling_corr(x_km, mm_g, mm_r, window_km=6) xs_gb, rc_gb
= rolling_corr(x_km, mm_g, mm_b, window_km=6) xs_rb, rc_rb = rolling_corr(x_km, mm_r,
mm_b, window_km=6) # find where corr < 0 def negative_ranges(xs, rc, thresh=0): neg =
rc<thresh ranges=[] if not neg.any(): return ranges start=None for i,flag in
enumerate(neg): if flag and start is None: start=xs[i] if not flag and start is not
None: end=xs[i-1] ranges.append((start,end)) start=None if start is not None:
ranges.append((start,xs[-1])) return ranges neg_gr = negative_ranges(xs_gr, rc_gr, 0)
neg_gb = negative_ranges(xs_gb, rc_gb, 0) neg_rb = negative_ranges(xs_rb, rc_rb, 0)
neg_gr[:5], neg_gb[:5], neg_rb[:5] [(6.269685039370079, 16.441929133858267),
(33.90748031496063, 35.954724409448815), (51.69291338582677, 58.85826771653543)],
[(9.404527559055119, 16.313976377952756), (33.971456692913385, 37.04232283464567),
(51.37303149606299, 58.218503937007874)], [(6.333661417322834, 9.21259842519685)]
```

## Вычисление точек пересечения графиков

```
def intersections(x, y1, y2): d = y1 - y2 sign = np.sign(d) # treat zero crossing
idxs = np.where(np.diff(np.sign(d))!=0)[0] pts=[] for i in idxs: # linear interpolate
between i and i+1 x0,x1 = x[i], x[i+1] y10,y11 = y1[i], y1[i+1] y20,y21 = y2[i],
y2[i+1] d0,d1 = d[i], d[i+1] if d0==d1: continue t = d0/(d0-d1) # fraction from i to
i+1 where d=0 xc = x0 + t*(x1-x0) yc = y10 + t*(y11-y10) # or y20 similarly
pts.append((xc,yc)) return pts ints_gr = intersections(x_km, mm_g, mm_r) ints_gb =
intersections(x_km, mm_g, mm_b) ints_rb = intersections(x_km, mm_r, mm_b)
len(ints_gr), ints_gr[:10], len(ints_rb), ints_rb[:10]
(2, [(43.23902073860486, 37.56512653154701), (50.11033982594281, 21.290650406504067)], 4,
[(7.399934383202099, 24.4579945799458), (18.339895013123357, 17.039295392953935),
(23.345561918396562, 10.213414634146341), (60.83782665753737, 23.681807470248614)])
```

Рис. 2. Промежуточные этапы подготовки и анализа графического материала

Скользкая корреляция показывает несколько отрицательных сегментов: с 6 по 16 км, около 34-37 км и 51-58 км. Эти диапазоны могут быть подвержены шуму из-за малого окна. В целом, кривые имеют схожую форму на большинстве участке (положительная зависимость), с некоторыми локальными отклонениями (рис. 3). Пересечения между графиками зеленой и красной кривых находятся примерно на 43.24 км, 37.56 км и 50.11 км, 21.29 км. Пересечения зеленой и синей кривых находятся примерно на 40.15 км и 50.75 км. Красно-синие пересечения происходят на 7.40 км, 18.34 км, 23.35 км и 60.84 км. Начало показывает, что зеленая кривая ниже красной, но позже, после 43 км, она становится немного выше и пересекает красную около 50 км – это закономерно.

Вычисление диапазонов доминирования данных по годам

```
def dominance_ranges(x, yA, yB, labelA, labelB): # yA > yB segments diff=yA-yB gt =
diff>0 ranges=[] start=None for i,flag in enumerate(gt): if flag and start is None:
start=x[i] if not flag and start is not None: ranges.append((start, x[i-1]))
start=None if start is not None: ranges.append((start, x[-1])) return ranges
ranges_r_gt_g = dominance_ranges(x_km, mm_g, mm_r, '2018', '2013') ranges_g_gt_r =
dominance_ranges(x_km, mm_g, mm_r, '2013', '2018') ranges_b_gt_r =
dominance_ranges(x_km, mm_b, mm_r, '2023', '2018') ranges_r_gt_b =
dominance_ranges(x_km, mm_r, mm_b, '2018', '2023') ranges_b_gt_g =
dominance_ranges(x_km, mm_b, mm_g, '2023', '2013') ranges_g_gt_b =
dominance_ranges(x_km, mm_g, mm_b, '2013', '2023') ranges_r_gt_g[:3],
ranges_g_gt_r[:3], ranges_r_gt_b[:5], ranges_b_gt_r[:5]]
[[ (0.0, 43.18405511811024), (50.15748031496063, 65.0) ], [ (43.24803149606299, 50.093503937007874) ],
[ (7.421259842519685, 18.29724409448819), (23.351377952755904, 60.77755905511811) ], [ (0.0,
7.357283464566929), (18.361220472440944, 23.287401574803148), (60.84153543307087, 65.0) ]]
```

Вычисление пересечений и корреляций между годами

```
def round_pts(pts): return [(round(km,1), round(mm,1)) for km,mm in pts]
round_pts(ints_gr), round_pts(ints_gb), round_pts(ints_rb)
[[ (43.2, 37.6), (50.1, 21.3) ], [ (40.1, 31.3), (50.8, 20.6) ], [ (7.4, 24.5), (18.3, 17.0), (23.3, 10.2),
(60.8, 23.7) ]]
```

Вычисление максимальных, минимальных значений и среднего

```
summary=[] for year, mm in [ ('2013', mm_g), ('2018', mm_r), ('2023', mm_b) ]:
idxmax=np.argmax(mm); idxmin=np.argmin(mm) summary.append({ 'Год': year, 'Макс (Мм)':
float(mm[idxmax]), 'Км макс': float(x_km[idxmax]), 'Мин (Мм)': float(mm[idxmin]), 'Км
мин': float(x_km[idxmin]), 'Среднее (Мм)': float(mm.mean()) }) pd.DataFrame(summary)

```

Год	Макс (Мм)	Км макс	Мин (Мм)	Км мин	Среднее (Мм)	
0	2013	37.855691	43.503937	9.349593	22.647638	18.739183
1	2018	37.804878	42.864173	9.959350	22.391732	25.329710
2	2023	48.729675	2.175197	10.111789	23.095472	24.495068

Вычисление корреляции для сегментов данных

```
segments=[ (0,20), (20,35), (35,50), (50,65) ]
pairs=[ ('2013', '2018', mm_g, mm_r), ('2013', '2023', mm_g, mm_b), ('2018', '2023', mm_r, mm_b) ]
seg_corr=[] for ya,yb,arrA,arrB in pairs: for s,e in segments: m=(x_km>=s)&(x_km<=e)
c=np.corrcoef(arrA[m],arrB[m])[0,1] seg_corr.append((ya,yb,s,e,c)) seg_corr[:5],
len(seg_corr) [ ('2013', '2018', 0, 20, 0.4378142774990924), ('2013', '2018', 20, 35,
0.9484478159263511), ('2013', '2018', 35, 50, 0.7257576300034402), ('2013', '2018', 50, 65,
0.19084631772395058), ('2013', '2023', 0, 20, 0.9126579862242208) ], 12)
```

Вычисление монотонных трендов и пересечений

```
# Determine monotonic trend across years at each x pos = (mm_g < mm_r) & (mm_r <
mm_b) # increasing over years neg = (mm_g > mm_r) & (mm_r > mm_b) # decreasing mixed
= ~(pos | neg) def ranges_from_mask(x, mask): ranges=[] start=None for i,flag in
enumerate(mask): if flag and start is None: start=x[i] if not flag and start is not
None: ranges.append((start, x[i-1])) start=None if start is not None:
ranges.append((start, x[-1])) return ranges pos_ranges =
fmt_ranges(ranges_from_mask(x_km, pos)) neg_ranges =
fmt_ranges(ranges_from_mask(x_km, neg)) pos.sum(), neg.sum(), pos_ranges[:10],
neg_ranges[:10] (260, 108, [(0.0, 7.4), (18.4, 23.3), (60.8, 65.0)], [(43.2, 50.1)])
```

Рис. 3. Финальные процедуры обработки данных по запросу экстремумов и корреляций

В 2018 году значения больше, чем в 2013, на отрезках 0-43.18 и 50.16-65, а в 2013 году – на участке 43.25-50.09, около основного пика и начала спада. Также в 2018 больше, чем в 2023, на нескольких промежутках, и наоборот в других.

В 2023 году значения больше, чем в 2013, на отрезках 0-40.11 и 50.80-65, а в 2013 году – в районе основного пика на участке 40.18-50.73. Зависимость между годами в целом положительная, но есть локальные отрицательные сегменты.

Абсолютный максимум среди всех лет: 2023 год:  $\approx 48,7$  Мм на  $\approx 2,2$  км (фактически это стартовый участок 0–2 км). Максимум по каждому году: 2013 – максимум  $\approx 37,9$  Мм на  $\approx 43,5$  км. 2018 – максимум  $\approx 37,8$  Мм на  $\approx 42,9$  км. 2023 – максимум  $\approx 48,7$  Мм на  $\approx 2,2$  км.

Абсолютный минимум среди всех лет: 2013 год:  $\approx 9,35$  Мм на  $\approx 22,6$  км.

Минимум по каждому году: 2013:  $\approx 9,35$  Мм на  $\approx 22,6$  км, 2018:  $\approx 9,96$  Мм на  $\approx 22,4$  км, 2023:  $\approx 10,11$  Мм на  $\approx 23,1$  км. У всех трёх кривых минимум приходится примерно на 22–23 км, значения там близки к  $\approx 10$  Мм.

Зависимость между годами (положительная или отрицательная) и участки: сходство формы (корреляция «по расстоянию») – по всей длине профиля кривые в целом похожи (падение  $\rightarrow$  минимум  $\sim 22$  км  $\rightarrow$  рост к пику  $\sim 43$  км  $\rightarrow$  спад  $\rightarrow$  вторичный подъём  $\sim 58$ – $60$  км), то есть зависимость в основном положительная: корреляция (Пирсон) 2013–2018:  $r \approx 0,68$ , 2013–2023:  $r \approx 0,73$ , 2018–2023:  $r \approx 0,88$  (наиболее похожие кривые). Локально сходство хуже там, где 2013 ведёт себя иначе на хвосте.

«Тренд во времени» (2013  $\rightarrow$  2018  $\rightarrow$  2023): если трактовать зависимость как рост или падение значений с годами на одном и том же километре, то: положительная (рост с годами, 2013 < 2018 < 2023):  $\approx 0,0$ – $7,4$  км,  $\approx 18,4$ – $23,3$  км,  $\approx 60,8$ – $65,0$  км; отрицательная (снижение с годами, 2013 > 2018 > 2023):  $\approx 43,2$ – $50,1$  км (зона главного пика или спуска, где 2013 заметно выше); на остальных участках порядок лет смешанный (кривые меняются местами). Выше на каких участках (полезно для интерпретации): 2018 выше 2013 на:  $\approx 0,0$ – $43,2$  км и  $\approx 50,2$ – $65,0$  км, 2013 выше 2018 на:  $\approx 43,2$ – $50,1$  км, 2023 выше 2013 на:  $\approx 0,0$ – $40,1$  км и  $\approx 50,8$ – $65,0$  км, 2013 выше 2023 на:  $\approx 40,2$ – $50,7$  км, 2023 выше 2018 на:  $\approx 7,4$ – $18,3$  км и  $\approx 23,4$ – $60,8$  км, 2018 выше 2023 на:  $\approx 0,0$ – $7,4$  км,  $\approx 18,4$ – $23,3$  км,  $\approx 60,8$ – $65,0$  км (табл. 1).

Точки пересечения графиков (км и Мм). Ниже – пересечения пар кривых (километр; значение Мм): 2013 (зелёная) и 2018 (красная).  $\approx 43,2$  км;  $\approx 37,6$  Мм,  $\approx 50,1$  км;  $\approx 21,3$  Мм; 2013 (зелёная) и 2023 (синяя);  $\approx 40,1$  км;  $\approx 31,3$  Мм,  $\approx 50,8$  км;  $\approx 20,6$  Мм, 2018 (красная) и 2023 (синяя),  $\approx 7,4$  км;  $\approx 24,5$  Мм.  $\approx 18,3$  км;  $\approx 17,0$  Мм,  $\approx 23,3$  км;  $\approx 10,2$  Мм,  $\approx 60,8$  км;  $\approx 23,7$  Мм.

Таблица 1. Итоговая таблица значения переходных параметров графического материала

Участок, км (от–до)	Кто выше (порядок)	Мм (ср / макс)	Мм (ср)	Контрольная точка (км) и значения (Мм)
0.0–8.3	2023 > 2018 > 2013	5.53 / 10.93	11.56	$\sim 4.2$ : 2013=22.9; 2018=27.4; 2023=34.0
8.4–19.1	2018 > 2023 > 2013	3.44 / 6.10	13.42	$\sim 13.6$ : 2013=11.7; 2018=29.7; 2023=24.8
19.1–24.4	2023 > 2018 > 2013	0.45 / 1.40	1.04	$\sim 21.8$ : 2013=10.5; 2018=11.0; 2023=11.7
24.5–40.5	2018 > 2023 > 2013	1.17 / 4.13	12.16	$\sim 32.5$ : 2013=15.6; 2018=30.1; 2023=28.8

Участок, км (от–до)	Кто выше (порядок)	Мм (ср / макс)	Мм (ср)	Контрольная точка (км) и значения (Мм)
40.5–42.9	2018 > 2013 > 2023	1.48 / 2.70	3.50	~41.7: 2013=34.6; 2018=36.0; 2023=32.4
43.0–50.3	2013 > 2018 > 2023	0.88 / 1.74	2.99	~46.6: 2013=29.2; 2018=28.0; 2023=26.1
50.3–50.9	2018 > 2013 > 2023	0.27 / 0.61	0.52	~50.6: 2013=20.9; 2018=21.2; 2023=20.6
50.9–61.2	2018 > 2023 > 2013	0.29 / 1.18	5.20	~56.1: 2013=18.2; 2018=24.1; 2023=23.5
61.3–65.0	2023 > 2018 > 2013	0.47 / 1.05	5.48	~63.1: 2013=14.4; 2018=19.4; 2023=19.9

Таким образом, на примере существующего графика по ландшафтному профилю, соединяющему крайние точки мониторинговой сети Центрального Донбасса в критериях полемостресса, осуществлен анализ с детализацией по отдельным участкам линии. Установлено, что в каждом из исследованных годов были свои параметры высоких показателей, однако, в целом наблюдается тенденция увеличения показателя Мм (макромаркеров), сопряжённого с результирующими показателями полемостресса на неблагоприятных территориях, имеющих непосредственную близость к линии военного соприкосновения противоборствующих сил.

Такой подход с участием программной обработки данных даёт возможность зафиксировать статистически те параметры, которые вполне важны для дальнейшего сравнения с негативными или позитивными тенденциями в экологических параметрах Донбасса и в условиях беллигеративных ландшафтов.

Работа рассматривается как методологически проверяющая установленные закономерности дополнительными методами с детализацией таких процессов в непосредственной близости к атипичным проявлениям в живой природе в условиях беллигеративного фактора, который на территории Центрального Донбасса за последние более 12 лет стал определяющим в стрессовых характеристиках функционирования природных систем.

*Исследование выполнено в рамках темы «Диагностика и оптимизация беллигеративных экотопов Донбасса методами биомониторинга и фиторемедиации», FRRE-2026-0030, ПТНИ 1025073000026-6-1.6.19.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Evaluating the Vitality of Introduced Woody Plant Species in the Donetsk–Makeyevka Urban Agglomeration / V. Kornienko, I. Pirko, B. Meskhi [et al.] // Plants. – 2025. – Vol. 14, No. 20. – DOI 10.3390/plants14203160. – EDN KGNKAD.
2. Калинина Ю.С. Оценка состояния объектов озеленения студенческого городка ДонГУ // Донецкие чтения - 2025. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2025. – С. 105-107. – EDN MZFPDO.
3. Калинина А.В. *Grindelia squarrosa* (Pursh) Dunai на урбанизированных территориях Донецкой Народной Республики // Донецкие чтения - 2025. – Донецк: ДонГУ, 2025. – С. 103-104. – EDN LKFOOB.
4. Сафонов А.И. Макромаркеры ландшафтных трансформаций в Донбассе: анализ картографического материала / А.И. Сафонов, Е.А. Гермонова // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2023. – № 4. – С. 68-75. – EDN NSSBBY.
5. Гермонова Е.А. Геоинформационная визуализация данных по атипичному морфогенезу растений экотопов Донбасса / Е.А. Гермонова, А.И. Сафонов // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2023. – № 1-2. – С. 13-22. – EDN QECLTU.
6. Сафонов А.И. Динамика фитоиндикационных показателей по картографическим данным в Донбассе (2013-2023 гг.) / А.И. Сафонов, Е.А. Гермонова // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2023. – № 4. – С. 6-17. – EDN PIVHWY.
7. Сафонов А.И. Оценка геосистем Донбасса: фитоиндикация тератогенности и картографический анализ / А.И. Сафонов, Е.А. Гермонова // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2023. – № 1. – С. 98-104. – EDN PHAMBH.

8. Гермонова Е.А. ГИС-фитоиндикация при анализе факторов войны: полемостресс в Донбассе / Е.А. Гермонова, А.И. Сафонов // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. – Киров: ВятГУ, 2023. – С. 36-41. – EDN FWJYJH.
9. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025624200 Российская Федерация. Структурно-функциональные показатели растений-индикаторов антропогенных трансформаций в Донбассе: заявл. 11.08.2025: опублик. 02.10.2025 / А.И. Сафонов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донецкий государственный университет». EDN DDJCNK
10. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025625320 Российская Федерация. Видовой состав растений-индикаторов техногенных экотопов Донбасса: заявл. 10.11.2025: опублик. 19.11.2025 / А.И. Сафонов, А.В. Калинина; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донецкий государственный университет». – EDN UMFUEZ.
11. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025625306 Российская Федерация. Список видов цветочно-декоративных растений, используемых в ландшафтном дизайне Донецко-Макеевской агломерации: заявл. 10.11.2025: опублик. 19.11.2025 / А.И. Сафонов, Ю.С. Калинина; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донецкий государственный университет». – EDN UUGNSA.
12. Сафонов А.И. Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций. – Донецк: Издательский дом «ЭДИТ», 2024. – 289 с. – ISBN 978-5-605-24266-6. – EDN QVJSQE.
13. Гермонова Е.А. Детализация результатов фитомониторинга полемостресса в Донбассе с использованием ГИС-технологий / Е.А. Гермонова, А.И. Сафонов // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2024. – № 1. – С. 8-14. – EDN KESXAO.
14. Сафонов А.И. Фитомониторинг беллигеративных ландшафтов Центрального Донбасса // Геоэкология на современном этапе развития наук о земле. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2025. С. 354-357. EDN WLEERU.
15. Геоинформационное моделирование повышения качества окружающей среды селитебных ландшафтов на примере урбанизированных территорий Центральной России / С.А. Епринцев, О.В. Клепиков, Н.А. Дьякова [и др.] // Донецкие чтения - 2025. – Донецк: ДонГУ, 2025. – С. 86-87. – EDN FQRHXX.
16. Фрунзе О.В. Влияние культуральной жидкости гриба *t. Hirsuta th-11* на морфометрические показатели проростков *Brassica juncea* l. в условиях загрязнения почвы ионами кадмия // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2025. – № 4. – С. 160-165. – DOI 10.5281/zenodo.17200095. – EDN KYADEW.
17. Иванова Ю.Р. Применение вегетационного индекса для характеристики растительного покрова карбонового полигона // Лесные экосистемы бореальной зоны: биосферная роль, биоразнообразие, экологические риски. – Красноярск: ФИЦ КНЦ СО РАН, 2024. – С. 135-136. – EDN JXIYXN.
18. Антропова Л.П. Сравнительный анализ флуоресценции хлорофилла у древесных растений как метод индикации городской среды // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2025. – № 2. – С. 64-75. – DOI 10.5281/zenodo.15583344. – EDN JEVOWU.
19. Сафонов Р.А. Физико-географические и геометрические закономерности в палиноиндикации городской среды // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. – Киров: Вятский государственный университет, 2024. – С. 76-80. – EDN JNRWUA.
20. Сафонов Р.А. Корректировка локальных маршрутов для экологического фитомониторинга в Донецке // Вестник студенческого научного общества ФГБОУ ВО "Донецкий государственный университет". – 2025. – Т. 1, № 17. – С. 76-80. – EDN EMKVTZ.
21. Влияние закалки на магнитоструктурные и магнитокалорические свойства  $Mn_{0,89}Cr_{0,11}NiGe$  / В.И. Вальков, А.В. Головчан, И.Ф. Грибанов [и др.] // Физика твердого тела. – 2025. – Т. 67, № 4. – С. 653-667. – DOI 10.61011/FTT.2025.04.60547.353. – EDN MBUSLA.
22. Корниенко В.О. Эколого-биологические особенности старовозрастных деревьев города Донецка // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2025. – № 2. – С. 44-54. – DOI 10.5281/zenodo.15088293. – EDN PQWUJS.
23. Корниенко В.О. Деревья *Populus L.* в условиях урбанизированной среды Донецка // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2025. – № 1. – С. 24-34. – DOI 10.5281/zenodo.15005606. – EDN MOGDEG.
24. Абдулманова И.Ф. Программные решения для анализа геоботанических данных в целях фитоиндикации // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды. – Пермь: Пермский ГНИУ, 2025. – С. 50-54. – EDN HZNMW.
25. Войтов С.А. Зонирование территории центрального Донбасса по критериям экологического мониторинга в QGIS // Инновационные перспективы Донбасса. – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2025. – С. 6-10. – EDN XKIPTS.

**ANALYSIS OF LANDSCAPE PROFILE IN GRAPHICS BY FIELD STRESS DYNAMICS**

**Annotation.** Using an existing landscape profile graph connecting the extreme points of the Central Donbass monitoring network under field stress conditions, an analysis was performed detailing individual segments of the line. This approach, using software-assisted data processing, makes it possible to statistically capture parameters that are crucial for subsequent comparison with negative or positive trends in the ecological parameters of the Donbass and in the conditions of belligerative landscapes.

**Keywords:** phytoindication, Donbass, environmental monitoring, polemostress.

**Balykin I.A., Gabaraev B.A.**

Scientific adviser: Safonov A.I. Ph.D., Head of the Department of Botany and Ecology  
Donetsk State University

E-mail: [kf.botan@donnu.ru](mailto:kf.botan@donnu.ru)

## УПРАВЛЕНИЕ ПОЛИГОНАМИ ТВЁРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ - ШАГИ К ЭФФЕКТИВНОМУ РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ

*Беляев В.Н.*

*Научный руководитель: Сердюк А. И., д-р хим. наук, профессор  
ДОННАСА филиала НИУ МГСУ*

*Аннотация.* Для улучшения экологической ситуации в ДНР в связи с состоянием полигонов ТКО предлагаются следующие мероприятия: внедрение сортировки и переработки отходов, модернизация существующих полигонов, образовательные экологические программы для населения, разработка новых нормативно-правовых актов и введение строгих требований к экологической безопасности, создание системы мониторинга полигонов.

*Ключевые слова:* твердые коммунальные отходы (ТКО), управление полигонами, утилизация отходов, экологические нормы, экологическая безопасность.

Управление полигонами твердых коммунальных отходов (ТКО) в Донецкой Народной Республике (ДНР) представляет собой актуальную задачу из-за увеличения объемов отходов и необходимости соблюдения экологических норм. В ДНР функционирует 5 полигонов, общая площадь которых составляет около 100 гектаров, из которых 60% уже переполнены. Каждый год республика производит порядка 750 тонн ТКО, что приводит к проблемам с их утилизацией. Средний срок эксплуатации полигонов составляет всего 5-10 лет.

Целью работы заключается в разработке и предложении комплексных мер для повышения эффективности управления полигонами ТКО в ДНР, с акцентом на решение проблем переполнения полигонов, соблюдение экологических норм и повышение осведомленности населения о важности раздельного сбора и переработки отходов, что может снизить объемы отходов на 15-20%.

Проблемы, связанные с поведением ТКО, требуют комплексного подхода, включающего в себя современные технологии, эффективное законодательство и активное участие населения. В данной работе предлагается рассмотреть шаги, которые могут быть предприняты для повышения эффективности управления полигонами ТКО в ДНР.

На сегодняшний день в ДНР функционирует несколько полигонов для захоронения ТКО. Общая площадь используемых полигонов составляет около 100 гектаров, из которых около 60% уже переполнена. По данным, собранным в 2023 году, 1 полигон в среднем принимает 10 тысяч тонн отходов в месяц. Это приводит к накоплению отходов и проблемам с их утилизацией [1] (Таблица 1).

Основные проблемы, с которыми сталкиваются полигоны ТКО в ДНР, включают:

- Переполнение полигонов: Средний срок эксплуатации полигонов составляет всего 5-10 лет, что ставит под угрозу их дальнейшее использование.
- Недостаток финансирования: Многие полигоны работают на пределе своих возможностей из-за отсутствия необходимых ресурсов.
- Нарушение экологических норм: часто происходят утечки и загрязнение окружающей среды, что требует срочных мер по восстановлению.

Шаги к эффективному решению проблемы включают следующее:

1) Внедрение современных технологий утилизации. Необходимо инвестировать в современные технологии термической переработки отходов. Например, установка конвертеров, которые могут перерабатывать до 30% ТКО в электроэнергию и тепло, может значительно снизить нагрузку на полигоны.

2) Образовательные программы для населения. Запуск экологических образовательных программ может повысить уровень осведомленности граждан о необходимости сортировки и переработки отходов. Ожидается, что это снизит объемы отправляемых на полигоны отходов на 15-20%.

3) Усовершенствование законодательства. Необходима работа над обновлением существующих нормативно-правовых актов, регулирующих деятельность полигонов. Введение более строгих требований к экологической безопасности поможет улучшить ситуацию.

4) Создание системы мониторинга. Внедрение системы мониторинга поможет контролировать состояние полигонов и принимать меры по устранению нарушений. Это может включать создание базы данных с детальной информацией о состоянии каждого полигона [2].

Таблица 1. Прогноз изменения объема отходов в ДНР

Год	Объем отходов, т	Количество полигонов	Среднее наполнение (%)	Примечания
2022	700	5	75%	
2023	750	5	80%	Растущий объем
2024	800	5	85%	Увеличение производства
2025	850	6	90%	Ожидается открытие нового полигона

Предложения по улучшению управления полигонами ТКО.

Для повышения эффективности управления полигонами ТКО в ДНР необходимо внедрение ряда мер, которые позволят снизить негативное воздействие на окружающую среду и продлить срок службы существующих объектов.

Одним из ключевых направлений является внедрение сортировки и переработки отходов. Это позволит существенно сократить объемы, отправляемые на захоронение. Создание пунктов для отдельного сбора отходов позволит населению более ответственно подходить к утилизации. Также можно наладить сотрудничество с перерабатывающими предприятиями, которые смогут использовать вторичные сырьё.

Вторым важным шагом является модернизация существующих полигонов. Необходимо оснастить их современным оборудованием для контроля за состоянием окружающей среды, например системами фильтрации и мониторинга загрязнений. Установка биогазовых установок, может быть, одним из способов получения энергии из органических отходов, что также снизит давление на полигоны.

Образовательные программы и вовлечение населения. Не менее важным является увеличение уровня осведомленности населения. Введение образовательных программ о важности отдельного сбора и переработки отходов может значительно изменить отношение граждан к проблеме. Местные власти должны активнее привлекать население к участию в экологических инициативах, проводя конкурсы, акции и тематические мероприятия.

Также стоит развивать добровольные инициативы по очистке территорий и озеленению, которые помогут формировать сознательное отношение к окружающей среде.

Законодательные инициативы.

Поддержка этих программ со стороны государства представляет собой важный аспект в эффективном управлении ТКО. Необходимо разработать и внедрить законодательные акты, регулирующие деятельность по обращению с отходами, с акцентом на соблюдение экологических норм. Возможно введение налоговых льгот для предприятий, осуществляющих переработку отходов, что будет стимулировать бизнес к созданию более "зеленых" процессов [3].

#### Финансирование и государственная поддержка.

Для успешной реализации предложенных мер крайне важно обеспечить стабильное финансирование. Возможно, стоит рассмотреть создание специальных фондов, направленных на развитие инфраструктуры для управления твердыми бытовыми отходами, а также поддержку инициатив частного сектора. Партнерство с частным бизнесом, в том числе с компаниями по утилизации отходов, может помочь в создании необходимой инфраструктуры.

Кроме того, правительству необходимо продумать стимулирующие меры для населения и бизнеса, которые могли бы побудить людей и компании проявлять активность в области экологии. Это могут быть налоговые льготы для тех, кто активно участвует в раздельном сборе и переработке отходов, а также субсидии для предприятий, занимающихся экологическими инновациями.

#### Модернизация законодательства.

Наконец, для создания эффективной системы управления отходами в ДНР потребуется ревизия текущего законодательства в области обращения с отходами. Необходимо разработать новые нормы и правила, которые обяжут производителей учитывать жизненный цикл своих товаров и обеспечивать возможности для их утилизации по окончании срока службы. Это может включать обязательства по проектированию изделий с учетом возможности их повторного использования или переработки.

Также стоит задуматься о внедрении системы экологического налога, который будет взиматься с производителей за создание трудно устранимых отходов, способствуя тем самым переходу к более устойчивым и безотходным технологиям.

Управление полигоном ТКО в ДНР — это комплексная задача, требующая активного участия как государственных структур, так и всего общества. Необходимо переходить от модели, основанной на захоронении, к более экологическим подходам, включая переработку и повторное использование отходов. С едиными усилиями и четким планом действий возможно не только улучшение экологической ситуации в регионе, но и содействие устойчивому развитию, которое обеспечит благополучие будущих поколений [4].

Ключевые проблемы и решения в управлении полигонами ТКО в ДНР представлены в таблице 2. Данная структура позволяет обобщить все основные аспекты предложенного теста и предложенные меры для улучшения управления полигонов ТКО в ДНР.

Для улучшения экологической ситуации предлагаются следующие шаги:

- Внедрение современных технологий утилизации. За счет инвестиций в термическую переработку отходов можно сократить объемы отправляемых на полигоны отходов.

- Образовательные программы для населения. Разработка и внедрение программ, направленных на повышение осведомленности граждан о важности сортировки и переработки отходов.

- Усовершенствование законодательства. Разработка новых нормативно-правовых актов и введение строгих требований к экологической безопасности.

- Создание системы мониторинга, чтобы контролировать состояние полигонов и принимать меры по устранению нарушений [5].

Таблица 2. Ключевые проблемы и решения в управлении полигонами ТКО в ДНР

Категория	Проблемы	Предложенные решения
<b>Анализ текущей ситуации</b>	Переополнение полигонов, высокая нагрузка	Введение новых полигонов, улучшение существующих
<b>Основные проблемы</b>	Переополнение, недостаток финансирования, нарушение экологических норм	Модернизация полигонов, улучшение технологий переработки, финансирование
<b>Шаги к эффективному решению проблемы</b>	Утилизация, образование населения, усовершенствование законодательства, система мониторинга	Инвестиции в технологии, образовательные программы, изменение законодательства, создание базы данных
<b>Прогноз изменения объема отходов</b>	Постоянное увеличение объемов отходов к 2026 году	Открытие нового полигона
<b>Управление полигонами</b>	Повышение нагрузки, недостаточная переработка	Сортировка и переработка, модернизация полигонов, сотрудничество с перерабатывающими предприятиями
<b>Образовательные программы</b>	Низкая осведомленность населения	Введение программ о раздельном сборе, участие в экологических инициативах
<b>Законодательные инициативы</b>	Отсутствие строгих норм	Новые законодательные акты, налоговые льготы для перерабатывающих предприятий
<b>Финансирование и государственная поддержка</b>	Недостаточное финансирование	Создание специальных фондов, государственное финансирование, партнерство с частным сектором
<b>Модернизация законодательства</b>	Актуализация норм	Ревизия и создание новых правил, обязательства для производителей, экологический налог

Прогноз изменения объема отходов.

Прогноз на ближайшие годы показывает тенденцию к увеличению производства отходов, и в 2026 году ожидается открытие нового полигона, что должно немного снять нагрузку с существующих объектов.

Управление полигонами.

Важным аспектом является внедрение сортировки и переработки отходов, что позволит существенно сократить объемы, отправляемые на захоронение.

Образовательные программы и вовлечение населения

Повышение уровня осведомленности населения, участие в экологических инициативах и проведение специальных мероприятий помогут сформировать активное отношение к проблематике ТКО.

Законодательные инициативы.

Требуется государственная поддержка в виде новых законодательных актов и предоставления налоговых льгот для предприятий, осуществляющих переработку отходов.

Финансирование и государственная поддержка.

Для успешной реализации предложенных мер необходимо стабильное финансирование и сотрудничество с частным сектором.

Модернизация законодательства.

Необходимо пересмотреть текущее законодательство, чтобы стимулировать производителей учитывать жизненный цикл своих товаров и обеспечивать условия для их переработки.

Технологические решения

Модернизация инфраструктуры полигонов возможна за счет внедрения инновационных технологий по переработке отходов. Например, использование конвертеров для термической переработки отходов может не только снизить объемы захоронений, но и обеспечить добычу полезной энергии и тепла. Это является важным вкладом в устойчивое развитие региона, так как сокращает потребность в традиционных энергоресурсах [6].

Партнерство с частным сектором.

Особое внимание стоит уделить созданию благоприятных условий для частных инвестиций в сферу переработки. Это могут быть проекты государственно-частного партнерства, которые объединяют ресурсы и опыт обеих сторон. Отдельные компании могут взять на себя функции по разработке, финансированию и управлению проектами утилизации, что создаст дополнительные рабочие места и повысит эффективность процесса.

Социальные аспекты.

Социальная ответственность и активное участие граждан в решении проблемы являются важными составляющими успешной стратегии. Экологическое воспитание необходимо начинать с раннего возраста, включать в школьную программу уроки и практические занятия, направленные на формирование экологического сознания [7].

Экономические меры стимулирования.

Предоставление налоговых льгот и субсидий для предприятий и инициатив, связанных с утилизацией и переработкой отходов, окажет экономическую поддержку и стимулирует развитие экологически ответственных практик. Это может включать в себя не только переработку, но и производство продукции с минимальной экологической нагрузкой.

Мониторинг и отчетность.

Важным шагом является внедрение системы прозрачного мониторинга и отчетности, что позволит своевременно выявлять проблемы и отслеживать результаты реализуемых мер. Электронные базы данных и автоматизированные системы слежения могут значительно повысить контроль за состоянием полигонов.

Таким образом, обсужденные меры и стратегии по управлению ТКО в ДНР требуют комплексного подхода и координации усилий со стороны государственных органов, бизнеса и населения. Только совместными усилиями можно добиться значительных изменений, которые будут способствовать не только улучшению экологической ситуации, но и повышению качества жизни всего общества.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Островский Н. В. Обращение с отходами. М.: Дашков и К, 2022. 538 с.
2. Власов О. А. Технологии переработки отходов: учебник. М., Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. 304 с.
3. Переславцев А. В., Вошинин С. А., Артемов А. В. Плазменная переработка отходов: монография. М., Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. 436 с.
4. Утилизация отходов производства: учебное пособие / Ю. Ф. Абакумов, Е. Д. Демьянов, С. С. Зуйков [и др.]. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 110 с.
5. Сивков Ю.В., Шкилева А.А. Управление твердыми коммунальными отходами: монография. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2022. 160 с.
6. Оценка и обеспечение геоэкологической устойчивости массивов ТКО для строительного освоения: монография. /Савельев А. А., Тупицына О.В., Чертес К.Л., Мартыненко Е.Г., Пыстин В.Н. Самара: Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2019. 111 с.
7. Китиков В. О., Барановский И. В., Вага И. И. Ресурсный и экологический анализ технологий обращения с твердыми коммунальными отходами. — Минск: Белорусская наука, 2023. — 197 с.

**MANAGEMENT OF MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILLS - STEPS TO EFFECTIVELY SOLVE THE PROBLEM**

**Annotation.** To improve the environmental situation in the DPR, the following measures are proposed: implementing waste sorting and recycling, modernizing existing landfills, implementing environmental education programs for the population, developing new regulations and introducing strict environmental safety requirements, and creating a landfill monitoring system.

**Keywords:** municipal solid waste (MSW), landfill management, waste disposal, environmental regulations, and environmental safety.

**Belyaev V.N.**

Scientific adviser: Serdyuk A.I., Doctor of Chemistry, Professor  
at the Department of Technosphere Safety at DONNASA –  
a branch of the Moscow State University of Civil Engineering  
[belyaev.v.n-izos-8a@donnasa.ru](mailto:belyaev.v.n-izos-8a@donnasa.ru)

УДК 581:15 (477.60)

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРАТОГЕНЕЗА ЛИСТОВОЙ РОЗЕТКИ *TARAXACUM OFFICINALE* F.H.WIGG. В АНТРОПОГЕННЫХ СИСТЕМАХ ДОНБАССА**

**Братухина Е.А.**

**Научный руководитель: Сафонов А.И., канд. биол. наук, зав. кафедрой ФГБОУ ВО «ДонГУ»**

*Аннотация.* Проведено структурное моделирование системы формирования розетки листьев одуванчика в трех контрастных экологических условиях: в норме и патологии (техно- и полемостресс). Установлено, что морфология тест-вида может существенным образом изменяться в зависимости от условий, в том числе факторов беллигеративных ландшафтов в результате военных событий, приобретая новые признаки. Структурные модели могут быть базой данных для идентификации подобных нарушений при фотографировании и загрузке в базу распознавания образов или подобных манипуляций в экологических исследованиях, проводимых в неблагоприятных токсических условиях Донбасса и других регионов.

*Ключевые слова:* тератогенез, фитоиндикация, Донбасс, экологический мониторинг, беллигеративный фактор, полемостресс.

В Донбассе вопросы изучения биоразнообразия являются приоритетными задачами в рамках экологических исследований [1; 2]. Для программы экологического мониторинга [3] одним из рабочих механизмов идентификации неблагоприятных условий в геосистемах является регистрация и учёт частоты проявления тератогенеза у растений [4-7], что в значительной степени отражает сопряженные процессы комплексного нарушения биогеохимических и геофизических процессов в природных и трансформированных человеком ландшафтах [8-12]. Поэтому обнаружение локальных случаев тератогенеза также представляет собой научный интерес с прикладной точки зрения в реализации комплексных мониторинговых экспедиций, в том числе с участием студентов биологического факультета Донецкого государственного университета.

Цель работы – провести структурное моделирование системы формирования розетки листьев одуванчика в трех контрастных экологических условиях: в норме и патологии (техно- и полемостресс) для примеров антропогенных экосистем Донбасса в период военного конфликта.

В методологической базе опорными являлись сведения о разработке экологических шкал структурной пластичности индикаторных видов растений [13], примеры нахождения тератных форм, в том числе одуванчиков в неблагоприятных условиях военных событий и городских системах [14], что требовало обязательного проведения статистического учета и математического подхода в получении первичных и обработке вторичных данных [15; 16]. Для поиска мест сбора материала использовали данные, опубликованные донецкими учеными в предыдущие, но актуальные годы при сборе материала в острой фазе военного конфликта и токсических воздействий на среду [17; 18]. Учитывали опыт проведения полевых исследований в Донбассе [19-21] и отрывочных сведений по анализу атипичного полиморфизма растений в стрессовых условиях, в том числе военного противостояния в Донбассе [22]. Пользовались сведениями о региональной флоре, о наработках ученых кафедры ботаники и экологии ДонГУ в области современного краеведения для демонстрации находок на федеральном уровне [23], а также сведениями в публикациях, выполняемых под руководством ректора ДонГУ проф. С.В. Беспаловой по изучению и диагностике экологических параметров в Донбассе [24; 25]. Установлено, что растения в условиях военного стресса обладают дополнительными адаптационными признаками, которые позволяют им переносить неблагоприятные периоды особой токсичности, – именно переход к устойчивой форме реакции отражается в структурном динамизме, проявляющемся на морфологическом уровне организации растений.

Нами были проанализированы некоторые признаки в структурной организации совокупности листового аппарата в прикорневой розетке одуванчика лекарственного, одного из самых распространённых видов в урбанизированных и техногенно трансформированных экосистемах Донбасса. В целом в моделировании проанализировали 540 случаев струной организации прикорневой розетки именно в тех местах, которые относятся к разным уровням воздействия на экосистемы по глубине их трансформации.

В данной работе рассматривается структура листовой розетки одуванчика (*Taraxacum officinale*) в трех различных условиях: 1) нормальная окружающая среда (контрольное растение), 2) условия загрязнения вблизи металлургического комбината, и 3) территория после военных действий (нарушенный полигон). Проводится геометрический и визуальный анализ каждой розетки: оценивается симметрия отдельных листьев и всего растения, а также фрактальные свойства формы листьев. Анализ включает сравнение плотности размещения листьев, симметрии розетки, формы, размера и жилкования листьев, морфологии верхушки листовой пластинки, площади охвата (проективного покрытия) и характера листовой мозаики. Особое внимание уделяется биофизическим особенностям – таким как цветовые аномалии листьев, указывающие на стрессовые состояния растения. Наконец, различия в морфологии между загрязненным и военным участками по сравнению с нормальными условиями используются для определения стратегии выживания каждого экземпляра по системе CSR (конкурентная – *Competitor*, стрессоустойчивая – *Stress-tolerant*, рудеральная – *Ruderal*).

Как сравнивали изображения через структурные закономерности (методы и способы): практический набор методов, от «простых» к «строгим». Морфометрия розетки (уровень целого растения). Проецируемая площадь  $A$  (сколько пикселей занимает растение на снимке). Площадь выпуклой оболочки  $A_{hull}$  и заполняемость  $A / A_{hull}$  (насколько растение похоже на «диск» без пустот). Эксцентриситет / анизотропия (насколько форма вытянута). Сложность контура: периметр/площадь, «шероховатость» (повреждения резко увеличивают периметр при меньшей площади). Полярная огибающая  $r(\theta)$ : о «угловое покрытие» (в скольких направлениях есть длинные листья — прямой индикатор «захвата территории»), о вариабельность  $r(\theta)$  (симметрия/нарушение симметрии).

Морфометрия листьев (уровень органов). Длина/ширина листа, отношение  $L/W$ , степень рассечённости (число лопастей, глубина вырезов), эллиптические Фурье-дескрипторы контура (EFA) + PCA, геометрическая морфометрия по «ландмаркам» (основание, максимумы лопастей, кончик и т.п.) и прокрустово выравнивание.

Текстурно-цветовые индексы (прокси физиологии): доля зелёной ткани (условная «greenness»), доля жёлто-бурой (хлороз/некротизация), доля красно-фиолетовой (антоцианы), пятнистость/гетерогенность (вариация яркости/тона).

«Структура захвата территории» (пространственная экология на снимке): Вороной-модель по углам  $\theta_i$ : листья делят «угловое пространство»; чем равномернее  $\theta_i$ , тем более равномерный захват площади. Радиальный профиль плотности: сколько ткани на каждом радиусе (центр плотный vs «лопасти по краю»). Лакунарность (lacunarity): мера «дырчатости»/пустотности (полезно для разреженных стресс-форм).

Анализ формы. Площадь меньше: примерно 0,47 от Рис.1 (по проекции). Розетка более разреженная: заполняемость выпуклой оболочки падает (много пустот). Контур значительно более «шершавый»: периметр/площадь существенно выше (типично для повреждений, деформаций, дырчатости). Цвет/ткань: снижение доли «чистой зелени», общий тон более бледный/грязно-зелёный (возможны: хлороз, пылевой налёт, точечные некрозы). Захват территории: меньше направлений с длинными листьями (ниже угловое

покрытие внешнего радиуса): растение хуже «закрывает круг» вокруг себя, возникают «окна» для конкурентов.

Ориентировочно было выбрано три крайние позиции структурирования в 1) норме (рис. 1), 2) патологии, связанной с техногенным загрязнением (рис. 2), 3) патологии в условиях военного стресса, называемого полемостресс (рис. 3).



Ситуация 1 (исходный рисунок 1). Типичный лист одуванчика. D розетки = 25 см

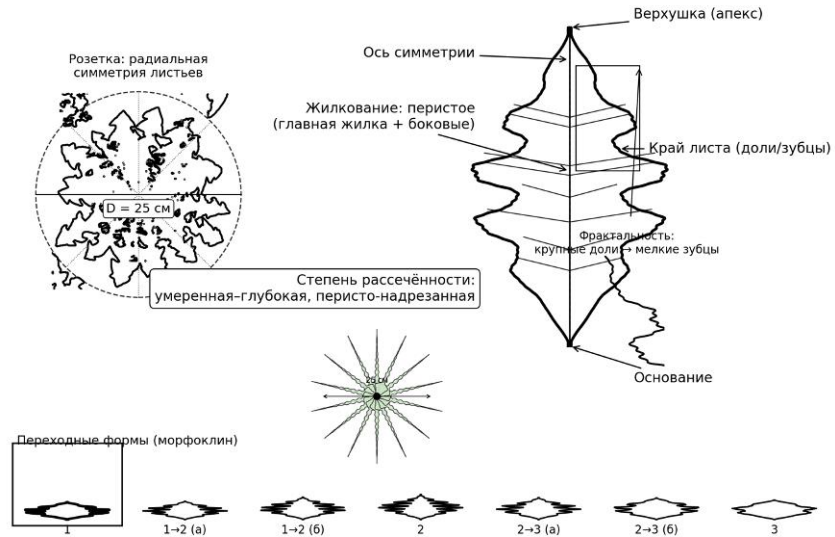


Рис. 1. Спектр признаков листового аппарата одуванчика по типу «норма»



Ситуация 2 (исходный рисунок 2). Типичный лист одуванчика. D розетки = 25 см

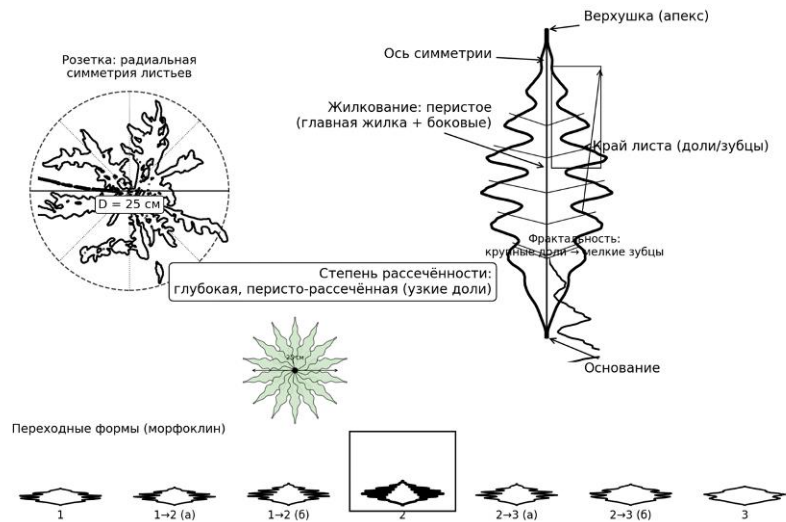


Рис. 2. Спектр признаков листового аппарата одуванчика по типу «техно-стресс»

В загрязнённых условиях плотность листьев значительно ниже, чем в норме. Розетка содержит заметно меньшее число развитых листьев, и между ними просматриваются большие промежутки. Некоторые листья, вероятно, преждевременно отмерли или перестали расти, оставив «пробелы» в розетке. Оставшиеся листья

располагаются не так равномерно: наблюдаются участки, где листьев нет совсем, и участки с группой листьев, что может говорить о направленном росте оставшихся листьев в стороны с меньшим стрессом. Листовая мозаика нарушена – заполнение пространства неполное, поэтому проективное покрытие резко снизилось (почва просвечивает между листьев). Низкая плотность листьев свидетельствует о том, что рост растения подавлен; одуванчик в таких условиях не способен сформировать сплошной листовой покров, как в норме. Листья одуванчика вблизи комбината заметно мельче и уже, чем в норме. Их длина, по оценке, не превышает 10–15 см, а ширина сокращена. Лопастность сохранена, но выражена слабее: некоторые листья имеют менее глубокие или неравномерные выемки. Края листьев местами неровные и как бы «объединенные» – вероятно, результат токсических ожогов, отмирания краевых участков или повреждения загрязняющими частицами. Белёлые пятна, видимые на пластинках, могут быть отложениями пыли (например, оксидов металлов) или участками хлороза/некроза, где хлорофилл разрушен. Боковые жилки на таких листьях часто более заметны, так как окружающая ткань обесцвечена: сеть жилкования проступает контрастно. Жилкование остаётся перистым, но из-за угнетённого роста новые мелкие жилки могут развиваться неполноценно, листовая пластинка тоньше. Отмечается, что общий рисунок лопастей нарушен: вместо четкой фрактальной структуры («лопасть с подлопастками») наблюдается смесь деформированных сегментов. Иными словами, естественная самоподобная геометрия листа разрушается – фрактальная сложность контура ниже, чем в норме, что отражает отклонения в процессе морфогенеза под влиянием стресса. Листья могут быть более жесткими на ощупь (в стрессовых условиях растения часто формируют плотные, малоповреждаемые ткани с высоким удельным весом листа). В целом форма листьев варьирует, проявляя явные признаки дисфункции роста.

Симметрия растения нарушена. Розетка выглядит искаженной: часть листьев может быть сконцентрирована с подветренной или менее загрязненной стороны. Радиальная симметрия выражена слабо – листья не образуют правильного круга. Например, на Рис. 2 можно заметить, что справа листьев больше и они крупнее, тогда как слева может быть пустое пространство (предположительно из-за отмирания листьев). Индивидуальные листья тоже часто асимметричны: многие из них имеют неравномерно развитые лопасти (возможно, из-за локальных повреждений токсинами или частичного отмирания тканей). Общая морфология розетки отображает стресс: вместо сбалансированной, круговой структуры – разреженное, хаотичное размещение листьев. Подобная потеря симметрии часто бывает у растений под влиянием хронического загрязнения или иных неблагоприятных факторов, нарушающих нормальный рост тканей.

Базовая геометрическая модель розетки одуванчика (как «генератор формы»). Розетку удобно рассматривать как плоскую радиальную систему листьев, возникающую из точки роста (центра розетки)  $O$ .

Модель «листья как лучи + контуры». Каждый лист  $i$  задаётся: углом закладки (азимут)  $\theta_i$  вокруг центра  $O$ , длиной  $L_i$  (радиальный вынос кончика), функцией ширины  $w_i(s)$  вдоль средней жилки ( $s$  – координата от основания к кончику,  $0 \dots 1$ ), «амплитудой рассечённости» края  $a_i$  (на практике – число/глубина лопастей, можно описывать гармониками/сплайнами). Тогда геометрия листа – это область вокруг луча  $\theta_i$  с «полушириной»  $w_i(s)$  и волнистым/лопастным краем, а розетка – объединение всех листовых областей: 
$$\Omega = \bigcup_{i=1}^N \Omega_i(\theta_i, L_i, w_i, a_i)$$
.

Модель «внешняя оболочка розетки»  $r(\theta)$ . Для оценки захвата пространства и симметрии удобно строить радиальную огибающую:

$$[\max_{\mathbf{x} \in \Omega(\theta)} \|\mathbf{x} - O\|].$$

То есть для каждого направления  $\theta$  берём максимальный радиус, на который «дотягивается» растение. Это даёт «полярный отпечаток» розетки.



Ситуация 3 (исходный рисунок 3). Типичный лист одуванчика. D розетки = 20 см

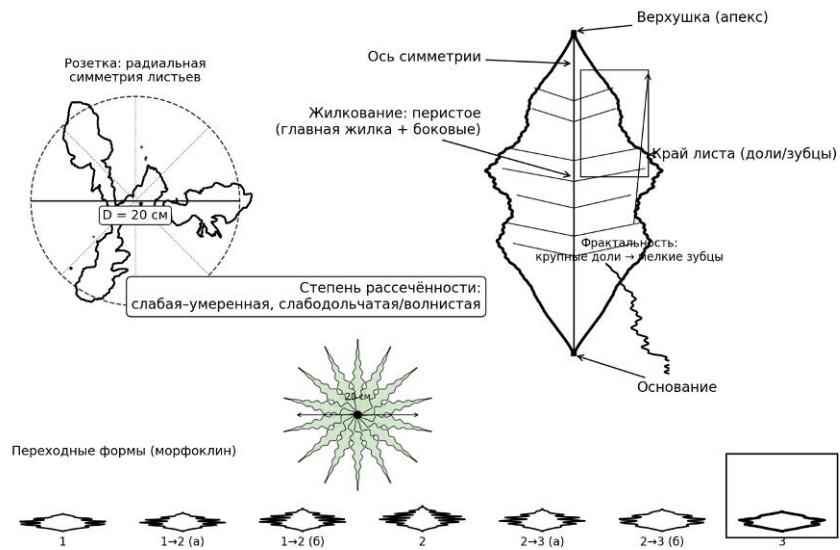


Рис. 3. Спектр признаков листового аппарата одуванчика по типу «полемостресс»

Также модельные варианты эскизного строения были обобщены в проективном покрытии единой особи и каждого листового аппарата в отдельности для трех случаев (рис. 4).

Такое моделирование даёт наглядное представление о полиморфизме, уровню и размаху пластичности вида и каждой особи в отдельности. Полученные результаты являются примером реализованной аутфитоиндикации с помощью одного вида растения, что также, безусловно, сопряжено на следующих уровнях при комплектации сообществ, если они проходят разные стадии приспособления к меняющимся условиям среды.

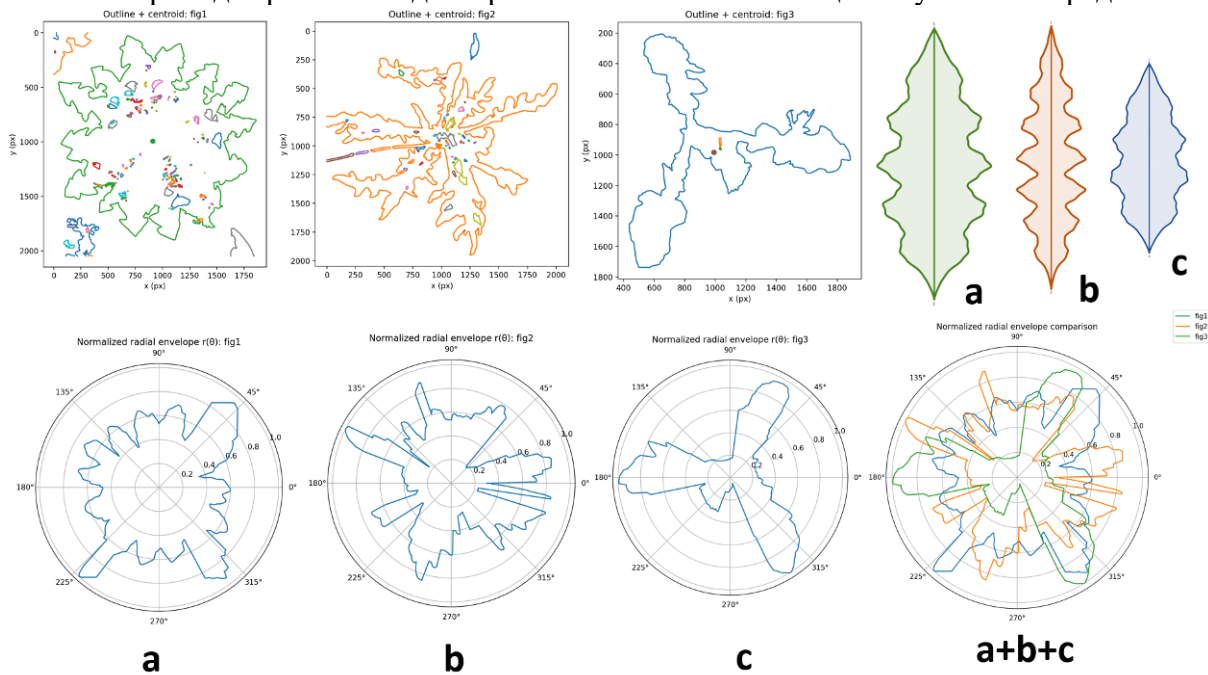


Рис. 4. Морфологическое моделирование розетки листьев и листовой пластинки в трех ситуациях: а) норма, б) техно-стресс, в) полемостресс

Параметры, которые обычно меняет стресс. Экологические воздействия (хронические/острые) типично проявляются как изменения параметров модели:  $N$  (число активных листьев)  $\downarrow$   $L_i$ : средняя длина  $\downarrow$  или становится более неоднородной дисперсия  $\theta_i \uparrow$  (симметрия нарушается)  $a_i$  (рассечённость/зубчатость) может  $\downarrow$  (упрощение листа) или визуально  $\uparrow$  из-за повреждений края доля некротизированной/хлорозной ткани  $\uparrow$  пигментация: «пыльно-серая»/хлороз (жёлто-зелёный) или антоциановая (красно-фиолетовая).

Геометрические модели для трёх ситуаций (что именно «подставлять» в параметры). Рис.1 (норма): «изотропная плотная розетка-диск». Модель: почти круговая огибающая  $r(\theta)$ , большой  $N$ , умеренная вариабельность  $L_i$ , выраженная рассечённость  $a_i$  как видовой признак, высокая «заполняемость» площади. Интерпретация: стратегия «накрыть» площадь вокруг центра, затенить почву/конкурентов, эффективно собирать свет при низком профиле (классическая розетка). Рис. 2 (металлургическое загрязнение): «разреженная розетка с высоким контурным шумом». Модель:  $N$  меньше,  $r(\theta)$  меньше и более «рваная», сильнее неоднородность  $L_i$  и  $\theta_i$ , заметная потеря эффективной площади листовой пластинки (повреждения/точечные некрозы/налёт), заполняемость площади падает. Интерпретация: при хроническом загрязнении часто возникает комбинация: снижение роста и листовой площади (ограничение ресурса/токсичность), рост «шероховатости» контура (повреждения, деформации), снижение «плотности диска» (больше пустот между листьями). Рис. 3 (после военных действий/полигон): «крайне редуцированная, направленная (анизотропная) форма + антоциановая реакция». Важно: на фото 3 морфология нетипична для классического *Taraxacum* (похоже на сильно переформированную/восстанавливающуюся особь или даже другой вид розеточного сорняка). Это можно рассматривать как сильный стресс и регенерация после повреждения. Модель: вместо «диска» – небольшое число листьев, сильная анизотропия (форма вытянута), огибающая  $r(\theta)$  «тянется» в 1–2 направлениях, выраженная красно-фиолетовая пигментация (антоцианы). Интерпретация: острый стресс/нарушение субстрата (трамбовка, бедность, токсиканты, механическое повреждение) часто ведёт к: минимизации листовой площади, переходу к «поисковому» (направленному) размещению листьев/побега, усилению пигментации (антоцианы как маркер стресс-метаболизма).

Словесно выразили. Архитектура: розетка-диск / разреженная розетка / вытянутая направленная форма. Симметрия: близко к радиальной / нарушена (есть «провалы» по углам). Листья:  $N$ ,  $L/W$ , рассечённость, деформации, повреждения. Ткань: зелёная (норма) / хлороз / некроз / антоцианы / налёт. Захват территории: диаметр/радиус, угловое покрытие длинными листьями, степень заполнения «диска».

Графически выразили для построения: Контур растения и центр розетки (O). Полярная огибающая  $r(\theta)$  (индивидуально и наложением). Выпуклая оболочка (convex hull) и коэффициент заполнения. Карта классов ткани по цвету (зелёная/жёлтая/буро-серая/красно-фиолетовая). Были построены для имеющихся фотоизображений контуры и полярные «отпечатки» ( $r(\theta)$ ).

Строго говоря, определяемая «живучесть» включает как минимум: состояние корня/запасов, скорость регенерации, способность к цветению и семенному возобновлению – этого по одному снимку не измерить. Тем не менее, как прокси текущей жизнеспособности (vigor): Рис. 1 выглядит наиболее жизнеспособным: максимальная площадь, высокая «дисковость»/покрытие, больше фотосинтетической ткани. Между стресс-вариантами: Рис.2 сохраняет именно розеточную архитектуру и несколько длинных листьев: это признак того, что точка роста работает и растение продолжает «играть в розетку» даже под хроническим прессом. Рис.3 выглядит как наиболее угнетённый по текущей ассимиляционной поверхности и пигментации (высокий стресс-сигнал). Однако сам факт наличия живой ткани после экстремального

нарушения может означать высокую устойчивость к повреждению (resilience), но это уже другой смысл «живучести» – переживание vs быстрый рост.

Полноценная CSR-классификация (в современном исполнении) делается по листовым признакам (как минимум LA, SLA, LDMC) и иногда по дополнительным trait-наборам. Для этого есть формализованный расчёт. Тем не менее, как гипотеза по визуальной архитектуре: Рис. 1: ближе к C/CR (конкурентность через большую розетку-«крышу», захват света и пространства). Рис. 2: смещение в сторону S/CS (хронический стресс → меньше площадь, больше повреждений, вероятно более «консервативная» работа). Рис. 3: похоже на SR/R-компонент (переживание сильного нарушения и попытка восстановления), но без trait-данных это остаётся предположением.

Выделенные структурные модели являются автономными по способу реализации и захвата территории. Установлено, что морфология тест-вида может существенным образом изменяться в зависимости от условий, в том числе факторов беллигеративных ландшафтов в результате военных событий, приобретая новые признаки. Структурные модели могут быть базой данных для идентификации подобных нарушений при фотографировании и загрузке в базу распознавания образов или подобных манипуляций в экологических исследованиях, проводимых в неблагоприятных токсических условиях Донбасса и других регионов.

*Исследование выполнено в рамках темы «Диагностика и оптимизация беллигеративных экотопов Донбасса методами биомониторинга и фиторемедиации». Регистрационный номер ПТНИ «1025073000026-6-1.6.19» в рамках государственного заказа ДонНУ (FRRE-2026-0030).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Критерии оценки экологического состояния среды по порогам чувствительности биоиндикаторов / С.В. Беспалова, О.С. Горецкий, А.З. Глухов [и др.] // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2011. – № 1. – С. 25-43. – EDN VKPJBC.
2. Определение порогов чувствительности биоиндикаторов на действие экологически неблагоприятных факторов среды / С. В. Беспалова, О. С. Горецкий, А. З. Глухов [и др.] // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2010. – № 1(10). – С. 9-25. – EDN DGQGOX.
3. Safonov A. Ecological phytomonitoring in Donbass using geoinformational analysis // BIO Web of Conferences. – 2021. – Vol. 31. – P. 00020. – DOI 10.1051/bioconf/20213100020. – EDN XYLEQZ.
4. Сафонов А.И. Тератогенез растений-индикаторов промышленного Донбасса // Разнообразие растительного мира. – 2019. – № 1(1). – С. 4-16. – DOI 10.22281/2686-9713-2019-1-4-16. – EDN IJNXJE.
5. Морфогенетические аномалии бриобионтов в условиях геохимически контрастной среды Донбасса / А.И. Сафонов, А.С. Алемасова, И.И. Зиньковская [и др.] // Геохимия. – 2023. – Т. 68, № 10. – С. 1032-1044. – DOI 10.31857/S0016752523100114. – EDN NURQVW.
6. Сафонов А.И. Аномалии эмбриональных структур растений-индикаторов Донбасса // Разнообразие растительного мира. – 2022. – № 3(14). – С. 5-18. – DOI 10.22281/2686-9713-2022-3-5-18. – EDN GQUFYH.
7. Safonov A. Ecological scales of indicator plants in an industrial region // Bio web of conferences : Dedicated to the 101st anniversary of the discovery of the law of homological series and the 134th anniversary of the birth of N.I. Vavilov, Vol. 43, 2022. – P. 67. – EDN XQQAHA.
8. Глухов А.З. Экосистемное нормирование по данным фитоиндикационного мониторинга / А.З. Глухов, А.И. Сафонов // Донецкие чтения 2016. Образование, наука и вызовы современности. Донецк: Издательство ЮФУ, 2016. – С. 311-312. – EDN YUAPAY.
9. Safonov A.I. Approbation of Botanical Expertise Method in Ecological Monitoring // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – Vol. 10, No. 2. – P. 219-221. – EDN WBLOSD.
10. Сафонов А.И. Стратегическая потенциализация фитоиндикаторов техногенных загрязнений // Аграрная Россия. – 2009. – № S1. – С. 58-59. – EDN TNHVPJ.
11. Сафонов А.И. Фитоэмбриональный скрининг в экологическом мониторинге Донбасса // Зеленый журнал - Бюллетень ботанического сада Тверского государственного университета. – 2017. – № 3. – С. 5-12. – EDN UYHXGO.
12. Сафонов А.И. Структурная разнокачественность эмбриональных структур фитоиндикаторов в Донбассе // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2016. – № 3-4. – С. 23-29. – EDN YUDMKW.

13. Киселева Д.В. Принципы создания шкал анатомо-морфологической пластичности фитоиндикаторов техногенного региона // Донецкие чтения 2016. Образование, наука и вызовы современности. – Донецк: Южный федеральный университет, 2016. – С. 117-119. – EDN YWGVLG.
14. Сафонов А.И. Тератогенные эффекты как индикаторные свойства цветковых растений урбанизированных территорий Донецкой агломерации / А.И. Сафонов, Ю.С. Калинина, А.П. Палагута // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2024. – № 2. – С. 20-30. – DOI 10.5281/zenodo.13949289. – EDN CZPYKY.
15. Nespirnyi V. The importance of principal component analysis for environmental biodiagnostics of Donbass // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 555. – P. 01007. – DOI 10.1051/e3sconf/202455501007. – EDN EQEGDI.
16. Сафонов А.И. Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций. – Донецк: Издательский дом «ЭДИТ», 2024. – 289 с. – ISBN 978-5-605-24266-6. – EDN QVJSQE.
17. Neutron Activation Analysis of Rare Earth Elements (Sc, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy, Yb) in the Diagnosis of Ecosystems of Donbass / I. Zinicovscaia, A. Safonov, A. Kravtsova [et al.] // Physics of Particles and Nuclei Letters. – 2024. – Vol. 21, No. 2. – P. 186-200. – DOI 10.1134/S1547477124020158. – EDN XTYWUI.
18. *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid в оценке техногенного загрязнения (Ni, Zn, Mn, Al, Se, Cs, La, Sm) трансформированных экотопов Донбасса / И. И. Зиньковская [и др.] // Трансформация экосистем. – 2023. – Т. 6, № 3(21). – С. 22-38. – DOI 10.23859/estr-220726. – EDN GHVAZY.
19. Сафонов Р.А. Физико-географические и геометрические закономерности в палиноиндикации городской среды // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. – Киров: Вятский государственный университет, 2024. – С. 76-80. – EDN JNRWUA.
20. Сафонов Р.А. Научно-технологические перспективы палеонтологического краеведения в Донбассе / Р.А. Сафонов, Ю.С. Калинина // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. – Донецк: ДонНТУ, 2024. – С. 240-241. – EDN JJXAYE.
21. Сафонов Р.А. Корректировка локальных маршрутов для экологического фитомониторинга в Донецке // Вестник студенческого научного общества ФГБОУ ВО "Донецкий государственный университет". – 2025. – Т. 1, № 17. – С. 76-80. – EDN EMKVTZ.
22. Сафонов А.И. Атипичный морфогенез фитоиндикаторов в экологическом мониторинге Донецка // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2024. – № 4. – С. 94-101. – DOI 10.5281/zenodo.14227649. – EDN SDSJHS.
23. Экспозиционный материал кафедры ботаники и экологии ДонГУ для представления ДНР на Форуме ВДНХ «Россия» в 2024 году / А.И. Сафонов, Э.И. Мирненко, Н.С. Мирненко [и др.] // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2024. – № 1. – С. 27-38. – EDN NSZYBT.
24. Беспалова С.В. Математическое моделирование в системе экологического фитомониторинга Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2023. – № 1-2. – С. 6-12. – EDN KUQQL.
25. Аспекты изучения биоразнообразия в Центральном Донбассе: инвентаризация, оценка природных сред, регистрация антропогенных трансформаций / С. В. Беспалова, О. С. Горецкий, М. В. Рева [и др.] // Степная Евразия - устойчивое развитие. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2022. – С. 179-181. – EDN LUJGKG.

#### MODELING OF TERATOGENESIS OF THE LEAF ROSETTE OF *TARAXACUM OFFICINALE* F.H.WIGG. IN ANTHROPOGENIC SYSTEMS OF DONBASS

**Annotation** Structural modeling of the dandelion leaf rosette formation system was conducted under three contrasting environmental conditions: normal and abnormal (techno- and polemic stress). It was found that the morphology of the test species can change significantly depending on these conditions, including factors of belligerative landscapes as a result of military events, acquiring new characteristics. Structural models can serve as a database for identifying such disturbances during photographing and uploading to a pattern recognition database, or for similar manipulations in environmental studies conducted in the unfavorable toxic conditions of the Donbas and other regions.

**Keywords:** teratogenesis, phytoindication, Donbass, environmental monitoring, belligerative factor, polemic stress.

**Bratukhina E.A.**

Scientific adviser: Safonov A.I. Ph.D., Head of the Department of Botany and Ecology

Donetsk State University

E-mail: [kf.botan@donnu.ru](mailto:kf.botan@donnu.ru)

## ПЛЮСЫ И МИНУСЫ УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ ТЕРМИЧЕСКИМ ПУТЕМ

*Валуев Н.Р.*

*Научный руководитель Сердюк А.И., д-р хим. наук, профессор  
ДОННАСА филиала НИУ МГСУ*

*Аннотация.* Представлен комплексный анализ термических методов утилизации твердых коммунальных отходов (ТКО). Основное внимание уделено сравнению ключевых технологий: инсинерации, пиролиза, газификации и плазменной газификации. Проанализированы экологические аспекты, в частности проблема образования токсичных выбросов (диоксинов, фуранов) и опасных шлаков.

*Ключевые слова:* твердые коммунальные отходы, термическая утилизация, диоксины, фураны, мусоросжигательные заводы.

Ежегодно города мира производят миллиарды тонн твердых коммунальных отходов (ТКО). Традиционное захоронение на полигонах, долгое время бывшее основным методом, ведет к колоссальным экологическим проблемам: выделению токсичного фильтрата, парниковых газов, занятию огромных земельных площадей и безвозвратной потере ценных ресурсов. В настоящее время в Донецкой Народной Республике (ДНР) практически исчерпаны возможности захоронения новых ТКО на существующих полигонах и поэтому необходимо сооружение новых полигонов или/и мусороперерабатывающих предприятий.

В этих условиях термические методы утилизации (сжигание) позиционируются как современное и эффективное решение этой проблемы. С одной стороны, они позволяют радикально сократить объем отходов (до 90%) и получить энергию. С другой стороны, общественность и многие экологи опасаются, что этот процесс создает новые, не менее серьезные угрозы: выбросы в атмосферу диоксинов, тяжелых металлов и других высокотоксичных веществ, а также образование опасной золы.

Таким образом, ключевая проблема заключается в противоречии между очевидными операционными преимуществами термической утилизации (сокращение объема, энергетическая ценность) и потенциальными экологическими рисками, которые можно минимизировать только при использовании дорогостоящих технологий и строжайшем экологическом контроле.

Целью работы является обобщить и структурировать информацию о преимуществах и недостатках термического метода утилизации ТКО.

Термическая утилизация отходов представляет собой процесс переработки твердых коммунальных отходов (ТКО) с использованием высоких температур, что позволяет значительно уменьшить их объем, снизить токсичность и получить дополнительную энергию. В зависимости от технологии сжигания и конечных продуктов переработки, выделяют несколько основных методов термической утилизации:

1) прямое сжигание (инсинерация).

Инсинерация - это наиболее распространенный метод термической переработки ТКО, при котором отходы сжигаются в специализированных печах при температурах от 850 до 1100°C. В результате процесса отходы превращаются в золу, шлак и дымовые газы.

Преимущества метода: значительное сокращение объема отходов (до 90%); возможность получения тепловой и электрической энергии; обезвреживание токсичных компонентов.

Недостатки метода: высокая стоимость оборудования и эксплуатации; образование токсичных выбросов (диоксинов, фуранов, тяжелых металлов); требуется эффективная система газоочистки.

2) пиролиз (разложение без доступа кислорода)

Пиролиз - это термическое разложение органических веществ при высоких температурах (400-800°C) в среде с ограниченным доступом кислорода. В результате образуются: пиролизный газ (синтез-газ, содержащий водород, метан, угарный газ); жидкие продукты (пиролизное масло); твердый остаток (углеродистый кокс, зола).

Преимущества метода: более низкие выбросы вредных веществ по сравнению с традиционным сжиганием; получение полезных продуктов (синтез-газа и топлива). снижение объема отходов до 70%.

Недостатки метода: высокие затраты на оборудование и техническое обслуживание; необходимость дальнейшей переработки пиролизных продуктов; требуется дополнительная очистка газа и жидких остатков.

3) газификация (превращение отходов в газообразное топливо)

Газификация - это процесс термического преобразования отходов в газообразное топливо (синтез-газ) при температурах 800-1300°C и наличии газифицирующего агента (кислород, пар или воздух).

Основные продукты газификации: синтез-газ ( $H_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ ) - используется для производства электроэнергии или топлива; твердый остаток (зола, углеродистый шлак).

Преимущества метода: высокая степень превращения отходов в полезную энергию; снижение объемов выбросов  $CO_2$  и загрязняющих веществ; возможность интеграции с системами выработки электроэнергии.

Недостатки метода: сложность и высокая стоимость внедрения; требуется очистка синтез-газа от примесей; эффективность зависит от состава отходов.

4) плазменная газификация (разложение при сверхвысоких температурах)

Плазменная газификация - это усовершенствованный вариант газификации, при котором отходы подвергаются воздействию плазменной дуги с температурой 3000 - 5000°C. В результате органические соединения разлагаются на простейшие газообразные компоненты, а неорганические вещества превращаются в стеклообразный шлак.

Преимущества метода: полное разложение токсичных и органических веществ; минимальное количество вредных выбросов; образование синтез-газа высокой чистоты.

Недостатки метода: чрезвычайно высокая стоимость оборудования и энергозатраты; ограниченное распространение из-за сложности технологии; необходимость постоянного контроля параметров процесса [1].

В таблице 1 представлена сравнительная характеристика методов термической утилизации ТКО.

Мусоросжигательные заводы (МСЗ) - это промышленные объекты, предназначенные для утилизации твердых коммунальных отходов (ТКО) путем их термического сжигания. Основная цель таких предприятий - уменьшение объема отходов, уничтожение опасных компонентов и выработка тепловой или электрической энергии.

Сжигание ТКО происходит в специальных камерных печах (инсинераторах) при температуре 850-1100°C. Основные типы печей:

1) Колосниковые печи - наиболее распространены, обеспечивают подвижное сжигание отходов на металлических решетках.

2) Крутопадающие (вращающиеся) барабанные печи - используются для смешанных и сложных отходов.

3) Кипящий слой - применяется для более эффективного горения измельченных отходов.

Таблица 1. Сравнительная характеристика методов термической утилизации ТКО

Метод	Температура (°С)	Основные продукты	Выбросы CO <sub>2</sub> (кг/т ТКО)	Выбросы диоксинов (нг/м <sup>3</sup> )	Стоимость утилизации (руб/т ТКО)
Инсинерация	850 - 1100	Зола, шлак, дымовые газы	600 - 1200	0,1-10	4500 - 14000
Пиролиз	400 - 800	Пиролизный газ, масло, кокс	300 - 700	0,01-1	7200 - 18000
Газификация	800 - 1300	Синтез-газ, шлак	100 - 400	<0,1	9000 - 23000
Плазменная газификация	3000 - 5000	Чистый синтез-газ, стекловидный шлак	50 - 200	<0,01	18000 - 45000

Процесс сжигания включает три основные зоны:

Зона сушки и нагрева – испаряется влага из отходов.

Зона пиролиза и газификации - разложение органики на газообразные компоненты.

Зона полного сжигания - окисление горючих газов с образованием дыма и тепла.

Продукты сгорания: дымовые газы (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, диоксины, частицы пыли); остаточный шлак и зола (10-20% от первоначального объема отходов); высокотемпературное тепло для выработки энергии.

Процесс работы мусоросжигательного завода включает несколько основных этапов: прием и подготовку отходов, сжигание, очистку отходящих газов и утилизацию остаточных продуктов.

Выделяемая при сжигании отходов энергия используется двумя способами:

1) Выработка электроэнергии - горячие дымовые газы нагревают воду в котлах, образуется пар, который вращает турбины генератора.

2) Теплоснабжение - полученный пар используется для отопления зданий (в системах централизованного теплоснабжения).

Эффективность энергетического использования зависит от типа отходов и технологий завода. Средняя теплотворная способность ТКО составляет 7-12 МДж/кг (примерно, как у бурого угля) [2].

Термическая утилизация твердых коммунальных отходов, представляет собой сложный инженерно-технологический комплекс. Его ключевые преимущества вытекают не просто из факта уничтожения мусора, а из способности трансформировать проблему отходов в ресурс, обеспечивая значительные экологические, энергетические и экономические выгоды.

Наиболее очевидное и технологически простое преимущество - радикальное уменьшение количества отходов, подлежащих конечному захоронению.

В процессе высокотемпературного сжигания органическая составляющая ТКО (пищевые отходы, бумага, пластик, текстиль) полностью разлагается, испаряясь и окисляясь. Неорганические компоненты (стекло, металлы, минеральные примеси) сплавляются в инертный шлак.

Объем отходов сокращается в 10 раз, а масса - примерно на 70-80%. Это означает, что вместо 10 стандартных мусоровозов, отправляющихся на полигон, после сжигания необходимо захоронить золу и шлак всего от одного мусоровоза.

Это прямо решает одну из самых острых проблем - сокращение площади земель, отводимых под полигоны, и значительно продлевает срок их службы. Для

густонаселенных регионов с дефицитом свободных территорий (например, Московская область, мегаполисы) это является критически важным фактором.

Современный мусоросжигательный завод (МСЗ) - это, по сути, теплоэлектростанция, использующая в качестве топлива местный и возобновляемый ресурс - ТКО.

Тепловая энергия, высвобождаемая при сгорании ТКО, используется для нагрева воды в котле-утилизаторе и получения перегретого пара. Этот пар под высоким давлением вращает турбину, соединенную с электрогенератором.

Полученный пар может подаваться в городские системы теплоснабжения для обогрева жилых домов и социальных объектов.

Один современный завод, перерабатывающий 350-400 тысяч тонн ТКО в год, может вырабатывать около 70 МВт электроэнергии (что эквивалентно потребности города с населением 150-200 тысяч человек) и до 174 МВт тепловой энергии.

Температура в топке (свыше 850°C) гарантированно уничтожает все патогенные микроорганизмы, вирусы, бактерии, яйца гельминтов и семена сорняков. Это решает серьезную проблему полигонов, которые являются постоянным источником биологического загрязнения грунтовых вод и атмосферы (через перенос пыли).

Обезвреживание опасных органических соединений: многие отходы (просроченные лекарства, средства бытовой химии, пестициды) содержат токсичные органические вещества. При правильном режиме сжигания эти соединения расщепляются на безопасные компоненты ( $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ). Это более безопасная альтернатива их захоронению на полигоне, где они могут вымываться и мигрировать в окружающую среду.

В отличие от других методов, термическая переработка обладает высокой эксплуатационной надежностью.

Круглогодичность и всепогодность: процесс не зависит от времени года, температуры воздуха или осадков. Завод работает непрерывно, обеспечивая постоянную и предсказуемую переработку потока отходов.

Низкая чувствительность к составу ТКО: хотя для энергоэффективности состав важен, современные технологии (колосниковые решетки, системы подачи воздуха) позволяют стабильно сжигать неоднородные по составу коммунальные отходы без тщательной предварительной сортировки. Это ключевое преимущество перед методами глубокой переработки, которые требуют качественного разделения фракций.

Завершающим этапом технологической цепочки является не только утилизация энергии, но и извлечение вторичного сырья.

Извлечение металлов: шлак, образующийся после сгорания, является источником вторичных металлов. С помощью мощных магнитов (для черных металлов) и сепараторов Eddy-current (для цветных металлов: алюминия, меди, латуни) из него извлекается металлолом. Этот лом отправляется на металлургические предприятия для переплавки, что экономит природные ресурсы и энергию на их добычу.

Использование шлака: обезвреженный и прошедший выдержку (стабилизацию) шлак представляет собой инертный гранулированный материал. После контроля на токсичность он может использоваться в дорожном строительстве в качестве техногенного грунта для отсыпки оснований дорог, насыпей и рекультивации территорий. Таким образом, на захоронение отправляется только небольшой объем летучей золы от очистки газов [3].

Несмотря на технологическое совершенство, процесс термической утилизации ТКО сопряжен с серьезными экологическими, экономическими и системными рисками. Большинство недостатков проистекает из фундаментальной особенности процесса - сжигания крайне неоднородного и зачастую опасного материала, каким являются коммунальные отходы.

Образование и выброс высокотоксичных веществ- это наиболее значимый и обоснованный аргумент противников метода. Даже современные системы очистки не могут обеспечить 100%-ное улавливание всех загрязняющих веществ.

Диоксины и фураны образуются при неполном сгорании хлорсодержащих материалов (например, ПВХ-пластика) в присутствии катализаторов (медь, другие металлы). Это супертоксиканты, обладающие мощным канцерогенным, мутагенным и иммунно-депрессантным действием, способные накапливаться в пищевых цепях.

Современные МСЗ, соответствующие Директиве ЕС 2010/75/ЕС (стандарт для новых заводов в РФ), обеспечивают концентрацию диоксинов в дымовых газах менее 0,1 нг/м<sup>3</sup> в пересчете на токсический эквивалент. Для сравнения, устаревшие заводы без газоочистки могли выбрасывать в сотни раз больше. Однако критики указывают, что даже ничтожные количества этих веществ, обладая кумулятивным эффектом, представляют опасность.

Ртуть (из батареек, люминесцентных ламп), свинец, кадмий, мышьяк (из электронного лома, крашенных изделий) при высоких температурах испаряются и переходят в газовую фазу, образуя летучую золу. По нормативам ЕС/РФ для новых МСЗ содержание не должно превышать: ртути (Hg) - 0,05 мг/м<sup>3</sup>; свинца (Pb) + кадмия (Cd) + мышьяка (As) - 0,05 мг/м<sup>3</sup>.

Кислотные газы образуются при сгорании галогенорганических соединений (хлор - HCl) и серы (SO<sub>2</sub> из резины, кожи), а также азота из воздуха (NO<sub>x</sub>). Нормативы выбросов: соляная кислота (HCl) <10 мг/м<sup>3</sup>; диоксид серы (SO<sub>2</sub>) <50 мг/м<sup>3</sup>; оксиды азота (NO<sub>x</sub>) <200 мг/м<sup>3</sup>. Эти газы способствуют образованию кислотных дождей, раздражению дыхательных путей и респираторным заболеваниям.

Твердые частицы (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>): мельчайшие частицы сажи и золы, прошедшие через систему фильтрации являются основными переносчиками токсинов (диоксинов, тяжелых металлов) в организм человека через дыхательные пути. Норматив для твердых частиц составляет < 10 мг/м<sup>3</sup> (часто достигается 1-5 мг/м<sup>3</sup>). Для сравнения, выбросы с устаревших заводов могут достигать 1000-5000 мг/м<sup>3</sup> [4].

Термическая утилизация не уничтожает отходы полностью, а трансформирует их в другие формы, зачастую более опасные.

Летучая зола (зола уноса) – это мелкодисперсная пыль, уловленная системами газоочистки (электрофильтрами, рукавными фильтрами). Она составляет 3-5% от исходной массы отходов, но концентрирует в себе до 90% всех токсичных веществ, а именно тяжелые металлы, диоксины, некоторые соли.

Класс опасности золы уноса классифицируется как I-IV класс опасности и требует специальных методов обработки (например, твердения в бетонных матрицах) и захоронения на специализированных полигонах для опасных отходов. Это дорогостоящая процедура, которая лишь переносит проблему из одной формы в другую.

Шлак составляет около 20-25% от исходной массы. Хотя он считается менее опасным и часто используется в строительстве, существует риск выщелачивания из него тяжелых металлов и солей при контакте с дождевой водой, что требует длительных исследований и контроля.

Строительство и эксплуатация современного завода, отвечающего экологическим стандартам, требует колоссальных инвестиций. Строительство одного современного МСЗ мощностью 350-400 тыс. тонн/год оценивается в 30-70 млрд рублей. Основная доля (до 70%) приходится на многоступенчатую систему газоочистки.

Операционные затраты, т.е. постоянные расходы на дорогостоящие реагенты (активированный уголь, известь, аммиак для нейтрализации NO<sub>x</sub>), электроэнергию для работы самого завода, высококвалифицированный персонал и мониторинг выбросов делают тариф на сжигание одним из самых высоких в системе обращения с отходами. Окупаемость проекта достигается только за счет длительных (20-30 лет)

государственных субсидий или высоких тарифов для населения, заложенных в ЕТО (единый тариф на услугу по обращению с ТКО).

Создание «мусорной зависимости» МСЗ требуют постоянного и стабильного потока отходов для обеспечения энергоэффективности и окупаемости. Это создает системный конфликт с интересами сокращения образования отходов и развития переработки. Владелец завода экономически заинтересован в том, чтобы в печь шло как можно больше отходов, а не во вторичную переработку, что тормозит развитие более экологичных практик.

Уровень энергетического КПД мусоросжигательных заводов (20-25%) значительно ниже, чем у ТЭЦ, работающих на природном газе (50-60%). С точки зрения энергогенерации, это не самый эффективный способ [5].

Технологические методы снижения выбросов при сжигании твёрдых коммунальных отходов (ТКО) играют важную роль в минимизации негативного воздействия на окружающую среду и здоровье человека. В настоящее время разработано множество способов, направленных на уменьшение выбросов вредных веществ, таких как диоксины, фураны, оксиды азота, серы, углерода и тяжёлые металлы.

Первичные методы - это комплекс технологических решений, которые внедряются на стадии сжигания ТКО для минимизации образования вредных выбросов. Основная задача - контролировать процесс горения и снижать образование токсичных веществ.

Контроль температуры сжигания:

- одним из ключевых параметров, влияющих на образование токсичных соединений (особенно диоксинов и фуранов), является температура сжигания;
- оптимальная температура горения ТКО должна составлять не менее 850°C;
- при такой температуре происходит полное разрушение сложных органических соединений, а также значительно снижается образование диоксинов и фуранов;
- если сжигание происходит при температуре более 1100°C, это позволяет ещё более эффективно снижать количество токсичных веществ.

Увеличение времени пребывания газов в зоне горения:

- чтобы предотвратить образование диоксинов и фуранов, горячие газы, образующиеся при сжигании ТКО, должны находиться в зоне высокой температуры не менее 2 секунд;
- это позволяет завершить процесс сжигания и разрушить большую часть токсичных соединений;
- при этом необходимо обеспечивать равномерное распределение температур, чтобы не происходило локального охлаждения, способствующего образованию токсинов.

Организация подачи воздуха:

- контролируемая подача воздуха (кислорода) в печь является важным элементом сжигания;
- при избыточном количестве кислорода происходит полное окисление веществ, что снижает выбросы угарного газа (CO) и углеводородов (более 6%);
- однако, при избыточном окислении может увеличиваться объём выбросов оксидов азота (NOx), поэтому требуется баланс [6].

Предварительная сортировка ТКО:

- удаление из отходов пластиков, полимеров, батареек и других материалов, способных образовывать токсичные вещества, позволяет значительно сократить выбросы тяжелых металлов, диоксинов, фуранов и других опасных веществ.

Например, удаление ПВХ-пластика (поливинилхлорида) снижает выбросы хлористых соединений, которые затем могут образовывать диоксины.

Вторичные методы направлены на улавливание и очистку отходящих газов, уже образовавшихся в процессе сжигания. Они считаются наиболее эффективными для снижения концентрации вредных веществ. К ним относятся:

- скрубберы мокрой очистки;

Скруббер - это устройство, в котором отходящие газы пропускаются через жидкость (обычно водный раствор с химическими реагентами). Жидкость поглощает вредные вещества, такие как диоксиды серы и азота ( $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_2$ ); хлористый водород ( $\text{HCl}$ ); фтористый водород ( $\text{HF}$ ); пыль; зола и сажа. В результате на выходе образуются очищенные газы и загрязнённый раствор, который требует дальнейшей утилизации.

Типы скрубберов: известковый скруббер - для поглощения кислотных газов ( $\text{HCl}$ ,  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_2$ ); щелочной скруббер - для нейтрализации хлористых и фтористых соединений. Эффективность - до 98% снижения выбросов.

- электрофильтры;

В электрофильтрах газовые потоки проходят через электрическое поле высокой напряжённости. Частицы золы, пыли, тяжёлых металлов заряжаются и оседают на специальных металлических пластинах. Осевшая зола затем собирается и утилизируется как твёрдые отходы. Преимущество: эффективность очистки — до 99% для твёрдых частиц; улавливает пыль, золу, сажу, тяжёлые металлы.

- сухие системы очистки газов;

В горячий газовый поток впрыскивают порошок, чаще всего — гидроксид кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  или карбонат натрия  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Порошок вступает в реакцию с кислотными газами, образуя соли, улавливаемые в фильтрах. Это позволяет эффективно нейтрализовать диоксиды серы и азота ( $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_2$ ); хлористый водород ( $\text{HCl}$ ); фтористый водород ( $\text{HF}$ ). Эффективность - до 95% очистки газов.

- рукавные фильтры;

Газовые выбросы пропускаются через тканевые фильтры, которые задерживают частицы золы, сажи и пыли. Обычно используют фильтры из стекловолокна, тефлона, полиэфира. Преимущество: улавливают до 99% твердых частиц, включая тяжёлые металлы; не требуют больших затрат на эксплуатацию.

- каталитические нейтрализаторы;

Отходящие газы пропускаются через слой катализатора при температуре 300-400°C. В процессе окисления азотные соединения ( $\text{NO}_x$ ) преобразуются в азот ( $\text{N}_2$ ) и водяной пар ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Обычно катализаторы изготавливаются на основе оксидов ванадия, титана или молибдена. Эффективно снижает выбросы оксидов азота до 90% [7].

Таким образом, современная термическая утилизация ТКО представляет собой технологический парадокс. С одной стороны, это высокоэффективный процесс, трансформирующий проблему отходов в ресурс который кардинально сокращает объемы захоронения, обеспечивает санитарную безопасность и генерирует энергию, становясь элементом комплексной системы управления отходами в условиях растущего потребления и урбанизации. С другой стороны, этот метод порождает новые, сложные вызовы: риск выбросов высокотоксичных веществ, необходимость дорогостоящего захоронения опасной золы и создание системной «зависимости» от потока мусора, которая может препятствовать развитию более приоритетных методов сокращения отходов и переработки.

Следовательно, его роль не может рассматриваться как универсальное решение. Термическая переработка оправдана исключительно как нижнее звено в иерархии обращения с отходами, применяемое лишь к тем «хвостам», которые невозможно реализовать или переработать иным способом. Ее экологическая и экономическая целесообразность достигается только при неукоснительном соблюдении двух условий: использовании наилучших доступных технологий очистки и интеграции в комплексную стратегию, где приоритет отдается циркулярной экономике, минимизирующей

количество отходов за счёт повторного использования, переработки и восстановления ресурсов. Она продлевает жизненный цикл продуктов, сокращает потребление сырья и заботится об экологии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черезова А. К. Перспективы использования термических способов утилизации // Научное пространство: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник научных трудов по материалам XXXIV Международной научно-практической конференции. Анапа: ООО «Научно-исследовательский центр экономических и социальных процессов» в Южном Федеральном округе. 2021. С. 44-49.
2. Салимуллина Р. Р. Внедрение экологического менеджмента на мусоросжигательных заводах: поможет ли это сохранить экологию окружающей среды? // WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS: сборник статей XV Международной научно-практической конференции: в 4 частях. Том Часть 1. – Пенза: "Наука и Просвещение". 2017. С. 118-120.
3. Аль Басиси Мазин Н. М., Абдулзахра Т.С. Морфологический состав ТКО, логистика и объемы отходов для сжигания на МСЗ // Управление техносферой. 2024. Т. 7. № 1. С. 54-69.
4. Кузнецов А. В. Влияние выбросов при сжигании твердых коммунальных отходов на окружающую среду и здоровье человека: монография. М.: Изд-во МГУ, 2020. 200 с.
5. Китиков В. О., Барановский И. В., Вага И. И. Ресурсный и экологический анализ технологий обращения с твердыми коммунальными отходами. Минск: Белорусская наука, 2023. 197 с.
6. Pratap, V. et al. Solid waste treatment: Technological advancements and challenges //Soft computing techniques in solid waste and wastewater management. – Elsevier. 2021. С. 215-231.
7. Tolvik, A., Oever K. Cleaning the unclean: A review of gas cleaning technologies for modern waste-to-energy plants //Waste Management & Research. 2023. Vol. 41. № 5. P. 963-977.

#### PLEASURES AND MISCONCEPTS OF THERMAL DISPOSAL OF SOLID WASTE

**Abstract.** A comprehensive analysis of thermal methods of municipal solid waste (MSW) disposal is presented. The main attention is paid to the comparison of key technologies: incineration, pyrolysis, gasification and plasma gasification. Environmental aspects are analyzed, in particular, the problem of the formation of toxic emissions (dioxins, furans) and hazardous slags.

**Keywords:** municipal solid waste, thermal disposal, dioxins, furans, incinerators.

**Valuyev N.R.**

Scientific supervisor Serdyuk A.I., Dr. of Chemistry, Professor

DONNASA branch of the NRU MGSU

[valuev.n.r-izosm-9a@donnasa.ru](mailto:valuev.n.r-izosm-9a@donnasa.ru)

УДК 581.15:582.32 (477.60)

## ОПИСАТЕЛЬНАЯ МОРФОМЕТРИЯ УЯЗВИМОСТИ ЛИСТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ МХОВ В УСЛОВИЯХ ДОНБАССА

*Васильева Н.Н.*

*Научный руководитель: Сафонов А.И., канд. биол. наук, зав. кафедрой  
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

*Аннотация.* Проведен вторичный аналитический контроль сравнения видовой специфичности реагирования листового аппарата мохообразных на действие неспецифического стресса военных событий в условиях Донбасса. Дана визуальная и текстовая сравнительная характеристика по описанию строения (формы и деталей) листового аппарата мхов и степени (и специфики) поражения поверхности листа при воздействии загрязнителей в беллигеративных и урбанизированных ландшафтах.

*Ключевые слова:* мхи, фитоиндикация, Донбасс, экологический мониторинг, полемостресс, беллигеративный фактор.

В бриоиндикации (индикации с помощью мохообразных) принципиально дифференцировать группу факторов относительно среды обитания и агрегатного состояния тех действующих в окружении элементов, которые представляют собой токсическую опасность [1; 2]. Диагностика природных сред в урбанизированных ландшафтах чрезвычайно важна [3]. В условиях университетских лабораторий мы продолжаем проводить таксономическую идентификацию и поддерживаем коллекцию [4]. Такие исследования в комплексе с имеющимися по региональным аспектам экологического мониторинга в донецком экономическом районе [5; 6] составляют базу краеведческих знаний периода военных событий с 2014 по 2026 годы в Донбассе.

Цель работы – на основании имеющихся сведений первичной морфометрии листового аппарата модельных видов мхов-индикаторов в Донбассе провести вторичный морфометрический анализ специфики уязвимости листовой поверхности для более детальной диагностики беллигеративных экотопов.

Система методических разработок основывается также на обнаружении атипичных форм строения растительного организма [7], важных в совокупности ботанических исследований в регионе [8] и природных закономерностей [9]. Анализируя точную анатомическую локализацию повреждений тканей – в первую очередь, зон хлороза и некроза — исследователи получают возможность расшифровать степень тяжести и специфическое происхождение токсикологической нагрузки. Структурные и функциональные модификации листового аппарата этих бриофитов служат быстрым и высокоточным фитоиндикационным признаком для проведения экспресс-анализа в полевых условиях на антропогенно нарушенных территориях. Индикация фенотипичности [10] для диагностических целей [11–14] требует модельного анализа и дополнительных расчетов в группах таксонов [15–19]. А в системе актуальных сведений о состоянии экотопов Донбасса [20–23] работа основывается на ботанико-экологической эквивалентности конкретных видов как ответной реакции на действие фактора стресса на видовом и ценотическом уровнях организации живой экспериментально испытываемой системы [24; 25]. Исследования подтверждают, что методики фитоиндикации на основе анализа листовых пластинок мхов активно внедряются в современную экологическую практику и признаны международным научным сообществом. Геоботанические и токсикологические эксперименты показали, что основным драйвером устойчивого геохимического контраста на этих специфических объектах (терриконах) остается исторический техногенез (50-90 лет формирования отвалов). Тем не менее, в зонах прямого огневого поражения локализованное осаждение токсикантов военного происхождения многократно усиливает существующий промышленный стресс. Это приводит к ускоренному морфогенетическому разрушению

чувствительных биоиндикаторов и вынуждает растительные популяции к стремительной трансформации стратегий выживания. Совместное воздействие промышленных аэрозолей и продуктов детонации вызывает острый окислительный стресс в клетках мхов, что визуально проявляется в виде обширных некротических поражений.

Верхушка листа практически повсеместно является наиболее сильно повреждаемой зоной, что особенно ярко выражено у эпифита *Pyloisia polyantha* (Вид на рисунке 1, где черные некротические круги полностью поглощают апикальную часть), а также у *Ceratodon purpureus* и видов рода *Bryum*. Физиологическая закономерность здесь заключается в микрокапиллярном вытягивании: по мере испарения влаги с поверхности листа вода устремляется к верхушке. Растворимые тяжелые металлы (Zn, Ni, Cu) и атмосферные кислоты остаются в тканях по мере испарения воды, что приводит к экстремальной локальной концентрации токсикантов на апексе. Это вызывает глубокую, терминальную гибель тканей. В полевых дневниках регулярно отмечаются краевой некроз верхушки и скручивание верхушки как первичные индикаторы сильного загрязнения воздуха (рис. 1 и 2).

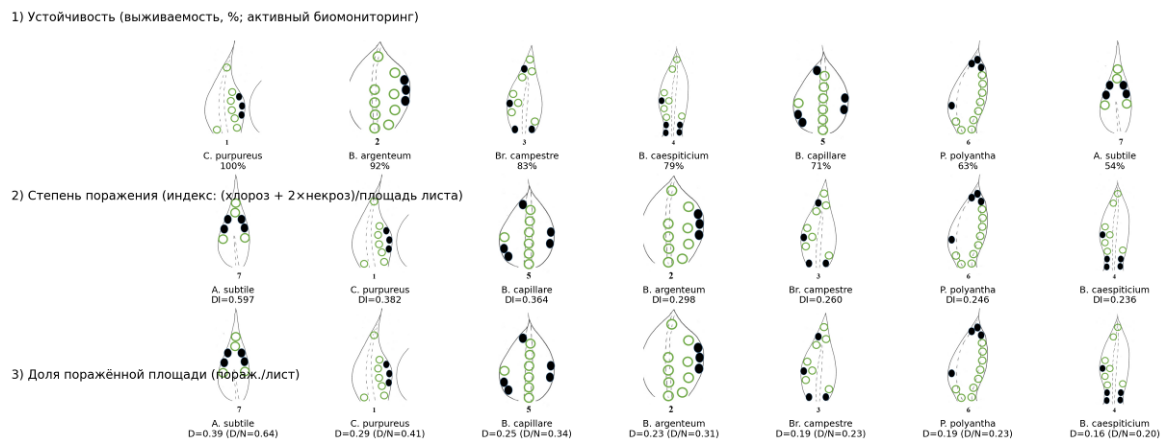


Рис. 1. Варианты уязвимости листового аппарата мохообразных при разных уровнях полемостресса в условиях беллигеративных ландшафтов

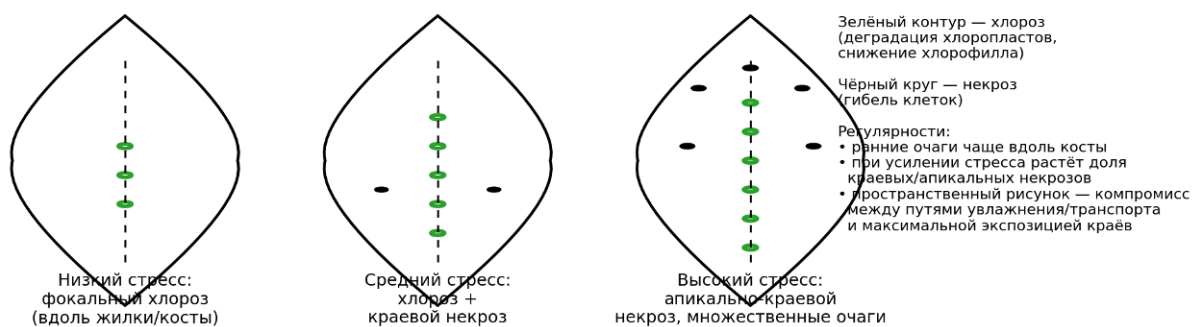


Рис. 2. Модель: локализация хлорозов и некрозов при различном уровне неспецифического стресса в листовом аппарате мохообразных

Края листовой пластинки являются второй по степени уязвимости зоной. Как видно на рисунке, у видов *Brachythecium campestre* (№3), *Bryum capillare* (№5) и *Amblystegium subtile* (№7) некрозы (черные круги) четко сгруппированы вдоль боковых краев. Анатомически края листа часто состоят из одного слоя клеток и лишены структурной буферности центральных тканей. Кислотные выпадения и макрочастицы тяжелых

металлов растворяются в росе и аккумулируются именно по краям. Токсическое воздействие нарушает целостность клеточных мембран, запуская процессы перекисного окисления липидов. На диагностических картах черные круги некроза и зеленые кольца хлороза часто выстраиваются цепочкой вдоль краев листа, постепенно продвигаясь вглубь по мере того, как токсическая нагрузка превышает возможности клеточной детоксикации. У видов №3 и №4 (*B. caespiticium*) наблюдается концентрация некрозов в базальной (нижней) части края, что напрямую связано с поглощением поллютантов из загрязненного почвенного субстрата.

Центральная жилка представляет собой структурный каркас листа мха и, как правило, является последней областью, подвергающейся полному некротическому разрушению. Однако именно она берет на себя основной удар и запускает глубокий активный механизм физиологической защиты, идентифицированный в исследованиях как «прозенхима-трансформация клеток вдоль центральной жилки листа». На рисунке у видов *Bryum argenteum* (№2) и *Bryum capillare* (№5) хлорозы (зеленые кольца) выстроены строго вдоль центральной оси. Когда растение подвергается экстремальному стрессу от тяжелых металлов, клетки, прилегающие к центральной жилке, удлиняются, их стенки значительно утолщаются, и они переходят в прозенхиматозное состояние – длинные веретеновидные клетки с толстыми стенками и узкими просветами. Это адаптивная структурная барьерная реакция, направленная на изоляцию тяжелых металлов и предотвращение их проникновения в базальные меристематические ткани, где происходит деление клеток. На визуальных картах центральная жилка часто остается относительно зеленой (с интактным хлорофиллом), но структурно вздутой или деформированной, в то время как окружающая пластинка (ламина) покрыта кольцами хлороза.

На листовой пластинке некроз проявляется в виде черных или темно-коричневых кругов коллапсировавшей, омертвевшей ткани. В гиперзагрязненных зонах вблизи металлургических заводов Донбасса некротические образования регулярно покрывают от >20% до >30% площади поверхности листа модельных видов мхов. «Точечная локализация», часто упоминаемая в статьях, является специфической реакцией на осаждение аэрозолированных твердых частиц из промышленных выбросов.

Помимо простой деградации пигментов и гибели клеток, радикальное нарушение геохимических циклов вызывает глубокие генетические и гормональные сбои в организме бриобионтов, что приводит к развитию тератогенеза (морфологических уродств). Для проведения полевой диагностики исследователи опираются на ряд специфических морфогенетических аномалий, зафиксированных у мхов Донбасса. Гипогенез и гипергенез – патологическое недоразвитие (гипо-) или чрезмерное, неконтролируемое разрастание (гипер-) тканей листа, что приводит к формированию резко асимметричных листовых пластинок. Деформация и дистопия – общее искривление архитектуры листа и дистопия (аномальное, нетипичное смещение или расположение) структурных частей и вегетативных органов растения; фасциация – барьерная фасциация осей гаметофита – защитная реакция, при которой стебли или органы аномально уплощаются, срastaются или образуют пучки, пытаясь минимизировать площадь контакта с токсичной средой; пролификация – аномальное, непрекращающееся вегетативное разрастание из репродуктивного органа (например, нетипичная пролификация спорофита как форма патологии). Олигомеризация – патологическое уменьшение нормального, генетически детерминированного количества вегетативных органов или редуцирование зон индикаторного накопления.

Для практического применения результатов исследований, проведенных в Донбассе, и выполнения задачи по созданию четкого научного «рисунка» (в текстовом формате концептуальных матриц), интегрирующего все закономерности, необходимо структурировать данные (табл. 1–3).

Таблица 1 – Ранжирование по устойчивости и трансформация стратегий

Ранг устойчивости	Вид бриобионта	Первичный сдвиг стратегии выживания (CSR) при экстремальном техногенезе	Структурный механизм защиты от токсикантов
1 (Наивысший)	<i>Ceratodon purpureus</i>	вынужденный переход к S-стратегии (стресс-толерант) и R-стратегии	экстремальная морфологическая пластичность; быстрая прозенхима-трансформация центральной жилки; барьерная фасциация
2	<i>Bryum argenteum</i>	сохранение S-стратегии	высокое альbedo серебристой листвы снижает вторичный окислительный стресс; быстрая компартментализация краев
3	<i>Brachythecium campestre</i>	сдвиг от Конкурента (C) к Стресс-толеранту (S)	образование широких плеврокарпных ковриков рассеивает нагрузку тяжелых металлов по большей биомассе
4	<i>Bryum caespiticium</i>	сдвиг от Стресс-толеранта к Рудералу	апикальное скручивание защищает внутреннюю ламину; умеренная толерантность к накоплению Zn и Ni
5	<i>Bryum capillare</i>	рудеральная стратегия (R)	быстрый жертвенный некроз маргинальных (краевых) клеток для защиты центральных фотосинтезирующих тканей
6	<i>Pylaisia polyantha</i>	эпифитный стресс-толерант	полагается на буферность коры; крайне подвержен воздействию кислотных стволых стоков, что ведет к быстрой дистопии
7 (Низший)	<i>Amblystegium subtile</i>	ослабленный конкурент	отсутствие надежной барьерной фасциации; демонстрирует быстрый, обширный хлороз даже при незначительном геохимическом контрасте

Нижеприведенные матрицы представляют собой оцифрованную универсальную структурную модель, которая ранжирует семь индикаторных видов мхов по трем ключевым параметрам: 1) показатель устойчивости, 2) степень и локализация поражения, 3) соотношение пораженных участков к нормальным.

Таблица 2 – Локализация и специфика поражения структур листа

Вид бриобионта	Первичная зона некроза (черные круги)	Первичная зона хлороза (зеленые кольца)	Модификация центральной жилки (косты)
<i>Ceratodon purpureus</i>	экстремальное накопление на верхушке, сильное скручивание и терминальный некроз (>20-30% от кончика), некроз одного края	межджилковые пространства, распространение наружу; охват >40% площади. хлороз вдоль противоположного края	интенсивная прозенхима-трансформация; сильное утолщение клеточных стенок для блокады транзита Zn/Ni
<i>Bryum argenteum</i>	строго вдоль правого латерального края (на модели)	базируется на центральной жилке и рассеян по пластинке	умеренное утолщение; сохраняет структурную целостность
<i>Brachythecium campestre</i>	непрерывно вдоль латеральных краев и в базальной части (основании)	базальные ткани, ближайшие к точке прикрепления к субстрату	минимальная трансформация; полагается на пространственное рассеивание
<i>Bryum caespiticium</i>	концентрация в базальной части (субстратное поглощение) и середине левого края	диффузные концентрические кольца по верхней половине пластинки	дистопический изгиб и общая деформация
<i>Bryum capillare</i>	четкие точечные локализации (круги) вдоль нижнего и среднего края	строго выстроены вдоль центральной жилки (гало вокруг жилки)	набухание клеток центральной жилки; гипогенез
<i>Pylaisia polyantha</i>	полный апикальный (верхушечный) некроз. некроз спускается по правому краю	сильное системное обесцвечивание вдоль обоих краев пластинки	быстрое структурное разрушение и олигомеризация
<i>Amblystegium subtile</i>	симметричный некроз на обоих	быстрое слияние зеленых колец на	отсутствие эффективной

Вид бриобионта	Первичная зона некроза (черные круги)	Первичная зона хлороза (зеленые кольца)	Модификация центральной жилки (косты)
	боковых краях в середине листа	верхушке и основании в тотальный хлороз	прозенхима-трансформации; быстрая внутренняя интоксикация

Финальный компонент структурной модели квантифицирует видимые повреждения. Соотношение пораженной ткани (хлороз и некроз) и нормальной (фотосинтетически активной) ткани определяет общий индикационный балл локального экотопа.

Таблица 3 – Соотношение пораженных участков листьев к нормальным

Вид бриобионта	Нормальная ткань (%)	Ткань с хлорозом (%)	Ткань с некрозом (%)	Диагностическая интерпретация в полевых условиях
<i>Ceratodon purpureus</i>	30 - 40	~40	20 - 30	пороговый индикатор, некроз >30% означает критическую токсичность (близость горно-металлургических объектов)
<i>Bryum argenteum</i>	40 - 50	~35	15 - 25	указывает на умеренное или сильное осаждение аэрозолитованных тяжелых металлов
<i>Brachythecium campestre</i>	35 - 45	~40	15 - 25	отражает кумулятивное загрязнение субстрата и наличие кислотного поверхностного стока
<i>Bryum caespiticium</i>	25 - 35	~45	20 - 30	сигнализирует о нарушении геохимических циклов; присутствуют ранние признаки фасциации
<i>Bryum capillare</i>	20 - 30	~50	20 - 30	высокая подверженность краевым ожогам указывает на острые выбросы оксидов серы и азота в атмосферу

Вид бриобионта	Нормальная ткань (%)	Ткань с хлорозом (%)	Ткань с некрозом (%)	Диагностическая интерпретация в полевых условиях
<i>Pylaisia polyantha</i>	15 - 25	~55	20 - 30	тяжелый эпифитный стресс; указывает на высокую токсичность осадков, проходящих через кроны деревьев
<i>Amblystegium subtile</i>	< 15	> 60	> 25	практически полный физиологический отказ. наличие сильно поврежденных образцов указывает на недавно трансформированный, остро токсичный экотоп (в т.ч. военное воздействие)

Комплексный биогеохимический и морфогенетический анализ листовых пластинок бриобионтов в контрастных условиях Донбасса выявляет глубокую, математически прогнозируемую взаимосвязь между экологической токсичностью и структурной деградацией растений. Синергетическое воздействие исторического промышленного техногенеза и современных военных конфликтов привело к внедрению экстремальных концентраций тяжелых металлов (в частности, Zn, Ni, Se, Mn и Al) и токсичных газов в экосистемы региона. Поскольку мхи лишены корневой фильтрации и защитной кутикулы, их листовые пластинки выполняют функцию абсолютных, нефилтрующих биосенсоров атмосферного и субстратного загрязнения.

Пространственное картирование повреждений – идентифицируемое через специфические зеленые кольца хлороза и черные круги некроза – демонстрирует строго детерминированные механизмы физиологического отказа. Апекс и маргинальные зоны листовых пластинок подавляющего большинства видов подвергаются наиболее жестокому разрушению вследствие процессов микрокапиллярного испарения, которое концентрирует токсичные тяжелые металлы на границах тканей. В противовес этому, у высокотолерантных видов (таких как *S. purpureus*) центральная жилка активно защищает базовую архитектуру растения путем прозенхима-трансформации – удлинения и утолщения клеточных стенок для создания физического барьера против системной интоксикации. При превышении критических порогов загрязнения запускаются механизмы тератогенеза, приводящие к фасциации, дистопии, пролификации и олигомеризации органов.

Данная система координат не только дешифрует сложные структурно-функциональные реакции мохообразных на агрессивные поллютанты, но и предоставляет специалистам исчерпывающий стандартизированный инструментарий для проведения высокоточного экологического экспресс-мониторинга на территориях, подвергшихся катастрофическому антропогенному и военному воздействию.

*Исследование выполнено в рамках инициативной темы кафедры «Ботаника антропогенеза: индикация и оптимизация». Пв-22/28. 0122D000085.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kim M. Su. Moss-based building greening: A review on enhancing sustainability of concrete cityscapes // *Ecological Engineering*. 2026. Vol. 223. P. 107826. – DOI 10.1016/j.ecoleng.2025.107826. – EDN HIBDPL.
2. Гатина Е.Л. Атмосферные выпадения потенциально токсичных элементов во мхах-бриомониторах // *Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды*. – Пермь: Пермский ГНИУ, 2025. – С. 27-32. – EDN STBZZP.
3. Антропогенное загрязнение атмосферы урбанизированных территорий Воронежа, Липецка и Тулы как фактор экологического риска / С. А. Епринцев, О. В. Клепиков, Н. А. Дьякова [и др.] // *Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем*. – 2024. – Т. 1, № 9. – С. 276-280. – DOI 10.23885/2500-395X-2024-1-9-276-280. – EDN PRBRCE.
4. Васильева Н.Н. Чек-лист бриофитов Донбасса (F-M) по данным бриотеки кафедры ботаники и экологии ДонГУ // *Вестник студенческого научного общества ФГБОУ ВО "Донецкий государственный университет"*. – 2025. – Т. 1, № 17. – С. 23-27. – EDN YIBSXH.
5. *Taxus baccata* L. Under Changing Climate Conditions in the Steppe Zone of the East European Plain / V. Kornienko, A. Shkirenko, V. Reuckaya [et al.] // *Plants*. – 2025. – Vol. 14, No. 13. – DOI 10.3390/plants14131970. – EDN UTZUUC.
6. Беспалова С.В. Математическое моделирование в системе экологического фитомониторинга Донбасса // *Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона*. 2023. № 1-2. С. 6-12. EDN KUQQSL.
7. Цаценко Л.В. Создание коллекции тератных форм растений на примере тест-объекта // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. – 2026. – № 215. – С. 380-395. – DOI 10.21515/1990-4665-215-045. – EDN EOJQLC.
8. Молчанова А. В. Международная научная конференция «Ресурсы природной и культурной флоры Юга России для устойчивого экономического развития страны», посвящённая 60-летию Донецкого ботанического сада (Донецкая Народная Республика) / А. В. Молчанова, В. В. Козуб-Птица // *Известия ФНЦО*. – 2025. – № 4. – С. 15-26. – DOI 10.18619/2658-4832-2025-4-15-26. – EDN DMLONB.
9. Луговской А.М. Путь к пониманию природных зон: от описаний до научных теорий // *Современные региональные проблемы географии и экологии*. – Москва: ГУП, 2025. – С. 150-157. – EDN NEKWPW.
10. Калинина А.В. Индикационная фенотипическая пластичность *Plantago major* L. в условиях антропогенной трансформации Донбасса // *Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона*. – 2024. – № 4. – С. 25-32. – DOI 10.5281/zenodo.14543646. – EDN PLLHSK.
11. Епринцев С.А. Геоэкологическая оценка влияния промышленного потенциала урбанизированной территории на качество окружающей среды // *Региональные эколого-географические и туристско-рекреационные исследования*. – Воронеж: ВГУ, 2024. – С. 182-185. – EDN TWXXJH.
12. Глухов А.З. Информационно-аналитическая ботаника в решении вопросов экологического мониторинга / А. З. Глухов, А. И. Сафонов // *Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона*. – 2025. – № 4. – С. 6-13. – DOI 10.5281/zenodo.18063342. – EDN LRBPXG.
13. Сафонов А.И. Опыт фитоиндикационной оценки антропогенных экотопов Донбасса (обзор) // *Теоретическая и прикладная экология*. – 2025. – № 2. – С. 16-29. – DOI 10.25750/1995-4301-2025-2-016-029. – EDN YOFKTG.
14. Калинина А.В. Особенности распространения *Oxybaphus nyctagineus* (Michx.) Sweet на трансформированных ландшафтах Донецкой Народной Республики // *Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем*. – Киров: ВятГУ, 2025. – С. 189-192. – EDN BAXOSI.
15. Аспекты изучения биоразнообразия в Центральном Донбассе: инвентаризация, оценка природных сред, регистрация антропогенных трансформаций / С. В. Беспалова, О. С. Горецкий, М. В. Рева [и др.] // *Степная Евразия - устойчивое развитие*. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2022. – С. 179-181. – EDN LUJGKG.
16. Сафонов А.И. Видовое разнообразие мохообразных Донецко-Макеевской промышленной агломерации / А.И. Сафонов, Е.И. Морозова // *Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона*. – 2017. – № 3-4. – С. 24-31. – EDN YTCDSM.
17. Сафонов А.И. Макромаркеры ландшафтных трансформаций в Донбассе: анализ картографического материала / А. И. Сафонов, Е. А. Гермонова // *Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки*. – 2023. – № 4. – С. 68-75. – EDN NSSBBY.
18. Сафонов А. И. Оценка геосистем Донбасса: фитоиндикация тератогенности и картографический анализ / А. И. Сафонов, Е. А. Гермонова // *Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки*. – 2023. – № 1. – С. 98-104. – EDN PHAMBH.
19. Сафонов А. И. Динамика фитоиндикационных показателей по картографическим данным в Донбассе (2013-2023 гг.) / А. И. Сафонов, Е. А. Гермонова // *Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона*. – 2023. – № 4. – С. 6-17. – EDN PIVHWY.

20. Лесные экосистемы Донбасса в условиях боевых действий 2014-2025 годов / В. О. Корниенко, Р. В. Кишкань, А. О. Шкиренко, А. С. Яицкий // Самарский научный вестник. – 2025. – Т. 14, № 3. – С. 57-68. – DOI 10.55355/sn2025143108. – EDN DKFXUZ.

21. Сафонов, А. И. Редкие виды мохообразных Донецко-Макеевской промышленной агломерации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018. № 1-2. С. 33-43. – EDN XRAFBR.

22. Neutron Activation Analysis of Rare Earth Elements (Sc, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy, Yb) in the Diagnosis of Ecosystems of Donbass / I. Zinicovscaia, A. Safonov, A. Kravtsova [et al.] // Physics of Particles and Nuclei Letters. – 2024. – Vol. 21, No. 2. – P. 186-200. – DOI 10.1134/S1547477124020158. – EDN XTYWUI.

23. *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid в оценке техногенного загрязнения (Ni, Zn, Mn, Al, Se, Cs, La, Sm) трансформированных экотопов Донбасса / И.И. Зиньковская, К.Н. Вергель // Трансформация экосистем. – 2023. – Т. 6, № 3(21). – С. 22-38. – DOI 10.23859/estr-220726. – EDN GHVAZY.

24. Мирненко Н.С. Экологическая устойчивость и индикаторная роль травянистых растений в урбанизированных экосистемах Донбасса // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. – Киров: ВятГУ, 2025. – С. 35-38. – EDN ZBEDVX.

25. Калинина А.В. Структура ценопопуляций *Tragopogon major* Jacq. в условиях трансформированных экотопов северного Приазовья // Понт Эвксинский 2025. Севастополь: ФИЦ "Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН", 2025. – С. 82-84. – EDN XZWRDR.

#### DESCRIPTIVE MORPHOMETRY OF VULNERABILITY OF THE LEAF SURFACE OF MOSSES IN DONBASS CONDITIONS

**Annotation.** A secondary analytical study was conducted to compare the species-specific responses of bryophyte foliage to the non-specific stress of military events in the Donbas region. A visual and textual comparison was provided to describe the structure (shape and details) of moss foliage and the degree (and specificity) of leaf surface damage when exposed to pollutants in belligerative and urbanized landscapes.

**Keywords:** mosses, phytoindication, Donbass, environmental monitoring, polemstress, belligerative factor.

**Vasilyeva N.N.**

Scientific adviser: Safonov A.I. Ph.D., Head of the Department of Botany and Ecology

Donetsk State University

E-mail: [kf.botan@donnu.ru](mailto:kf.botan@donnu.ru)

УДК: 577.3

## ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИОННО-АКУСТИЧЕСКОГО ШУМА И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ВДОЛЬ АВТОМАГИСТРАЛЕЙ ГОРОДА ДОНЕЦКА

*Выликов Е.А.*

*Научный руководитель: Корниенко В.О., канд. биол. наук, доцент  
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

*Аннотация.* В работе представлен литературный обзор, посвящённый изучению влияния вибрационно-акустического шума на древесные насаждения в условиях городской среды. Рассмотрены основные факторы антропогенной нагрузки на древесные растения, произрастающие вдоль автомагистралей, включая влияние тяжёлых металлов, звукового загрязнения и других стресс-факторов. Представлены результаты исследований на примере проспекта Панфилова города Донецка, где выявлены уровни вибрационно-акустического шума и оценено состояние древесных насаждений.

*Ключевые слова:* вибрационно-акустический шум, древесные насаждения, урбанизация, антропогенная нагрузка, жизнеспособность растений, транспортный шум, тяжёлые металлы, биоиндикация.

**Введение.** В современных условиях стремительной урбанизации и индустриализации проблема антропогенного воздействия на окружающую среду приобретает особую актуальность. Одним из значимых факторов негативного влияния на городские экосистемы является комплексное воздействие транспортной нагрузки, включающее вибрационно-акустическое загрязнение, эмиссию тяжёлых металлов и загрязняющих веществ [1, 2].

Древесные насаждения играют ключевую роль в формировании микроклимата городских территорий, очистке воздуха от загрязняющих веществ, снижении уровня шума и создании благоприятной среды для жизни населения [3]. Однако в условиях высокой антропогенной нагрузки жизнеспособность древесных растений существенно снижается, продолжительность их жизни сокращается, что требует детального изучения механизмов адаптации и устойчивости различных видов к городским условиям.

Транспортный шум является одним из основных источников акустического загрязнения в городской среде. Уровень шума от автотранспорта может достигать 75-85 дБА вблизи крупных автомагистралей, что значительно превышает нормативные значения. При этом растения, произрастающие вдоль дорог, подвергаются не только прямому воздействию звуковых волн, но и комплексному влиянию выхлопных газов, тяжёлых металлов, вибрации и других неблагоприятных факторов [4].

**Цель работы.** Целью работы является анализ литературных данных о влиянии вибрационно-акустического шума и сопутствующих антропогенных факторов на древесные насаждения в условиях городской среды, а также оценка жизнеспособности древесных растений, произрастающих вдоль проспекта Панфилова города Донецка, в условиях интенсивной транспортной нагрузки.

**Загрязнение почв тяжёлыми металлами вдоль автомагистралей.** Одним из основных факторов негативного воздействия на древесные насаждения, произрастающие вдоль автомагистралей, является загрязнение тяжёлыми металлами. Тяжёлые металлы, поступающие от автотранспорта (в первую очередь свинец, кадмий, медь, цинк, а также никель и хром), активно накапливаются в придорожной полосе почвы и растительных тканях, оказывая выраженное токсическое воздействие на древесные растения [4]. Накопление этих элементов происходит преимущественно в верхнем горизонте почвы (0-20 см), где концентрируется основная масса корневой системы большинства видов деревьев.

Исследования, проведённые Ахмедом Р. и др. на автомагистралях Пакистана, показали способность четырёх видов дикорастущих растений (*Acacia nilotica*, *Calotropis procera*, *Ricinus communis* и *Ziziphus mauritiana*) накапливать тяжёлые металлы [11]. Пробы листьев собирали на четырёх участках с различной интенсивностью транспортного движения. Наибольшее накопление свинца (до 6 мг/г сухой массы) было обнаружено у *Ziziphus mauritiana* на участке с высокой транспортной нагрузкой. *Acacia nilotica* показала себя как эффективный биоиндикатор придорожного загрязнения, демонстрируя линейную зависимость между интенсивностью движения и содержанием металлов в листьях.

Халид Н. и соавторы исследовали влияние близости к автомагистрали на концентрацию тяжёлых металлов в почве и четырёх наиболее распространённых придорожных видах растений в Южной Калифорнии [12]. Было установлено, что концентрация кадмия, никеля, свинца и цинка как в почве, так и в растениях значительно снижалась при удалении от источника загрязнения. Исследование показало, что транспортные выбросы, включая износ тормозов, истирание шин, вносят существенный вклад в загрязнение придорожной зоны тяжёлыми металлами, представляя угрозу как для здоровья человека, так и для экосистем.

Кимакова Т. и др. изучали влияние автомобильного транспорта на накопление металлов в почвах и растениях, произрастающих вблизи автомагистрали в Восточной Словакии [13]. Было установлено, что концентрация свинца в почве и растительности резко снижается с увеличением расстояния от придорожной зоны. Наибольшее содержание тяжёлых металлов отмечено в поверхностном слое почвы. Авторы подчеркнули, что лесные экосистемы, расположенные вдоль автомагистралей, уже на начальном этапе эксплуатации дороги начинают накапливать тяжёлые металлы, что требует систематического мониторинга.

Симптомы хронического отравления тяжёлыми металлами проявляются в замедлении роста и развития побегов, изменении окраски листьев (хлороз, некрозы по краям), преждевременном увядании и опадении листвы, деформации и укорочении корневой системы, снижении общей биомассы. В результате значительно ухудшаются жизнеспособность растений, их декоративные качества и важнейшие экологические функции. Длительное воздействие приводит к ослаблению иммунитета деревьев, повышению их восприимчивости к болезням, вредителям и абиотическим стрессам.

**Влияние вибрационно-акустического шума на физиологию растений.** Наряду с химическим загрязнением, вибрационно-акустическое воздействие представляет собой специфический фактор антропогенной нагрузки на придорожные древесные насаждения. Исследования последних лет показывают, что транспортный шум оказывает прямое физиологическое воздействие на растения, вызывая метаболические нарушения и окислительный стресс.

В работе Хагиги Кафаш З. и соавторов изучалось прямое воздействие транспортного шума на окислительный стресс и гормональный баланс у двух типичных городских растений (*Tagetes patula* и *Salvia splendens*) [14]. Авторы экспонировали растения записанному шуму с оживлённой автомагистрали (73 дБА, 16 часов в сутки в течение 15 дней). У обработанных шумом растений значительно повышались уровни  $H_2O_2$  и малонового диальдегида (маркеры окислительного стресса), активировались антиоксидантные системы, снижались концентрации зеатина, салициловой кислоты, индолилуксусной кислоты и гибберелловой кислоты, при этом возрастали абсцизовая и жасмоновая кислоты. В результате наблюдалось замедление роста и нарушение фотосинтеза.

Эти данные согласуются с результатами, полученными турецкими исследователями Гюзель А. и Йылмаз Д.Д., которые также установили, что шумовое воздействие индуцирует окислительный стресс и нарушает гормональный баланс в

растениях [10]. У обоих видов наблюдалось повышение активности антиоксидантных систем, что указывает на защитную реакцию растений на акустический стресс. Авторы пришли к выводу, что транспортный шум является значимым стрессовым фактором для городских растений, вызывающим метаболические нарушения даже при кратковременном воздействии.

Комплексное воздействие шума, вибрации, тяжёлых металлов и загрязняющих веществ приводит к синергетическому эффекту, многократно усиливающему негативное влияние каждого из факторов в отдельности. Снижение жизнеспособности деревьев проявляется в асимметрии кроны, механических повреждениях коры, усыхании ветвей, изменении пигментного состава листьев, нарушении фотосинтеза и других морфологических и физиологических нарушениях.

**Шумозащитная роль придорожных насаждений.** Несмотря на негативное влияние транспортного шума на растения, правильно организованные древесные насаждения сами способны эффективно снижать уровень акустического загрязнения. В исследовании Крыловой Л.И. изучалось влияние параметров придорожных полос озеленения на снижение шума от автотранспорта в г. Ставрополь [5]. Автор проводила измерения в 15 точках на ул. Шпаковской в разные периоды вегетации (безлиственный, промежуточный, лиственный). Установлено, что в лиственный период шум снижается на несколько дБ (в 50 м от дороги - с 55-59 дБ до 54-57 дБ). Наиболее эффективно шум поглощают липа сердцевидная и берёза повислая; клён остролистный (*Acer platanoides*) в сочетании с густыми кустарниками усиливает эффект. Густая сомкнутость крон (>0,5) и удовлетворительное жизненное состояние древостоя являются ключевыми факторами успешной шумозащиты.

Ов Л.Ф. и Гош С. исследовали влияние интенсивности придорожной растительности на снижение транспортного шума в Малайзии [9]. Авторы проводили измерения на участках с минимальной, умеренной и густой растительностью вдоль автомагистралей. Установлено, что при усилении растительности от минимальной до умеренной интенсивности транспортный шум снижался на 50%. Оптимальная глубина растительного барьера составила 5 м. Без растительного барьера средний уровень шума составлял 78 дБ. Вегетационные барьеры умеренной и густой плотности снижали транспортный шум в среднем на 9-11 дБ. Диаметр ствола оказался линейно связан с шумопоглощением.

**Видоспецифическая устойчивость древесных растений к антропогенным факторам.** Различные виды древесных растений демонстрируют неодинаковую устойчивость к комплексному воздействию придорожных стресс-факторов. Понимание видоспецифических особенностей адаптации критически важно для правильного подбора ассортимента при создании защитных насаждений.

Робиния лжеакация (*Robinia pseudoacacia*) является одним из наиболее распространённых видов в придорожных насаждениях степной зоны благодаря своей высокой газоустойчивости и способности фиксировать азот. В исследовании Иванисовой Н.В. и др. проводили оценку современного состояния придорожных насаждений в засушливой степи Ставропольского края [6]. Установлено, что робиния лжеакация составляет основу придорожных насаждений (в смешанных посадках - 76,5%), однако в зоне недостаточного увлажнения быстро теряет энергию роста и конкурентоспособность. В чистых насаждениях наблюдается раннее усыхание: 90% пятидесятилетних деревьев имеют 50-60% сухих ветвей, что свидетельствует о низкой долговечности монокультур робинии в придорожных условиях.

В статье Парахиной Е.А. и Рудневой М.А. робиния лжеакация отмечена как редкий, но относительно устойчивый вид в уличных насаждениях г. Балашиха Московской области [7]. Средний балл состояния составил  $K=1,73$ , что указывает на удовлетворительное жизненное состояние по сравнению с другими видами. Однако

наблюдается значительное обмерзание однолетних побегов (до 40%) из-за транспортного загрязнения, деградации почвы и зимних стрессов, что существенно снижает декоративность и долговечность посадок.

Берёза повислая (*Betula pendula*) широко используется в качестве биоиндикатора состояния городской среды благодаря высокой чувствительности к загрязнению. Исследования территорий Калужской области с различным уровнем загрязнения, проведённые Стрельцовым А.Б. и соавторами методом флуктуирующей асимметрии листьев *Betula pendula* Roth, показали, что показатель флуктуирующей асимметрии варьирует в зависимости от насыщенности транспортной нагрузки, места расположения от источника загрязнения, а также от открытости и защищённости участка [8]. Под влиянием различных техногенных воздействий (включая тяжёлые металлы и выхлопные газы) происходит ухудшение качества среды, в результате чего индекс флуктуирующей асимметрии увеличивается.

**Материалы и методы.** Исследования вибрационно-акустического шума проводились вдоль проспекта Панфилова в городе Донецке. Измерения осуществлялись на участках улиц с установившейся скоростью движения транспортных средств при условии, что поверхность проезжей части была чистой и сухой.

Для оценки уровня вибрационно-акустического шума использовался цифровой шумомер Venetech GM1351. Жизнеспособность древесных растений оценивали по 5-балльной шкале Алексева. На каждом участке оценивался видовой состав насаждений, их жизнеспособность, а также повреждения и дефекты ствола и кроны.

**Результаты и обсуждения.** На проспекте Панфилова интенсивность движения транспорта составила 426 единиц в час в будний день, что соответствует средней антропогенной нагрузке. Уровни звукового давления на обследуемой территории находились в диапазоне 55-76 дБА и варьировались в зависимости от типа транспортных средств и интенсивности движения.

В ходе обследования было выявлено 7 видов древесных растений. Доминирующими видами являлись робиния псевдоакация (*Robinia pseudoacacia* L.) – 32%, тополь Болле (*Populus bolleana* Lauche) – 22% и рябина промежуточная (*Sorbus intermedia* L.) – 19%. Остальные виды – тополь чёрный (*Populus nigra* L.), клён остролистный (*Acer platanoides* L.), берёза повислая (*Betula pendula* Roth) и вяз приземистый (*Ulmus pumila* L.) – встречались в меньшем количестве.

Оценка состояния насаждений показала, что 53% растений находятся в неудовлетворительном состоянии, 28% - в хорошем состоянии с небольшими признаками ослабления, и только 19% - в отличном состоянии. Средний балл жизнеспособности обследованных деревьев составил 2–3 балла, что свидетельствует об умеренном состоянии дендроценоза.

### Выводы

1. Анализ литературных данных показал, что древесные насаждения в городской среде подвергаются комплексному воздействию антропогенных факторов. Тяжёлые металлы, поступающие от автотранспорта, накапливаются в придорожной полосе почвы и растительных тканях, оказывая токсическое воздействие на древесные растения. Наибольшее накопление отмечается в поверхностном горизонте почвы и в листьях, что приводит к нарушениям роста, изменению окраски листьев и снижению общей жизнеспособности.

2. Вибрационно-акустическое загрязнение оказывает прямое физиологическое воздействие на растения, вызывая окислительный стресс и нарушения гормонального баланса. Транспортный шум индуцирует повышение уровня активных форм кислорода, активацию антиоксидантных систем, снижение концентрации гормонов роста и увеличение стресс-связанных гормонов, что приводит к замедлению роста и нарушению фотосинтеза.

3. Правильно организованные придорожные насаждения способны эффективно снижать уровень транспортного шума. Наиболее эффективными шумопоглотителями являются липа сердцевидная, берёза повислая и клён остролистный в сочетании с густыми кустарниками. Vegetационные барьеры умеренной и густой плотности снижают транспортный шум в среднем на 9-11 дБ.

4. Видоспецифическая устойчивость древесных растений к антропогенным факторам различна: *Robinia pseudoacacia* характеризуется высокой газоустойчивостью, но низкой долговечностью в монокультурах придорожных насаждений; *Betula pendula* и *Acer platanoides* являются чувствительными биоиндикаторами состояния городской среды, реагирующими на изменения транспортной нагрузки через флуктуирующую асимметрию листовых пластинок.

5. Уровни вибрационно-акустического шума вдоль проспекта Панфилова города Донецка находятся в диапазоне 55-76 дБА. Оценка состояния древесных насаждений показала, что 53% растений находятся в неудовлетворительном состоянии, что требует разработки и реализации комплексных мероприятий по улучшению экологических условий произрастания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корниенко, В. О. Анализ уязвимости древесных растений, произрастающих в условиях урбоэкосистем (на примере города Донецка) / В. О. Корниенко, А. О. Шкиренко, В. В. Реуцкая [и др.] // Самарский научный вестник. – 2025. – Т. 14, № 2. – С. 19-29.
2. Корниенко, В. О. Экологические последствия шумового загрязнения города Донецка / В. О. Корниенко, А. С. Яицкий // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2022. – № 11-2. – С. 28-34.
3. Kornienko, V. Silvicultural and ecological characteristics of *Populus bolleana* Lauche as a key introduced species in the urban dendroflora of industrial cities / V. Kornienko, A. Shkirenko, V. Reuckaya [et al.] // Plants. – 2025. – Vol. 14, No. 13. – P. 2052. – DOI: 10.3390/plants14132052.
4. Свалова, К. В. Химическое и физическое загрязнение городских экосистем автотранспортом / К. В. Свалова // Экология урбанизированных территорий. – 2020. – № 3. – С. 67-74.
5. Крылова, Л. И. Влияние параметров придорожных полос озеленения на снижение шума вблизи автомобильных дорог (на примере г. Ставрополь) / Л. И. Крылова // Вестник магистратуры. – 2022. – № 4 (127). – С. 45-50.
6. Иванисова, Н. В. Современное состояние придорожных насаждений в условиях засушливой степи / Н. В. Иванисова, А. П. Лактионов, О. И. Бабошко, Л. В. Куринская // Проблемы региональной экологии. – 2020. – № 3. – С. 78-85.
7. Парахина, Е. А. Оценка современного состояния уличных насаждений г. Балашиха Московской области / Е. А. Парахина, М. А. Руднева // Лесной вестник. *Forestry Bulletin*. – 2022. – Т. 26, № 2. – С. 45-53.
8. Стрельцов, А. Б. Исследование загрязнений окружающей среды по флуктуирующей асимметрии берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.) на территории Калужской области с различным уровнем антропогенных нагрузок / А. Б. Стрельцов, А. А. Наумова, Т. А. Наумова // Московский экономический журнал. – 2021. – № 6. – С. 342-351.
9. Ow, L. F. Urban cities and road traffic noise: Reduction through vegetation / L. F. Ow, S. Ghosh // *Applied Acoustics*. – 2017. – Vol. 120. – P. 15-24. – DOI: 10.1016/j.apacoust.2017.01.007.
10. Guzel, A. Traffic noise induces oxidative stress and phytohormone imbalance in two urban plant species / A. Guzel, D. D. Yilmaz // *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*. – 2022. – Vol. 289. – P. 151989. – DOI: 10.1016/j.flora.2022.151989.
11. Ahmed, R. Heavy metal accumulation by roadside vegetation and implications for pollution control / R. Ahmed, M. S. Akram, H. Khurshid, T. Ali, A. Altaf // *PLOS ONE*. – 2021. – Vol. 16, No. 5. – P. e0249147. – DOI: 10.1371/journal.pone.0249147.
12. Khalid, N. Effects of road proximity on heavy metal concentrations in soils and common roadside plants in Southern California / N. Khalid, M. Hussain, H. S. Young, B. Boyce, M. Aqeel, A. Noman // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2018. – Vol. 25, No. 35. – P. 35257-35265. – DOI: 10.1007/s11356-018-3218-1.
13. Kimáková, T. Impact of Car Traffic on Metal Accumulation in Soils and Plants Growing Close to a Motorway (Eastern Slovakia) / T. Kimáková, K. Bernasovská, A. Béresová, A. Nováková, M. Bernasovský, M. Bohuš, S. Hešková, R. Tůmová, L. Zelenáková // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2022. – Vol. 19, No. 8. – P. 4577. – DOI: 10.3390/ijerph19084577.

14. Haghghi Kafash, Z. Traffic noise induces oxidative stress and phytohormone imbalance in two urban plant species / Z. Haghghi Kafash, S. Khoramnejadian, A. A. Ghotbi-Ravandi, S. Farhang Dehghan // *Flora*. – 2022. – Vol. 287. – P. 152008. – DOI: 10.1016/j.flora.2022.152008.

**THE INFLUENCE OF VIBRATION AND ACOUSTIC NOISE AND ANTHROPOGENIC FACTORS  
ON THE VIABILITY OF TREE STANDS ALONG THE HIGHWAYS OF DONETSK CITY**

**Annotation.** The paper presents a literature review devoted to the study of the influence of vibration and acoustic noise on tree plantations in an urban environment. The main factors of anthropogenic stress on woody plants growing along highways, including the influence of heavy metals, sound pollution and other stress factors, are considered. The research results are presented on the example of Panfilov Avenue in Donetsk, where the levels of vibration and acoustic noise were identified and the condition of tree plantations was assessed.

**Keywords:** vibration and acoustic noise, tree plantations, urbanization, anthropogenic load, plant viability, transport noise, heavy metals, bioindication.

**Vylivok E. A.**

Scientific director: Kornienko V.O., PhD in Biological sciences, Associate Professor

Donetsk state university

E-mail: [alena.viliwok@yandex.ru](mailto:alena.viliwok@yandex.ru)

УДК 581.15:58.5 (477.60)

## СТРУКТУРНАЯ РАЗНОКАЧЕСТВЕННОСТЬ ЛИСТОВОГО АППАРАТА *PHASEOLUS VULGARIS* L. В ГРАДИЕНТЕ АНТРОПОГЕННОГО СТРЕССА

Габараев Б.А.

Научный руководитель: Сафонов А.И., канд. биол. наук, зав. кафедрой  
ФГБОУ ВО «ДонГУ»

*Аннотация.* В статье выделены особенности структурных модификаций листового аппарата модельного растительного организма в условиях роста и развития вегетативных органов под действием факторов специфического и неспецифического стресса в ландшафтных системах Донбасса. Получен оригинальный материал индикаторных свойств *Phaseolus vulgaris* L. именно в тех направлениях антропопресса, которые можно считать беллигеративными.

*Ключевые слова:* фитоиндикация, Донбасс, экологический мониторинг, полевостресс, беллигеративные ландшафты.

В понимании структуры и функций важное значение в ботанико-экологических исследованиях принадлежит выявлению связей, которые для прикладного аспекта экологического мониторинга [1; 2] рассматриваются как сигнальные, а значит информационные о состоянии окружающей среды [3-6]. Такие свойства растительных организмов очень важно использовать в полевой диагностике неблагоприятных факторов среды, вызванных неравномерным и интенсивным антропогенезом, что для территории Донбасса является актуальной задачей [7]. Такого рода исследования востребованы для территорий, нуждающихся в восстановлении ландшафтно-экологических характеристик при обязательном проведении фиторекультивационных работ для мест с трансформирующими последствиями [8].

Цель работы – составить сравнительную морфометрическую характеристику листьев *Phaseolus vulgaris* L. из мест произрастания в условиях техногенеза и неофактора – военного воздействия на природные экосистемы.

Морфометрия лежит в основе многих экологических экспертиз [9], а также является взаимопыляемым звеном для дистанционных методов оценки среды [10], что в большинстве случаев изучено для древесных растений [11] и в аспекте стратегий выживания травянистых [12]. Диагностика урбанизированных систем методами фитоиндикации широко применима [13–18]. Это находит своё отражение в процессах изучения структурных трансформаций растений-индикаторов [19–21].

Вид *Phaseolus vulgaris* L. (фасоль обыкновенная) представляет собой не только важнейшую сельскохозяйственную культуру, играющую критическую роль в обеспечении глобальной продовольственной безопасности благодаря высокому содержанию растительного белка и микронутриентов, но и высокоинформативный модельный объект для глубоких биоиндикационных исследований. Фенотипическая пластичность данного вида, и в частности его структурная разнокачественность (морфологическая гетерогенность листьев), находится в прямой корреляционной зависимости от интенсивности, продолжительности и химической природы стрессового воздействия. Экосистемы, подвергающиеся мощному техногенному или военному воздействию, демонстрируют направленные изменения в физико-химических свойствах почв и функционировании растительно-почвенных систем, причем эти изменения зависят от количества и синергизма коактирующих стрессоров, которые могут нивелировать даже положительные эффекты растительного биоразнообразия.

Сравнение трёх групп листьев (А, Б, В) выполнено по признакам формы и размеров листовой пластинки, асимметрии (флуктуирующей «зеркальной»), деформациям и визуальным симптомам стресса (хлороз, пятнистость, некрозы). Основой для первичного количественного сопоставления послужила цифровая морфометрия по

предоставленному изображению (в пикселях, без масштаба), что позволяет корректно сравнивать группы относительно друг друга, но не переводить значения в мм или см без дополнительной калибровки.

Группа А выглядит как условно-нормативная (ближе к «фону»): преобладают цельнокрайные, овальные или яйцевидные листовые пластинки с минимальными визуальными повреждениями. По цифровой морфометрии группа А имеет наибольший средний размер (средняя площадь силуэта  $\approx 10\,095 \text{ px}^2$ ) и умеренную вариативность размеров ( $CV \approx 0,61$ ).

Группа Б демонстрирует наиболее выраженный стрессовый фенотип: неоднородная окраска (мозаичность или пятнистость), участки хлороза или некротизации, а также высокую неоднородность по размерам ( $CV \approx 0,89$ ). В типичных стресс-экологических трактовках это согласуется с повышенной «шумностью» морфогенеза и нарушением стабильности развития, которое часто оценивают через флуктуирующую асимметрию (ФА).

Группа В резко отличается по архитектуре пластинки: узкие ланцетные или ремневидные формы с высоким отношением длины к ширине (средний аспект  $\approx 3,14$  против  $\approx 1,86$ – $1,90$  у А и Б). Это может отражать морфологическую пластичность (реакцию на свет, воду, питание) либо онтогенетически-стрессовую деформацию (в т.ч. при повреждении меристем или нарушении гормональной регуляции). Визуальные признаки сильной некротизации по фото выражены меньше, чем в Б, но форма указывает на «сдвиг» стратегии листа.

В контексте антропогенного стресса: промышленное загрязнение и тяжёлые металлы часто ассоциируются с хлорозом или некрозом, угнетением роста и окислительным стрессом; конфликт-ассоциированное загрязнение (взрывные воздействия, пожары, разрушение промышленных объектов, пыль или обломочный материал) повышает вероятность смешанных стрессоров, что может давать мозаичный симптомокомплекс и рост частоты аномалий. Для строгой верификации причинности (а не только феноменологии) требуется доизмерение: масштабная морфометрия ( $\text{мм}/\text{см}^2$ ), цветовая калибровка (индекс хлороза), оценка доли некротизированной площади, параметры газообмена или флуоресценции, а также химический профиль субстрата или пыли (металлы или соли, или частицы) и фитопатологическое исключение инфекций.

В контексте проводимых исследований на территории Донбасса [22–25] выделение информативных признаков нео-среды приобретает особое значение.

Стрессовые факторы окружающей среды, особенно антропогенного генезиса, индуцируют широкий спектр реакций на организменном уровне. Визуальные повреждения листьев, такие как межжилковый хлороз или некроз, часто являются первыми наблюдаемыми симптомами окислительного стресса, вызванного воздействием фитотоксикантов, что позволяет использовать такие растения в качестве надежных индикаторов регионального загрязнения с течением времени. Однако макроскопические повреждения представляют собой лишь вершину айсберга. На более глубоких уровнях организации происходят радикальные перестройки: от изменения архитектуры корневой системы, что снижает поглощение воды и питательных веществ, до модуляции активности антиоксидантных ферментов, фитогормонов и паттернов экспрессии генов. В контексте экологической биоиндикации, анализ структурной разнокачественности позволяет не просто констатировать факт наличия стресса, но и дифференцировать его источники, а также прогнозировать дальнейшую судьбу ценопопуляции.

Настоящий анализ посвящен исчерпывающему сравнению совокупности листьев *R. vulgaris* в трех различных, строго дифференцированных экологических сценариях: нормальные агроэкологические условия (Группа А), экстремальные условия локальных боевых действий (Группа Б) и условия хронического промышленного загрязнения

(Группа В). Фактические сравнительные значения представлены в сводных таблицах (табл. 1 и 2).

Таблица 1 – Сводная таблица ключевых признаков и метрик

Признак или метрика	Группа А	Группа Б	Группа В
Общий «портрет»	ближе к норме; листовые пластинки преимущественно цельные	выраженная стресс-симптоматика: мозаичность или пятнистость, участки отмирания	выраженный сдвиг формы к узкой ланцетности; возможная пластичность или деформация
Преобладающая форма	овальная–яйцевидная, умеренно широкая	смешанная: от небольших до крупных, часть «сердцевидных или лопастных» силуэтов	узкая ланцетная или ремневидная
Край	в целом цельный, локально волнистость	местами неровность, локальные деформации, повреждения	в целом цельный; местами возможны подсыхания и надрывы краёв (по фото)
Вершина	чаще острая или заострённая	вариабельно, часть листьев с деформированной вершиной	чаще выражено заострённая
Основание	чаще клиновидное–округлое	более вариабельно, встречаются выемки «сердцевидность»	чаще клиновидное
Жилкование (по видимым признакам)	сетчатое, хорошо читается центральная жилка	на ряде листьев жилки читаются на фоне пятнистости или обесцвечивания	центральная жилка выражена, боковые менее заметны из-за узости
Окраска	зелёная относительно равномерная	неоднородная: мозаичность, «загрязнённый» тон, визуальные признаки хлороза/некроза	относительно тёмно-зелёная; симптомы обесцвечивания выражены слабее, чем в Б
Некрозы/пятна/хлороз (качественно)	редкие и слабые	частые/выраженные (пятнистость + участки отмирания)	умеренные/локальные (по фото), доминирует форма
Средняя площадь силуэта, $px^2$ (n по фото)	$\approx 10\,095$ ( $n \approx 14$ )	$\approx 6\,571$ ( $n \approx 12$ )	$\approx 6\,965$ ( $n \approx 14$ )
Вариативность площади (CV)	$\approx 0,61$	$\approx \mathbf{0,89}$ (макс.)	$\approx 0,48$ (мин.)
Отношение длины к ширине	$\approx 1,86$	$\approx 1,90$ (но SD высокая)	$\approx \mathbf{3,14}$ (макс.)
Круглота или компактность силуэта (условный индекс, ближе к 1 — круглее)	$\approx 0,54$	$\approx 0,61$	$\approx 0,42$
Индекс флуктуирующей асимметрии FA (по силуэту, безразм.)	$\approx 0,045$	$\approx \mathbf{0,078}$	$\approx 0,035$
Частота аномалий (по фото, качественно)	низкая	высокая	средняя (по большей части «аномалия» — форма или узость)

Особое внимание в рамках анализа уделяется морфологическим структурам листа, показателям флуктуирующей и направленной асимметрии, девиациям формы листовой пластинки, а также дополнительным анатомо-физиологическим критериям уязвимости.

Кроме того, в данном документе подробно рассматривается влияние указанных стрессоров на общую жизнеспособность растений и фундаментальную трансформацию их эколого-ценотических стратегий выживания (в контексте теории универсальных адаптивных стратегий CSR Дж. Грайма) в сложных, многофакторных условиях антропогенно трансформированной среды.

Для глубокого понимания векторов адаптации и деградации необходимо детально рассмотреть морфометрические и структурные параметры листьев фасоли в каждой из выделенных групп, опираясь на предоставленный визуальный материал. Воздействие различных по своей природе стрессоров – физических (разрушение почв, экстремальные температуры), химических (тяжелые металлы, тропосферный озон, диоксид серы) и комплексных – инициирует специфические пути морфогенеза. Эти пути могут носить как адаптивный характер (направленный на минимизацию повреждений и выживание особи), так и тератологический характер (свидетельствующий о необратимом разрушении онтогенетической программы и клеточного цикла).

Таблица 2 – Сводная репрезентация морфологической структурной разнокачественности

<b>Морфологический параметр</b>	<b>Группа А (нормальные агроэкологические условия)</b>	<b>Группа Б (условия интенсивных боевых действий)</b>	<b>Группа В (хроническое промышленное загрязнение)</b>
<b>Интегральная площадь листа</b>	максимальная, характерная для генетического профиля сорта	катастрофически снижена (выраженная микрофиллия), высокая вариабельность в выборке	снижена умеренно, присутствует общая тенденция к редукции поверхности
<b>Архитектоника и форма пластинки</b>	типичная сердцевидная или дельтовидная, широкая у основания	глубоко искаженная, фрагментированная, появление нетипичных лопастей, округлые аномалии	вытянутая (ланцетовидная тенденция), характерные серповидные изгибы главной оси
<b>Симметрия (показатель стабильности развития)</b>	двусторонняя симметрия идеальна, минимальный фоновый "шум"	экстремальная девиантная асимметрия, полное рассогласование морфогенеза долей	умеренно-высокая флуктуирующая асимметрия, кривизна центральной жилки
<b>Состояние краев и поверхности</b>	края абсолютно ровные (интактные), поверхность гладкая	эпинастия (скручивание), сильная гофрированность поверхности, рваные фрагменты	поверхность относительно гладкая, но наблюдаются очаги маргинального (краевого) истончения

Морфологический параметр	Группа А (нормальные агроэкологические условия)	Группа Б (условия интенсивных боевых действий)	Группа В (хроническое промышленное загрязнение)
Визуально диагностируемая пигментация	равномерная, гомогенная насыщенно-зеленая окраска	крайне неоднородная; аномально темные участки чередуются с серыми некрозами	общий сдвиг в сторону более блеклых оттенков, диффузный фоновый хлороз, краевые ожоги

Экосистемы, оказавшиеся в зонах вооруженных конфликтов, таких как длительные боевые действия на территории Донбасса, подвергаются беспрецедентному по своей сложности и интенсивности многовекторному давлению. Этот тип стресса носит ярко выраженный синергетический характер, катастрофически объединяя в себе механическое разрушение почвенного профиля, массивированное химическое загрязнение и мощный пирогенный фактор. Воронки от разрывов артиллерийских снарядов и ракет обнажают материнские породы, радикально нарушая структуру, пористость и влагоемкость почвы, что моментально провоцирует тяжелейший терминальный водный дефицит для корневых систем. Параллельно с этим, остатки боеприпасов, неразорвавшиеся снаряды и разрушенная военная техника становятся перманентным источником тяжелых металлов (таких как свинец, медь, цинк, ртуть) и токсичных полициклических ароматических углеводородов, которые стремительно мигрируют в грунтовые воды и поглощаются корневым аппаратом. Кроме того, масштабные лесные и степные пожары, неизбежно возникающие вследствие обстрелов, приводят к массивированным выбросам углекислого газа, токсичного дыма и твердых частиц в приземный слой атмосферы, что критически нарушает оптические свойства листа и забивает устьичные щели.

Анализ шестнадцати листьев фасоли в Группе Б выявляет экстремальную степень морфологической деградации и глубочайшую структурную разнокачественность. Морфологический ответ на данный комплексный стресс проявляется в следующих радикальных изменениях.

Катастрофическая редукция площади (микрофиллия): значительная часть представленных листьев имеет аномально малые размеры по сравнению с контролем. В условиях острого водного дефицита и механического повреждения корней, вызванного уплотнением грунта тяжелой техникой и взрывами, микрофиллия выступает вынужденной адаптивной реакцией. Сокращая площадь листовой пластинки, растение пытается минимизировать поверхность транспирации, чтобы предотвратить фатальное обезвоживание тканей и кавитацию в сосудах ксилемы. Известно, что стресс, вызванный застоем воды в перемешанных взрывами почвах или, наоборот, засухой, может приводить к сокращению площади листа более чем в два-три раза.

Экстремальная девиантная асимметрия и тератогенез. Наблюдается высочайший уровень деформации. Левая и правая половины некоторых листовых пластинок развиваются абсолютно асинхронно. Это следствие грубых сбоев в процессах клеточного деления и растяжения в краевых меристемах, вызванных генотоксичным действием тяжелых металлов. Форма некоторых листьев становится почти круглой, у других появляются глубокие, нехарактерные для вида лопасти или рваные края.

Эпинастия и гофрированность тканей. На изображении отчетливо видны листья со скрученными краями (эпинастия) и бугристой, гофрированной поверхностью. Данная аномалия возникает из-за локального нарушения гормонального баланса (в частности, гиперпродукции стрессового гормона этилена и нарушения транспорта ауксинов) под

воздействием токсикантов, что приводит к неравномерному росту различных слоев мезофилла.

Хлороз и сливной некроз. Пигментация листьев крайне гетерогенна. Наблюдаются как аномально темные участки (возможно, результат утолщения листа и накопления вторичных метаболитов-протекторов), так и обширные зоны обесцвечивания (хлороза), переходящие в сухие некротические пятна. Тяжелые металлы, в частности ртуть, вмешиваются в биосинтез порфиринового кольца хлорофилла, вызывая его стремительную деградацию и провоцируя гибель клеток.

По набору видимых признаков группа А выглядит наиболее «нестрессовой». В терминах ожидаемой жизнеспособности это означает: сохраняется эффективная фотосинтетическая поверхность, ниже вероятность потерь проводящих тканей или устьичных нарушений, ниже риск преждевременного старения листьев, что обычно поддерживает рост и репродукцию. Общие связи между морфологией листа и функциональной отдачей трактуются в рамках компромиссов «листовой экономики» (толщина, площадь, затраты или выгоды).

Территории, прилегающие к крупным промышленным кластерам (металлургическим комбинатам, химическим заводам, теплоэлектростанциям), характеризуются наличием хронического прессинга атмосферных поллютантов, таких как тропосферный озон, диоксид серы, оксиды азота, а также аэрозолей тяжелых металлов. В регионах со столетней историей интенсивной угледобычи и металлургии, огромные объемы токсичных отходов неуклонно накапливаются в почвах, формируя геохимические аномалии. В таких условиях окислительный стресс первично и наиболее ярко манифестирует в виде структурных и визуальных повреждений листового аппарата. Совокупность из двадцати одного листа Группы В демонстрирует специфический, отличающийся от Группы Б паттерн морфологической пластичности.

Изменение формы (Ланцетовидная тенденция). Наиболее бросающимся в глаза отличием данной группы от контроля является общее изменение пропорций листа. Листья визуально выглядят более узкими, вытянутыми, теряя классическую широкую сердцевидную форму. Многие из них приобретают характерный серповидный изгиб. Такое изменение архитектоники может быть связано с адаптивной попыткой растения изменить толщину пограничного слоя воздуха вокруг листа для оптимизации газообмена в условиях хронического присутствия фитотоксичных газов, когда устьица вынуждены подолгу оставаться закрытыми. Повышенная флуктуирующая асимметрия: Асимметрия в данной группе выражена сильнее, чем в норме, но она носит более "плавный" характер по сравнению с грубыми тератологическими нарушениями Группы Б. Наблюдается искривление центральной жилки и неравномерность развития боковых долей. Это классический индикатор нестабильности развития организма, пытающегося поддерживать гомеостаз в условиях постоянного биохимического стресса среды.

Краевой некроз и пигментные аномалии. На краях вытянутых листьев заметны потемнения и истончения тканей (краевой ожог). Тяжелые металлы и растворимые токсины, поглощенные из промышленных почв, пассивно транспортируются с ксилемным током от корней. Поскольку интенсивность транспирации (испарения влаги) максимальна по краям листовой пластинки, именно там происходит концентрация этих токсикантов до летальных для клеток уровней. Кроме того, хроническое воздействие кислых газов вызывает фоновый межжилковый хлороз, что также изменяет спектральные характеристики отражения листьев. Биоиндикационные исследования, проведенные в крупных промышленных городах, убедительно доказывают, что деградация пигментного комплекса и микроструктуры эпидермиса под воздействием поллютантов достоверно регистрируется методами спектрофотометрии.

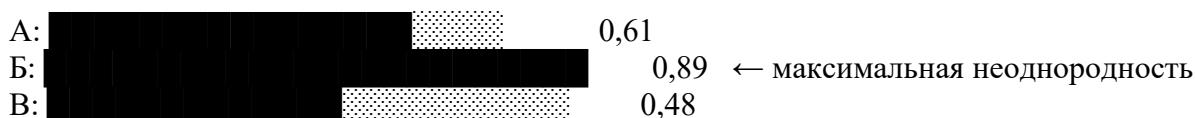
Количественная морфометрия по фото (относительно). Средняя площадь силуэта  $\approx 6965 \text{ px}^2$  (сопоставимо с Б, но ниже А), при этом вариативность размеров минимальна

среди трёх ( $CV \approx 0,48$ ). Отношение длины к ширине максимально ( $aspect \approx 3,14$ ), что подтверждает «узколистность» как доминирующий групповой признак. Индекс FA ( $\approx 0,035$ ) не повышен относительно А, то есть «нестабильность развития по симметрии» по силуэту не выглядит главным маркером именно для этой группы.

Простые графики по первичной цифровой морфометрии. Гистограмма-схема (нормировка по группе А = 100%) для средней площади силуэта:



Диаграмма «неоднородность размеров» ( $CV$  площади, чем выше — тем более разнокалиберные листья):



Интерпретационно: высокая  $CV$  и высокая доля «повреждённых» фенотипов чаще возникают при гетерогенном стрессовом поле и (или) при смешанных причинах (токсиканты или дефициты, или инфекции), что требует экспериментальной проверки.

Фасоль обыкновенная, являясь продуктивной сельскохозяйственной культурой, в условиях контроля (Группа А) искусственно поддерживается человеком в состоянии, близком к чистой С-стратегии (или смешанной CR-стратегии, учитывая ее природу однолетнего растения). У нее формируются крупные, нежные листья (высокий показатель LA и SLA), она демонстрирует высокую скорость вегетативного роста и направляет массивный поток ассимилятов на формирование крупных семян.

Однако в условиях глубокой антропогенной и техногенной трансформации среды обитания (Группы Б и В) происходит радикальная и вынужденная экологическая реорганизация жизненного цикла. Жизненность растения поддерживается уже не за счет сохранения высокой продуктивности, а за счет включения аварийных программ фенотипической пластичности, что наглядно демонстрируют исследования флоры в условиях геохимических аномалий и физических разрушений на территории Донбасса. Эти исследования показывают, что в зависимости от специфики среды, индикаторные виды способны существенно перестраивать свой морфогенез для сохранения популяции, сдвигаясь от типичной С-стратегии к вынужденным R- или S-стратегиям выживания.

Переход к вынужденной S-стратегии (стресс-толерантность) в промышленных зонах (Группа В): в ответ на хроническое химическое загрязнение атмосферы выбросами предприятий, осаждение тяжелых металлов и локальный водный дефицит, фасоль модифицирует свой листовой аппарат в сторону защищенности. Снижается удельная площадь листа, происходит утолщение защитной кутикулы, увеличивается доля лигнифицированных тканей и ксилемы. В клетках накапливаются осмопротекторы (сахара, крахмал). Все эти признаки – классические черты S-стратегии. Растение добровольно жертвует потенциальной продуктивностью и урожайностью генеративных органов ради сохранения базовой физиологической жизнеспособности материнского организма в токсичной среде. Полевые данные подтверждают, что в экстремально трансформированных ландшафтах до 48% популяций видов-индикаторов способны переходить к такой вынужденной S-стратегии. В процессе многолетних сукцессий на заброшенных полях, где накапливаются поллютанты, растительные сообщества в целом эволюционируют от рудеральных к стресс-толерантным формам.

Переход к вынужденной R-стратегии (рудеральность) в зонах боевых действий (Группа Б): в условиях военных конфликтов экосистемы сталкиваются с

катастрофическими, непредсказуемыми физическими нарушениями: взрывами, пожарами, уничтожением наземной биомассы движением техники. В таких условиях, согласно исследованиям, около 35% популяций приобретают выраженные черты R-стратегии. Фасоль, оказавшись в условиях, где выживание особи в течение полного сезона маловероятно, кардинально меняет гормональный статус и сокращает вегетативную фазу. Явление микрофиллии (резкое, патологическое уменьшение площади формирующихся листьев), наблюдаемое в Группе Б, и ранняя остановка роста стебля сопровождаются попыткой ускоренного, преждевременного цветения. Цель растения – успеть сформировать хотя бы минимальное количество даже очень мелких семян, чтобы обеспечить генеративный успех и оставить потомство до неминуемой гибели материнской особи. При этом чужеродные и сельскохозяйственные виды (к которым относится *P. vulgaris* вне мест своего аборигенного произрастания) на поздних стадиях деградации среды часто демонстрируют более высокую рудеральность и меньшую истинную стресс-толерантность по сравнению с дикими аборигенными видами.

Оценка исключительно макроморфологических параметров (форма, размер, флуктуирующая асимметрия, видимые некрозы), безусловно, важна для экспресс-биоиндикации, однако она недостаточна для исчерпывающего понимания механизмов формирования структурной разнокачественности *Phaseolus vulgaris*. Токсическое и физическое воздействие стрессоров первично реализуется на более глубоких уровнях биологической организации: анатомическом, физиологическом, биохимическом и молекулярно-протеомном. Использование комплексного пула критериев позволяет исследователям более точно дифференцировать влияние различных факторов и прогнозировать устойчивость агроэкосистем. Если рассматривать «боевые действия» как источник сложного стрессового поля (пылевая нагрузка, продукты горения, разрушение инфраструктуры с выбросом химикатов, компоненты боеприпасов и металлы, локальные пожары), то ожидаем мозаичный фенотип, высокая неоднородность по листьям одного растения и рост частоты аномалий. Это согласуется с обзорами о токсичных «остатках войны» и с описанием загрязнения при повреждении промышленной инфраструктуры.

*Исследование выполнено в рамках темы «Диагностика и оптимизация бelligеративных экотопов Донбасса методами биомониторинга и фиторемедиации». ПТНИ № 1025073000026-6-1.6.19.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Епринцев С.А. Региональный экологический мониторинг как фактор безопасности городской среды (на примере городов Центральной России) / С.А. Епринцев, О.В. Клепиков, С.В. Шекоян // Региональные геоэкологические проблемы в контексте глобальных изменений. Москва: Институт географии РАН, 2025. – С. 210-214. – DOI 10.15356/geoco\_2024\_1\_30. – EDN OGITOL.
2. Цаценко Л.В. Феномен фасциации – инновационные решения в селекции растений // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2025. – № 211. – С. 205-217. – DOI 10.21515/1990-4665-211-019. – EDN EQTRIF.
3. Опекунова М.Г. Методология биомониторинга экологического состояния урбанизированной территории севера Западной Сибири // Экологические проблемы природопользования. "Геоэкология - 2025". – Санкт-Петербург: ООО "Издательство ВВМ", 2025. – С. 38-47. – EDN LRRKGT.
4. Химический состав почв и растений урбанизированных территорий Арктики (на примере муниципального образования Новый Уренгой) / М. Г. Опекунова, А. Ю. Опекунов, С. Ю. Кукушкин [и др.] // Экология и промышленность России. – 2025. – Т. 29, № 8. – С. 58-65. – DOI 10.18412/1816-0395-2025-8-58-65. – EDN ZPAFKH.
5. Калинина А.В. Структура ценопопуляций *Tragopogon major* Jacq. в условиях трансформированных экотопов северного Приазовья // Понт Эвксинский 2025: Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции. – Севастополь: ИБИОМ РАН, 2025. – С. 82-84. – EDN XZWRD.

6. Silvicultural and Ecological Characteristics of *Populus bolleana* Lauche as a Key Introduced Species in the Urban Dendroflora of Industrial Cities / V. Kornienko, V. Reuckaya, A. Shkirenko [et al.] // *Plants*. – 2025. – Vol. 14, No. 13. – DOI 10.3390/plants14132052. – EDN DRDBQF.
7. Assessment of Surface Water Quality in the Krynka River Basin Using Fluorescence Spectroscopy Methods / S. Chuffitskiy, S. Romanchuk, B. Meskhi [et al.] // *Plants*. – 2025. – Vol. 14, No. 13. – DOI 10.3390/plants14132014. – EDN RNRTRH.
8. Иноземцев И. А. Фиторемедиация в Воронежской области / И.А. Иноземцев, А.А. Чепрасова // *Студенческий вестник*. – 2025. – № 22-6(355). – С. 49-50. – EDN DOCYTW.
9. Калинина А.В. Изменчивость морфометрических признаков *Tragopogon major* Jacq. как индикатор состояния антропогенно трансформированной среды Донбасса // *Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки*. – 2025. – № 2. – С. 89-95. – DOI 10.5281/zenodo.15584535. – EDN LHKQMN.
10. Епринцев С.А. Геоинформационный анализ качества окружающей среды городских территорий Центральной России / С. А. Епринцев, С. В. Шекоян // *Наука Юга России*. – 2025. – Т. 21, № 2. – С. 47-56. – DOI 10.7868/S25000640250208. – EDN PIGZHB.
11. Фрунзе О. В. Оценка изменчивости морфологии листовой пластинки *Acer platanoides* L. под воздействием антропогенного прессинга // *Проблемы техносферной и экологической безопасности в промышленности, строительстве и городском хозяйстве*. Макеевка, 2025. С. 269-272. EDN GWEEJV.
12. Мирненко Н. С. Результаты исследований в контексте адаптационных стратегий и репродуктивной способности *Diplotaxis muralis* (L.) DC // *Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона*. – 2025. – № 2. – С. 63-68. – DOI 10.5281/zenodo.15088484. – EDN VBBTRE.
13. Диагностика состояния и загрязнения урбанизированной территории Арктики с помощью фитоиндикации / М. Г. Опекунова, А. Ю. Опекунов, С. Ю. Кукушкин [и др.] // *Пути решения экологических проблем как важнейшая основа устойчивого развития регионов*. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2025. – С. 197-200. – EDN UVJNTJ.
14. Сафонов А.И. Презентация книги «Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций» // *Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем*. – Киров: Вятский государственный университет, 2025. – С. 44-48. – EDN MFYWJV.
15. Глухов А.З. Информационно-аналитическая ботаника в решении вопросов экологического мониторинга / А. З. Глухов, А. И. Сафонов // *Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона*. – 2025. – № 4. – С. 6-13. – DOI 10.5281/zenodo.18063342. – EDN LRBPGX.
16. Nespirnyi V.N. Statistical Analysis of Environmental Monitoring Data in Donbass Region / V.N. Nespirnyi, A.I. Safonov // *Ecologica*. – 2025. – Vol. 32, No. 119. – P. 189-202. – DOI 10.18485/ecologica.2025.32.119.6. – EDN HMROLA.
17. Сафонов А.И. Стратегическая потенциализация фитоиндикаторов техногенных загрязнений // *Аграрная Россия*. – 2009. – № S1. – С. 58-59. – EDN TNHVPJ.
18. Сафонов А.И. Аномалии эмбриональных структур растений-индикаторов Донбасса // *Разнообразие растительного мира*. 2022. № 3(14). – С. 5-18. – DOI 10.22281/2686-9713-2022-3-5-18. – EDN GQUFYH.
19. Сафонов А.И. Макромаркеры ландшафтных трансформаций в Донбассе: анализ картографического материала / А. И. Сафонов, Е. А. Гермонова // *Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки*. – 2023. – № 4. – С. 68-75. – EDN NSSBBY.
20. Сафонов А.И. Динамика фитоиндикационных показателей по картографическим данным в Донбассе (2013-2023 гг.) / А.И. Сафонов, Е.А. Гермонова // *Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона*. – 2023. – № 4. – С. 6-17. – EDN PIVHWY.
21. Сафонов А.И. Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций. – Донецк : Издательский дом «ЭДИТ», 2024. – 289 с. – ISBN 978-5-605-24266-6. – EDN QVJSQE.
22. Evaluating the Vitality of Introduced Woody Plant Species in the Donetsk–Makeyevka Urban Agglomeration / V. Kornienko, I. Pirko, B. Meskhi [et al.] // *Plants*. – 2025. – Vol. 14, No. 20. – DOI 10.3390/plants14203160. – EDN KGKAD.
23. Анализ уязвимости древесных растений, произрастающих в условиях урбоэкосистем (на примере города Донецка) / В. О. Корниенко, А. О. Шкиренко, В. В. Реуцкая [и др.] // *Самарский научный вестник*. – 2025. – Т. 14, № 2. – С. 19-29. – DOI 10.55355/snv2025142103. – EDN MUFKAZ.
24. Котенко, Д. А. Флуктуирующая асимметрия листа древесных растений, как показатель устойчивости организмов к действию экологических факторов // *Вестник студенческого научного общества ФГБОУ ВО "Донецкий государственный университет"*. – 2025. – Т. 1, № 17. – С. 45-53. – EDN WFXSBI.
25. Лесные экосистемы Донбасса в условиях боевых действий 2014-2025 годов / В.О. Корниенко, Р.В. Кишкань, А.О. Шкиренко, А.С. Яицкий // *Самарский научный вестник*. – 2025. – Т. 14, № 3. – С. 57-68. – DOI 10.55355/snv2025143108. – EDN DKFXUZ.

**STRUCTURAL DIFFERENCE IN THE LEAF APPARATUS OF PHASEOLUS VULGARIS L. IN THE GRADIENT OF ANTHROPOGENIC STRESS**

**Annotation.** This article highlights the structural modifications of the foliage of a model plant organism during the growth and development of vegetative organs under specific and non-specific stress factors in Donbas landscape systems. Original data on the indicator properties of *Phaseolus vulgaris* L. were obtained specifically in those areas of anthropogenic pressure that can be considered belligerative.

**Keywords:** phytoindication, Donbass, environmental monitoring, polemstress, belligerative landscapes.

**Gabaraev B.A.**

Scientific adviser: Safonov A.I. Ph.D., Head of the Department of Botany and Ecology

Donetsk State University

E-mail: [kf.botan@donnu.ru](mailto:kf.botan@donnu.ru)

УДК 582.32 (477.60)

## **БРИОФИТЫ ДОНБАССА В ДИАГНОСТИКЕ ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ЭКОСИСТЕМ (2025-2026 ГГ.)**

*Данилевич Л.И.*

*Научный руководитель: Сафонов А.И., канд. биол. наук, зав. кафедрой  
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

*Аннотация.* Мохообразные в Донбассе представляют собой актуальную систематическую группу высших растений, которые используются в методах активного и пассивного мониторинга. Проанализированный и полученный новый иллюстративно-доказательный материал о широте экологической амплитуды мохообразных в экстремальных и антропогенно трансформированных экотопах донецкой промышленной агломерации. Диагностика экосистем в первую очередь касается воздушной среды, если получены данные по элементному составу, и по степени трансформации растительного покрова в результате, например, военных событий, если имеются сведения о сукцессионных процессах на поверхности техно- и урбанозёмов.

*Ключевые слова:* мхи, фитоиндикация, Донбасс, экологический мониторинг, полемостресс.

В совокупности используемых методов и способов для биодиагностики антропогенных трансформаций бриоиндикация (индикация с помощью мохообразных) занимает для современных научных разработок в Донбассе лидирующее место по аналитическому контролю [1; 2], таксономическому учету доступных для сбора материала и анализа локалитетов [3; 4], целевым экологическим программам мониторинга и оценки состояния биотопов [5-8], идентификации специфических условий в техногенном регионе [9-11].

Цель работы – проанализировать имеющийся и получить новый (с 2025 г. – зима 2026 г.). иллюстративно-доказательный материал о широте экологической амплитуды мохообразных в экстремальных и антропогенно трансформированных экотопах донецкой промышленной агломерации.

Материал для анализа собирали в доступных местах открытого типа, жилых застройках, природных экосистемах; – выделили 30 мест, где можно по картографической разреженности мониторинговых точек не только собрать материал, но и трансплантировать его для произрастания на период (экспозицию) мониторингового эксперимента. В основу методических приёмов положен метод экологической квантификации, основанный на использовании разницы в экотопическом отношении для растений разных мест антропогенной трансформации. Базовыми источниками технологии мониторинга были выбраны работы, реализуемые на кафедре ботаники и экологии Донецкого государственного университета [12-17] в сотрудничестве с учеными Донецкого ботанического сада [18]. Методический подход [19] и возможные (допустимые) методы статистической обработки материалов [20; 21] сочетали с имеющимися наработками и рекомендациями сбора полевого материала в целях мониторинга [22] и(или) фитодизайна [23]. Нужно отметить высокий интерес к обозначенной теме среди студентов кафедры, которые в разные годы увлекались и собирали оригинальный материал по мохообразным, предоставляли его для публикации в Вестнике студенческого научного общества ДонГУ [24; 25].

Диагностика экосистем Донбасса с помощью мохообразных (бриофитов и бриобионтов в ассоциациях) в первую очередь касается воздушной среды, если получены данные по элементному составу, и по степени трансформации растительного покрова в результате, например, военных событий, если имеются сведения о сукцессионных процессах на поверхности техно- и урбанозёмов. Такая информация востребована и при составлении Белой Книги ДНР в 2025 году. Возможно, что необходимость формирования Белых Книг сохранится для нашего региона и далее.

Для чистоты эксперимента нужно было определиться с местом сбора однородного трансплантационного материала, чтобы без ущерба для состояния сформированных природных систем изъять всю колонию мохообразных и рассредоточить их в 30 точках для реализации системы пересадки и последующего изъятия после произрастания в один вегетационный сезон. Впервые была предпринята попытка извлекать посадочный материал мхов для активного экологического мониторинга не в системе территориального заповедания, а на площадках урбанизированных ландшафтов, которые испытывают нежелательное накопление растительности этого типа на постройках и коммуникациях, например, на крышах зданий (учебный корпус химического факультета ДонГУ) и в местах заброшенных учреждений общего пользования (магазинах) по ул. Щорса, г. Донецк (рис. 1).



Рис. 1. Ассоциации бриофитов – ресурс организации активного мониторинга с использованием трансплантационного метода и 12-18-месячного экспонирования в разных точках

Таким образом, была заведомо сформирована программа трансплантации именно устойчивых к антропогенному загрязнению объектов, что в совокупности с ранее используемыми методами является определенной экспериментальной инновацией. Все собранные образцы были разделены на 30 блоков по 5 повторений в каждом образце, чтобы обеспечить рассаживание методом конверта или равномерный перенос растительного материала для восстановления роста и возможного самовоспроизведения в имеющихся условиях. Амплитуду жизненности и устойчивости было предложено определять по приросту биомассы на 12-й и 18-й месяцы после реализации трансплантационных мероприятий, чтобы была возможность также иметь результаты на момент защиты выпускной квалификационной работы и за репрезентативный срок культивирования материала.

Ассоциативные группы мохообразных (бриумы, цератодоны) были сгруппированы для того, чтобы также определить возможность и перспективность использования такого метода для мероприятий по задернению резко нарушенных экосистем, которые сформированы в нашем регионе в результате вмешательства военных событий. В том числе на территории городов, населенных пунктов. Такая программа важна для

рекомендации более устойчивых форм к формированию постоянно растительного покрова, являющегося защитным щитом между нарушенной экосистемой био-состава и природной средой, чтобы предотвратить деградационные процессы в ландшафтообразовании – в первую очередь эрозию грунтозёмов, усиливающую эффект формирования бelligеративного ландшафта и процессы выветривания и дополнительного запыления городских территорий.

Для конкретного примера сукцессионного ряда представляем 2 снимка экосистемы зарастания бетонной поверхности возле биологического факультета ДонГУ после обстрелов корпуса в 2022 году (рис. 2), поскольку никаких восстановительных работ до сегодняшнего дня (январь 2026 г.) возле корпуса и в корпусе произведено не было, то наиболее активные дерновинные виды растений заняли эти экологические ниши и сформировали 2-3 видовые ассоциации в перспективе к разрастанию на поверхности и формированию проективного покрытия с 15 до 75% за 2 вегетационных сезона наблюдения. Учет велся в 10 пробных площадках такого процесса, данные были подсчитаны и достоверны на 5%-ном доверительном интервале при использовании критерия Стьюдента в 5-кратной повторности каждого модельного образца.

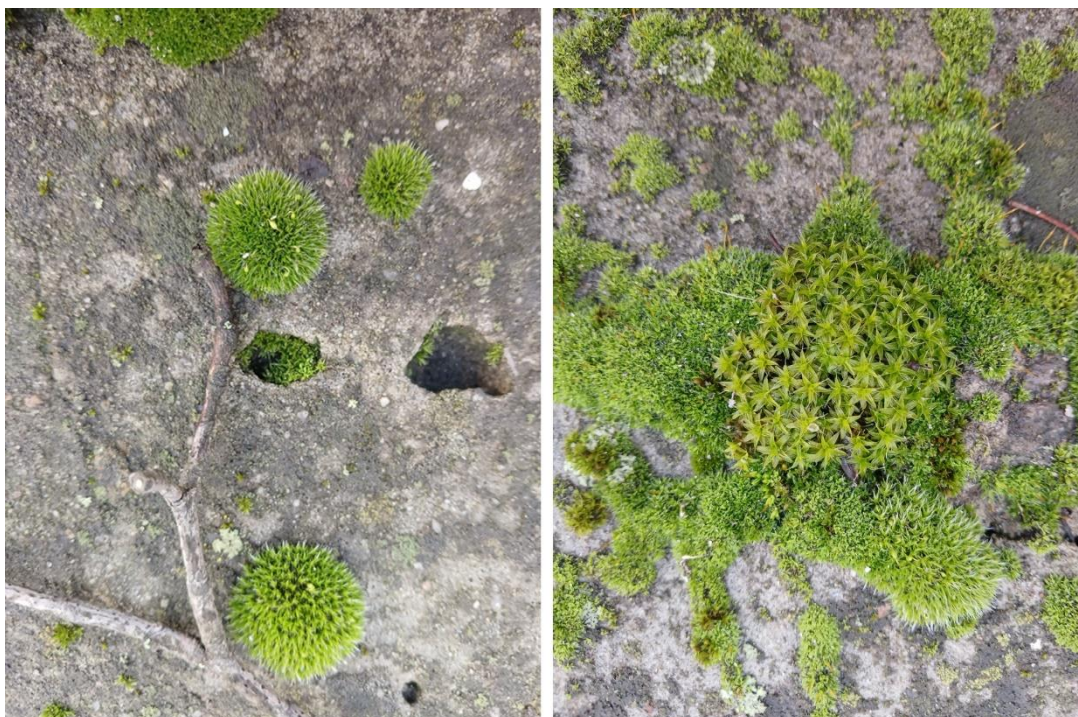


Рис. 2. Пример формирования сукцессионного процесса в местах обрастания поверхностей после вынужденного биллегеративного эцезиса

Возможной причиной эффективной успешности реализуемого эксперимента по трансплантации явилось то, что мы взяли уже адаптированные формы мхов и рассредоточили их в местностях для выживания, тогда как до этого учеными Донбасса были реализованы именно эксперименты по выживанию таких особей, взятых (изъятых) из буферной территории объектов природно-заповедного фонда.

Однако во время экспериментов были непредвиденные ситуации, когда уже сформированные сукцессионные ряды испытывали вторичное воздействие фактора военных событий (рис. 3), в таких случаях наблюдались деградационные процессы уже на уровне морфологии групп особей в результате, по-видимому, токсикологического воздействия. Все материалы были собраны в однородную посуду лабораторного полевого комплекта и предоставлены в специализированные лаборатории для

элементного анализа в соответствии с договором между ДонГУ и Институтом геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН (г. Москва).



Рис. 3. Реакция ассоциации бриофитов на факторы полемостресса в 1-2 год после импакта, 2025-2026 гг. (средне-зимний период)

Таким образом, выбранные мхи имеют широкую экологическую амплитуду и выносливость выживания в экстремальных экологических условиях. Эксперимент реализован для выполнения магистерской диссертации, а также проверки выживаемости особей, маточный образец которых был рассредоточен на 30 мониторинговых точек для дальнейшего картографирования в урбанизированных системах Донбасса.

*Исследование выполнено в рамках темы «Диагностика и оптимизация белигеративных экотопов Донбасса методами биомониторинга и фиторемедиации».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алемасова А.С. Накопление тяжелых металлов мохообразными в различных экотопах Донбасса // Трансформация экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов. - Киров: Вятский государственный университет, 2019. - С. 60-65. - EDN EMTHZO.
2. Биомониторинговая программа по оценке воздуха в Донбассе с помощью нейтронно-активационного анализа / И. И. Зиньковская, К. Н. Вергель, А. В. Кравцова и др. // Донецкие чтения 2022: образование, наука, инновации. Донецк: ДонГУ, 2022. - С. 69-71. - EDN SQZVXS.
3. Видовое разнообразие мохообразных Донецко-Макеевской промышленной агломерации / А.И. Сафонов, Е.И. Морозова // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. - 2017. - № 3-4. - С. 24-31. - EDN YTCDSM.
4. Видовое разнообразие бриобионтов мониторинговой сети Центрального Донбасса / А.И. Сафонов, Е. И. Морозова // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. - 2021. - № 1-2. - С. 39-43. - EDN AOINBS.
5. *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid в оценке техногенного загрязнения (Ni, Zn, Mn, Al, Se, Cs, La, Sm) трансформированных экотопов Донбасса / И.И. Зиньковская, К.Н. Вергель [и др.] // Трансформация экосистем. - 2023. - Т. 6, № 3(21). - С. 22-38. - DOI 10.23859/estr-220726. - EDN GHVAZY.
6. Neutron Activation Analysis of Rare Earth Elements (Sc, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy, Yb) in the Diagnosis of Ecosystems of Donbass / I. Ziniovsciaia, A. Safonov, A. Kravtsova [et al.] // Physics of Particles and Nuclei Letters. - 2024. - Vol. 21, No. 2. - P. 186-200. - DOI 10.1134/S1547477124020158. - EDN XTYWUI.
7. Phytomonitoring in Donbass for Identifying New Geochemical Anomalies / I.I. Ziniovsciaia, A.I. Safonov, N.S. Yushin [et al.] // Russian Journal of General Chemistry. - 2024. - Vol. 94, No. 13. - P. 3472-3482. - DOI 10.1134/S1070363224130048. - EDN QXJUMP.
8. Сафонов А.И. Опыт фитоиндикационной оценки антропогенных экотопов Донбасса (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. - 2025. - № 2. - С. 16-29. - DOI 10.25750/1995-4301-2025-2-016-029. - EDN YOFKGT.
9. Морфогенетические аномалии бриобионтов в условиях геохимически контрастной среды Донбасса / А.И. Сафонов, А.С. Алемасова, И.И. Зиньковская [и др.] // Геохимия. - 2023. - Т. 68, № 10. - С. 1032-1044. - DOI 10.31857/S0016752523100114. - EDN NURQVW.
10. Редкие виды мохообразных Донецко-Макеевской промышленной агломерации / А.И. Сафонов, Е.И. Морозова // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. - 2018. - № 1-2. - С. 33-43. - EDN XRAFBR.

11. Фитомониторинг антропогенно измененной среды: формализация терминологии и реализация на практике / А.И. Сафонов, А.З. Глухов // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. - 2023. - № 3. - С. 62-70. - EDN NTNOHR.
12. Экспозиционный материал кафедры ботаники и экологии ДонГУ для представления ДНР на Форуме ВДНХ «Россия» в 2024 году / А.И. Сафонов, Э.И. Мирненко, Н.С. Мирненко [и др.] // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. - 2024. - № 1. - С. 27-38. - EDN NSZYBT.
13. Сафонов А.И. Стратегическая потенциализация фитоиндикаторов техногенных загрязнений // Аграрная Россия. - 2009. - № S1. - С. 58-59. - EDN TNHVPJ.
14. Сафонов А.И. Итоги многоцелевого изучения биоразнообразия в Донбассе (2015-2022 гг.) // Вестник Тульского государственного университета. - Тула: ТулГУ, 2023. - С. 120-130. - EDN FQNQVV.
15. Аспекты изучения биоразнообразия в Центральном Донбассе: инвентаризация, оценка природных сред, регистрация антропогенных трансформаций / С.В. Беспалова, О.С. Горецкий, М.В. Рева [и др.] // Степная Евразия - устойчивое развитие. - Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2022. - С. 179-181. - EDN LUJGKG.
16. Морозова Е.И. Видовой состав, особенности произрастания и морфометрическая характеристика мхов- индикаторов г. Макеевки // Донецкие чтения 2017. – Донецк: ДонНУ, 2017. - С. 100-101. - EDN YOUSVF.
17. Морозова Е.И. Мониторинг в условиях промышленных экотопов с помощью мохообразных // Донецкие чтения 2016. Образование, наука и вызовы современности. Донецк: ЮФУ, 2016. - С. 317-318. - EDN YUAPBZ.
18. Глухов А.З. Экомониторинг в контексте информационно-аналитической ботаники // Донецкие чтения - 2025: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. - Донецк: Донецкий национальный университет, 2025. - С. 66-67. - EDN TXNNAC.
19. Сафонов А.И. Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций. - Донецк: Издательский дом «ЭДИТ», 2024. - 289 с. - ISBN 978-5-605-24266-6. - EDN QVJSQE.
20. Неспирный В.Н. Опыт использования математической статистики в программах по экологическому фитомониторингу // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2025. - С. 196-197. - EDN WSXNTP.
21. Safonov A.I. Intelligent Visualization and Modeling of Phytogeochemical Profiles of Industrial Dumps in Donbass / A.I. Safonov, D.N. Dogadkin, V.N. Nespirnyi // Ecologica. - 2025. - Vol. 32, No. 118. - P. 122-128. - DOI 10.18485/ecologica.2025.32.118.5. - EDN WRYPBL.
22. Сафонов Р. А. Корректировка локальных маршрутов для экологического фитомониторинга в Донецке // Вестник студенческого научного общества ФГБОУ ВО "Донецкий государственный университет". 2025. - Т. 1, № 17. - С. 76-80. - EDN EMKVTZ.
23. Сафонов Р.А. Геометрические особенности ландшафтной архитектуры г. Донецка // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет". - 2024. - Т. 1, № 16. - С. 155-159. - EDN BKNVZY.
24. Крайняя Т.С. Бриобионты восточных промышленных узлов Центрального Донбасса в экологическом мониторинге и обучающих программах // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет". - 2022. - Т. 1, № 14. - С. 70-73. - EDN DVGLON.
25. Бондарь Е.Н. Фрагмент бриотеки городских агломераций Донбасса // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет". - 2021. - Т. 1, № 13. - С. 19-23. - EDN QWMODZ.

### **BRYOPHYTES OF DONBASS IN THE DIAGNOSTICS OF TRANSFORMED ECOSYSTEMS (2025-2026)**

**Annotation.** Bryophytes in the Donbass represent a relevant taxonomic group of higher plants used in active and passive monitoring methods. Existing data was analyzed and new illustrative and evidentiary material was obtained on the breadth of the ecological range of bryophytes in extreme and anthropogenically transformed ecotopes of the Donetsk industrial agglomeration. Ecosystem diagnostics primarily focus on the air environment, if data on elemental composition are available, and on the degree of vegetation transformation as a result of, for example, military events, if information on successional processes on the surface of techno- and urban soils is available.

**Keywords:** mosses, phytoindication, Donbass, environmental monitoring, polemostress.

**Danilevich L.I.**

Scientific adviser: Safonov A.I. Ph.D., Head of the Department of Botany and Ecology  
Donetsk State University

E-mail: [kf.botan@donnu.ru](mailto:kf.botan@donnu.ru)

УДК 630\*161

**ДЕРЕВЬЯ РОДА *FRAXINUS* L. В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ  
Г. ДОНЕЦКА***Джантимирова А.А.**Научный руководитель: Корниенко В.О., канд. биол. наук, доцент  
ФГБОУ «ДонГУ»*

*Аннотация.* В работе представлены результаты дендрологических исследований с целью оценки морфометрических параметров, возрастной структуры и состояния древостоев *Fraxinus* L., произрастающих в районах с повышенной антропогенной нагрузкой в городских посадках г. Донецка. На основании данных литературы приведена эколого-биологическая характеристика основных видов ясеня, используемых в озеленении города. И в контрольных условиях, и на модельном участке растения находились в сильно ослабленном состоянии. В общей сложности 18% растений находились в критическом состоянии. Исследование жизнеспособности древостоев *Fraxinus* L. и анализ данных литературы показали, что на исследуемой территории аборигенный для региона вид *F. excelsior* более устойчив к влиянию антропогенного стресса по сравнению с интродуцированным *F. pennsylvanica*.

*Ключевые слова:* ясень обыкновенный, жизнеспособность древесных растений, лесотаксация, Донбасс.

**Введение.** Древесные растения, произрастающие на территории Донецкого региона, постоянно подвергаются влиянию антропогенного прессинга, который, в комплексе с жёсткими природно-климатическими и новыми антропогенными факторами, губительно сказывается как на аборигенных видах флоры, так и на видах-интродуцентах [10, 15-16, 18]. В связи с этим, экологическая адаптация древесных растений в городской среде – одна из фундаментальных проблем современного градостроительства [8, 14].

На сегодняшний день многие исследователи приходят к единому мнению о том, что важным звеном в мониторинге городских зелёных насаждений является переход от простого количественного учёта к оценке экологических функций растений, благотворно влияющих на городскую среду; активно проводятся комплексные исследования, посвящённые оценке механической устойчивости и аварийности деревьев под влиянием меняющихся условий климата и оценке состояния древесных растений в условиях промышленных городов на примере г. Донецка [2-3, 6, 15-18]. Такая тенденция обусловлена тем, что фитомасса индустриальных центров выполняет не только эстетическую функцию, но и способствует поддержанию экологического баланса, выступая как один из основных факторов поддержания биоразнообразия не только городской среды, но и всего региона в целом [5, 12, 13]. Древесным растениям урбоценозов также отводится не менее важная рекреационная и санитарно-гигиенические функции, которые, в свою очередь, во многом зависят от целесообразности выбора того или иного вида древесных растений в градостроительных целях [4, 9].

Таким образом, вопрос озеленения городов и выбор наиболее устойчивых и продуктивных видов древесных растений в настоящее время особенно актуален.

**Материалы и методы.** Мониторинговые исследования древесных растений проводили вдоль крупной автомагистрали города Донецка – пр. Ильича в 2025 г. Территория обследования протяженностью 5 км, берёт начало от площади Ленина в Ворошиловском районе и заканчивается в восточной части Калининского района.

Объект исследования: Ясень [*Fraxinus* L.] - род древесных растений семейства маслиновых, широко используемый в озеленении городов. В зелёных насаждениях Донецка в основном представлены ясень пенсильванский (североамериканский интродуцент) и ясень обыкновенный, естественно произрастающий в байрачных лесах Донецкого региона [5].

Экспериментальная группа включала древесные растения, линейно произрастающие в условиях постоянного антропогенного прессинга вдоль автомагистрали пр. Ильича. В качестве условного контроля была выбрана группа деревьев ясеня пенсильванского, произрастающая на территории ЦПКиО им. Щербакова. Общее количество обследованных деревьев составило 148 растений.

Для оценки жизнеспособности древесных растений использовали интегральную шкалу В.А. Алексеева [1], согласно которой выделяют следующие категории: 1 балл – здоровое дерево; 2 балла – ослабленное дерево; 3 балла – сильно ослабленное дерево; 4 балла – отмирающее дерево; 5 баллов – сухостой.

Результаты визуального осмотра исследуемых древесных растений фиксировались с помощью фотоаппарата, а дальнейшую обработку и анализ изображений проводили в программе AxioVision Rel. 4.8 с учетом эталонной мерки. Диаметры ствола замеряли мерной вилкой на высоте до 10 см и 1,3 м от шейки корня. Для математической обработки данных применялось программное обеспечение Microsoft Office Excel 2010.

**Результаты и обсуждения.** Согласно данным литературы, в условиях Донбасса деревья рода *Fraxinus* L. достигают векового возраста только на экологически чистых территориях, а на территориях сильного антропогенного загрязнения их максимальный зафиксированный возраст составляет не более 70 лет [10]. В линейных придорожных насаждениях жизнеспособность значительно снижается после достижения растениями 50-летнего возраста [7, 14].

Ясень пенсильванский [*Fraxinus pennsylvanica* Marsh.] – быстрорастущее дерево, достигающее до 15 м высотой, крона раскидистая, корневая система зачастую слабо развита. Благодаря неприхотливости к почвенным условиям, быстрому росту, морозо- и засухоустойчивости, а также сопротивлению паразитарным организмам *F. pennsylvanica* стал популярной породой, используемой в озеленении и за пределами естественного ареала (Северная Америка). В США этот вид древесных используется в ветрозащитных полосах, в России вид был интродуцирован в конце XVIII века и широко используется в создании лесомелиоративных полос и озеленении городов. В Донецке *F. pennsylvanica* – одна из основных пород в зелёных насаждениях, хоть и недолговечная (критический возраст наступает к 50 годам) [5].

Ясень обыкновенный [*Fraxinus excelsior* L.] – быстрорастущее дерево, достигающее 20–30 м в высоту, аборигенный вид, один из основных видов степных байрачных лесов [6]. Корневая система развивается преимущественно в горизонтальной плоскости. Крона одиночных растений раскидистая, в древостое обратнаяцевидная, ажурная. *F. excelsior* – светолюбивый и ветроустойчивый вид, предпочитающий плодородные слабощелочные почвы, произрастает в смешанных и широколиственных лесах. В условиях степной и лесостепной зон юга России *F. excelsior* долговечен, отдельные представители вида достигают 150 и более лет. В городской среде Донецкого региона критический возраст наступает после достижения деревьями 50 лет [5].

Оба вида обладают высококачественной древесиной, но в условиях индустриального города и лесопосадках ткани ясеня пенсильванский характеризуются недостаточной степенью упругости, что приводит к изгибам и последующему обламыванию скелетных ветвей и ствола под действием собственного веса, ветра и перепадов температур в осенне-весенний период [5]. При этом возрастная зависимость механической устойчивости ясеня обыкновенного в условиях с низкой степенью антропогенных нагрузок имеет высокие показатели [7].

При условии роста без конкуренции в незатенённых условиях деревья возрастной группы до 45–55 лет характеризуются высокими показателями жизнеспособности и не подвержены частым обломам скелетных ветвей или ствола, произрастая в непосредственной близости к автомагистралям и при действии природно-климатических

факторов [7, 14]. Редкие случаи обламывания скелетных ветвей обычно фиксируются при ледяных и снежных бурях у растений с предельным углом наклона и при воздействии на деревья вибрационных ударных волн [8, 16].

По результатам проведённых мониторинговых исследований нами были обобщены дендрометрические показатели насаждений *Fraxinus L.* (табл. 1), в которых преобладали деревья возрастной группы 30–45 лет и достигающие >10 м в высоту.

Таблица 1. Лесоводственно-таксационная характеристика насаждений *Fraxinus L.* в возрасте 30-55 лет в г. Донецке

Вид	Высота ± SD	Досн ± SD	Оценка жизнеспособности дерева ± SD
В условиях антропогенного загрязнения			
<i>Fraxinus excelsior L.</i>	10,84±1,2	0,46±0,12	2±1
<i>Fraxinus pennsylvanica Marsh</i>	11,22±1,4	0,37±0,07	3±1
В условиях относительного контроля			
<i>Fraxinus pennsylvanica Marsh</i>	13,76±1,8	0,52±0,09	3±1

В среднем жизнеспособность наиболее представленной возрастной группы на экспериментальном участке оценивалась 2–3 баллами. Деревья ясеня обыкновенного, балл жизнеспособности которых соответствовал 3 (сильно ослабленное дерево), составляли 33% деревьев вида в экспериментальной выборке, а процент сильно ослабленных деревьев ясеня пенсильванского составил 43% обследованных деревьев этого вида на экспериментальной территории. До 30% деревьев рода *Fraxinus L.*, произрастающих на пр. Ильича были ослаблены, а количество отмирающих деревьев составило 18% для каждого вида.

Показатели виталитета свидетельствуют о том, что растительные организмы подвержены сильному стрессу как в условиях антропогенного загрязнения, так и в условиях относительного контроля. На таких сильно ослабленных деревьях нами были отмечены множественные морфологические повреждения ствола и кроны на обеих мониторинговых площадках (рис. 1).

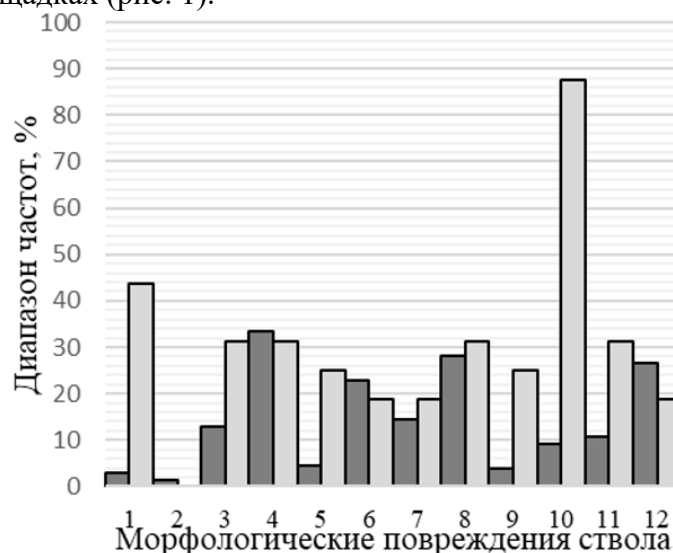


Рисунок 1 – Частота встречаемости дефектов ствола деревьев рода *Fraxinus L.*

Примечания: 1 – червоточины, 2 – многостволность, 3 – морозобойные трещины, 4 – наклон ствола, 5 – кривизна ствола, 6 – наросты, 7 – прорость, 8 – отслоение коры, 9 – ядровая гниль, 10 – сухобокость, 11 – дупло, 12 – механические повреждения.

В условиях контроля наиболее распространённым типом дефектов был порок формы ствола – сильный наклон ствола в сторону светового окна, что стало результатом

жёсткой конкуренцией в силу недостаточного расстояния между деревьями при их высадке. В условиях относительного контроля среди морфологических повреждений ствола лидировали прорости разной степени, зачастую сопровождающиеся образованием гнили и грибка, что постепенно разрушает структуру древесины, делая дерево ещё более уязвимым для проникновения вредителей и патогенных грибов (рис.2).

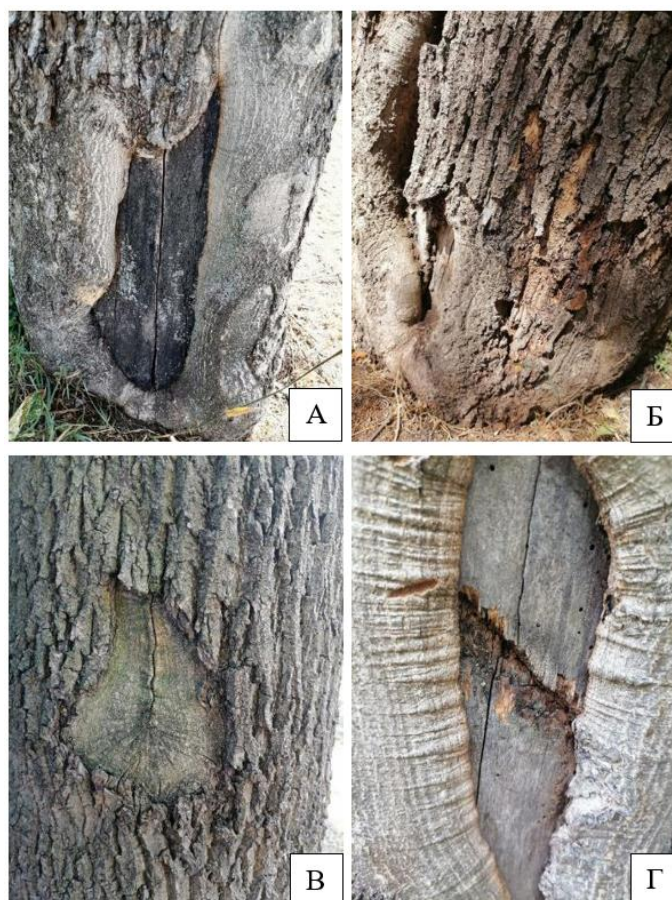


Рисунок 2 – Основные повреждения ствола деревьев рода *Fraxinus* L.

Примечания: А – сухобокость с видимой ядровой гнилью и метиковой трещиной, Б – отслоение коры, В – закрытая прорость, Г – сухобокость с морозобойными трещинами и глубокими червоточинами.

Как на экспериментальном участке, так и на территории условного контроля нами были отмечены повреждения энтомогенного характера. Которые включали в себя как повреждения листовых пластин, так и следы повреждения ствола и молодых побегов. Значительные повреждения листьев, в основном, были произведены ясеневым чёрным пилильщиком *Tomostetus nigratus* Fabricius, в то время как псевдогаллы североамериканской ясеневой тли *Prociphilus fraxinifolii* (Riley, 1879) фиксировали исключительно на *F. pennsylvanica*, что соответствует данным литературы для Юга России [11]. Также на единичных деревьях были отмечены глубокие червоточины, образованные стволовыми вредителями.

## Выводы

В результате проведенных исследований была дана эколого-морфологическая характеристика основных видов рода *Fraxinus* L. произрастающих в условиях Донецка, исследование их жизнеспособности показало, что исследуемой территории аборигенный для региона вид *F. excelsior* более устойчив к влиянию антропогенного стресса по сравнению с интродуцированным *F. pennsylvanica*. Жизнеспособность наиболее представленной возрастной группы 30–45 лет у *F. excelsior* оценивается в 2–3 балла, для *F. pennsylvanica* – 3 баллами. Кроме того, ясень пенсильванский проявляет себя как агрессивный интродуцент, внедряясь в естественные и антропогенно трансформированные ценозы, формируя протяжённые спонтанные насаждения вдоль автомагистралей. При дополнительном уходе виды-интродуценты – украшение дендрофлоры города, однако последующее их расселение и внедрение в ценозы ведёт к проникновению вместе с ними в естественные биоценозы и специализированных инвазивных насекомых-вредителей.

В связи с этим подбор пород древесных растений с целью озеленения промышленных городов должен опираться преимущественно на аборигенные виды, как наиболее приспособленные к условиям данного региона. Для повышения их механической устойчивости рекомендуется производить санитарную обрезку скелетных ветвей для предотвращения обломов, зачастую являющихся первопричиной стволовых гнилостных процессов, которые в последствии приводят к выпадению дерева.

Работа выполнена в рамках государственного задания Донецкого государственного университета «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (FRRE-2024-0018).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение, 1989. № 4. С. 51–57.
2. Жучков Д.В., Макаренко В.П. Роль зелёных насаждений в формировании комфортной городской среды // Вестник ПГУ им. Шолом-Алейхема, 2023. №3 (52).
3. Корниенко В.О. Влияние природно-климатических факторов на механическую устойчивость и аварийность деревьев березы повислой в г. Донецке / В.О. Корниенко, В.Н. Калаев // Лесоведение, 2022. № 3. С. 321-334. DOI 10.31857/S0024114822020073. EDN KDUHDW.
4. Корниенко В.О. Деревья *Populus* L. в условиях урбанизированной среды Донецка / В.О. Корниенко, В.В. Реуцкая // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона, 2025. № 1. С. 24-34. DOI 10.5281/zenodo.15005606. EDN MOGDEG.
5. Корниенко, В. О. Механическая устойчивость древесных пород и рекомендации по предотвращению их аварийности в городских насаждениях / В.О. Корниенко, В.Н. Калаев. Воронеж : Роза ветров, 2018. 92 с. ISBN 978-5-905181-21-4. EDN XUYBFR.
6. Корниенко В.О. Мониторинг состояния древесных растений центральной части города Донецка / В.О. Корниенко, Л.В. Хархота // Самарский научный вестник, 2023. Т. 12, № 2. С. 46-51. DOI 10.55355/sn2023122107. EDN BATLWA.
7. Корниенко В.О. Онтогенетические изменения механической устойчивости основных видов древесных растений в экосистемах города Донецка / В.О. Корниенко, А.С. Яицкий // Самарский научный вестник, 2024. Т. 13, № 1. С. 30-38. DOI 10.55355/sn2024131104. EDN LYEGSZ.
8. Корниенко В.О. Ретроспективный анализ антропогенного загрязнения города Донецка. Вибрационно-акустическое шумление // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки, 2024. № 1. С. 93-100. DOI: 10.5281/zenodo.12532574
9. Корниенко, В. О. Состояние деревьев *Quercus robur* L., произрастающих в различных экотопах города Донецка / В.О. Корниенко, А.О. Шкиренко, А.С. Яицкий // Самарский научный вестник, 2024. Т. 13, № 3. С. 31-38. DOI 10.55355/sn2024133105. EDN CRFRCR.
10. Корниенко В.О. Эколого-биологические особенности старовозрастных деревьев города Донецка / В.О. Корниенко // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона, 2025. № 2. С. 44-54. DOI 10.5281/zenodo.15088293. EDN PQWUJS.
11. Мартынов В.В. Современное распространение североамериканской ясеновой тли *Prociphilus (Meliarhizophagus) fraxinifolii* (Riley, 1979) (Hemiptera: Aphididae: Eriosomatinae) на Юге России / В.В. Мартынов, Т.В. Никулина // Биологическое разнообразие Кавказа и Юга России : Материалы XXII

Международной Научной Конференции, Грозный, 04–06 ноября 2020 года. Махачкала: ИП Овчинников Михаил Артурович (Типография Алеф), 2020. С. 325-328. EDN LUOFKM.

12. Сафонов А.И., Глухов А.З. Фитомониторинг в техногенно трансформированной среде: методология и практика // Экосистемы, 2021. № 28. С. 16-28.

13. Сафонов А.И. Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций // Донецк: ДонГУ, 2024. 288 с. EDN: QVJSQE

14. Анализ уязвимости древесных растений, произрастающих в условиях урбоэкосистем (на примере города Донецка) / В.О. Корниенко, А.О. Шкиренко, В.В. Реуцкая [и др.] // Самарский научный вестник, 2025. Т. 14, № 2. С. 19-29. DOI 10.55355/snv2025142103. EDN MUFKAZ.

15. Влияние новых антропогенных факторов на состояние древесных растений города Донецка / В.О. Корниенко, Р.В. Кишкань, А.С. Яицкий, А.О. Шкиренко // Самарский научный вестник, 2024. Т. 13, № 4. С. 26-32. DOI 10.55355/snv2024134104. EDN VXIKNX.

16. Лесные экосистемы Донбасса в условиях боевых действий 2014-2025 годов / В.О. Корниенко, Р.В. Кишкань, А.О. Шкиренко, А.С. Яицкий // Самарский научный вестник, 2025. Т. 14, № 3. С. 57-68. DOI 10.55355/snv2025143108. EDN DKFXUZ.

17. Современное экологическое состояние Великоанадольского леса в связи с военными действиями / В.О. Корниенко, Р.В. Кишкань, А.А. Чибилев [и др.] // Вопросы степеведения, 2025. № 2. С. 79-90. DOI 10.24412/2712-8628-2025-2-79-90. EDN PZWEEW.

18. Эколого-биологические особенности видов рода *Acer* L., произрастающих вдоль автомагистралей / В. О. Корниенко, А. О. Шкиренко, В. В. Реуцкая [и др.] // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2025. Т. 17, № 6-2. С. 494-523. DOI 10.12731/2658-6649-2025-17-6-2-1571. EDN KKGWYZ.

#### TREES OF THE GENUS *FRAXINUS* L. IN THE URBANIZED ENVIRONMENT OF DONETSK

**Annotation.** This paper presents the results of dendrological studies carried in order to assess the morphometric parameters, age structure, and condition of *Fraxinus* L. stands growing in areas with increased anthropogenic load in urban plantings of Donetsk. Based on published data, the ecological and biological characteristics of the main ash species used in landscaping in Donetsk are presented. Both in the control conditions and in the model territory, plants were in a severely weakened condition (3 points). A total of 18% of plants were in critical condition (4 points). A study of the viability of *Fraxinus* L. stands showed that the native species *F. excelsior* is more resistant to anthropogenic stress compared to the introduced *F. pennsylvanica*.

**Keywords:** common ash, viability of woody plants, forest cultivation, Donbass.

#### Dzhantimirova A.A.

Scientific adviser: Kornienko V.O. Ph.D. in Biological science, associate professor Donetsk State University

E-mail: [a.djantimirova@mail.ru](mailto:a.djantimirova@mail.ru)

УДК 581:911.52 (477.60)

## ЛАНДШАФТНО-ИНДИКАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ В ДОНБАССЕ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ

*Еременко Л.А.*

*Научный руководитель: Сафонов А.И., канд. биол. наук, зав. кафедрой  
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

*Аннотация.* Проведена обработка графического материала для получения новых сведений и статистического учета существующей информации по грациям разных уровней полемостресса для экотопов Центрального Донбасса. Установлено, что системы бelligеративных ландшафтов находятся в состоянии продолжающейся трансформации и по существующим визуальным тенденциям такая тенденция сохранится в ближайшие 3 года. Визуализация данных проведена для картографического материала и графика значений линии, соединяющей крайние точки визуализированного объекта при оценке состояния экосистем.

*Ключевые слова:* картосхемы, фитоиндикация, Донбасс, экологический мониторинг, полемостресс.

ГИС-технологии, включая моделирование и адаптацию иллюстративного картографического материала, являются неотъемлемой частью экологических разработок [1; 2], актуализированных для природных и урбано-техногенных систем [3; 4] таким образом, что позволяют целенаправленно соединять результаты работы ученых с возможностью предоставления информации для управленцев и реализации в социальных сферах с целью коррекции экологической информации [5]. Для территории и экосистем Донбасса такие разработки востребованы, поскольку природные экотопы находятся в сложном состоянии глубокой трансформации [6], в том числе по причине ведения военных процессов [7] и отсутствия хозяйственного регулирования уязвимых экосистем, которые в условиях степной зоны требуют корректировки со стороны человека [7-9] для поддержания проводных балансов и естественных циклов с целью сохранения возможности рационального природопользования [10] и своевременной качественной оценки состояния ранее сформированных геосистем [11; 12].

Цель работы – на основании уже имеющегося картографического материала о состоянии природных и природно-антропогенных систем Центрального Донбасса провести аналитический контроль и реализовать статистический учет с прогнозным моделированием основных параметров экотопов для их возможной более детальной визуализации и детализации существующих процессов полемостресса на юге Восточной Европы.

В качестве базовой информации о состоянии экосистем были использованы актуальные картографические материалы донецких ученых [13; 14] как результат долгосрочное научного сотрудничества Донецкого государственного университета [15] и Донецкого национального технического университета [16; 17]. Эти разработки также являются частью большой комплексной программы, которая реализуется коллективом студентов и аспирантов кафедры ботаники и экологии биологического факультета ДонГУ [18; 19]. В системе изучения ландшафтов современного Донбасса [20; 21] понятие закономерностей развития живой природы в условиях меняющихся параметров неживой природы [22] использовали наработки маршрутно-экологического профилирования и целевого сбора материала для экологического мониторинга [23; 24]. Представляемые результаты работы актуализированы для возможного проведения обязательных санационных и восстановительных работ (ремедиация) для нарушенных экотопов в результате военных событий или мест интенсивного хозяйственного использования, в том числе по категориям накопленного вреда в Донецкой Народной Республике [25].

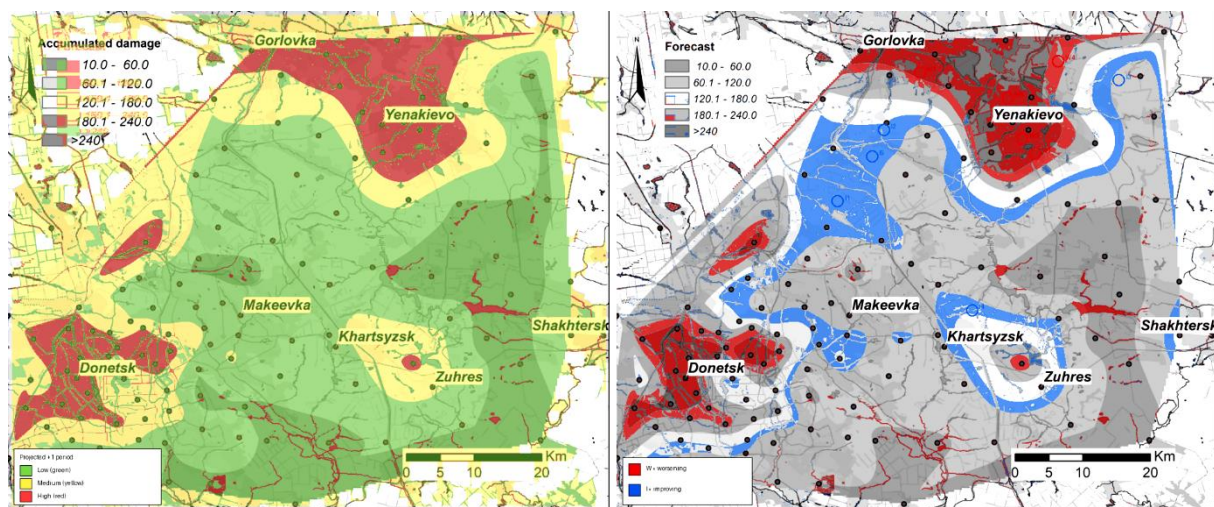
Работа реализована в рамках подготовки магистерской диссертации и для внедрения таких разработок в учебный и научный процесс студентов-магистров,

например, при изучении дисциплин Экологический мониторинг, Нормирование антропогенной нагрузки и снижение загрязнения окружающей среды, Современные проблемы экологии и глобальные экологические проблемы. Такие сведения краеведческого содержания представляют интерес и для экологических аналитиков, управленцев, принимающих решения о восстановительных работах и распределении ресурсов для их выполнения. Используются картографические материалы, обобщающие экологическую обстановку в Донбассе на 2023 и 2024 годы.

Провели сопоставление карты Forecast, исходные данные и карты Accumulated damage, последующее состояние, выделение зон ухудшения/улучшения, построение карты 3 (правая часть рис. 1) тенденции изменений, профиля (графика) по линии между крайними точками, а также оценка долей площадей зелёной/жёлтой/красной заливки.

#### Вычисление распределения оттенков HSV

```
import colorsys, numpy as np
def rgb_to_hsv_arr(arr):
    rgb = arr[...,:3].astype(np.float32)/255.0
    r,g,b = rgb[...,:0], rgb[...,:1], rgb[...,:2]
    mx = np.max(rgb, axis=-1)
    mn = np.min(rgb, axis=-1)
    diff = mx - mn
    # hue
    h = np.zeros_like(mx)
    # avoid division by zero
    mask = diff != 0
    # compute
    # where mx==r
    idx = (mx==r) & mask
    h[idx] = ( (g[idx]-b[idx]) / diff[idx] ) % 6
    # where mx==g
    idx = (mx==g) & mask
    h[idx] = ( (b[idx]-r[idx]) / diff[idx] ) + 2
    # where mx==b
    idx = (mx==b) & mask
    h[idx] = ( (r[idx]-g[idx]) / diff[idx] ) + 4
    h = h/6.0
    # 0-1 # saturation
    s = np.zeros_like(mx)
    s[mx!=0] = diff[mx!=0] / mx[mx!=0]
    v = mx
    return h,s,v
# subsample
sub = arr1[::4,::4,:]
h1,s1,v1 = rgb_to_hsv_arr(sub)
h2,s2,v2 = rgb_to_hsv_arr(arr2[::4,::4,:])
(h1.min(), h1.max(), s1.mean(), v1.mean())
(0.0, 0.99907404, 0.4848068, 0.8688213)
```



#### Обработка карты изменений и прогнозирование на будущие годы

```
from PIL import Image, ImageEnhance, ImageOps, ImageDraw, ImageFont
import numpy as np, os, math, pandas as pd, matplotlib.pyplot as plt
img1 = Image.open('/mnt/data/1.png').convert('RGBA')
img2 = Image.open('/mnt/data/2.png').convert('RGBA')
img1.size, img2.size
Matplotlib is building the font cache; this may take a moment.
((2048, 1701), (2048, 1701))
```

Рис. 1. Анализ накопленного вреда по методу вычисления полевостресса и прогноз ситуации на ближайшие 3 года (3-4 вегетационных сезона).

Мы специально выбрали наиболее иллюстративно доступную графику, чтобы отработать механизм аналитического понимания ситуации и возможности доступных программных систем для получения нового визуализированного продукта (карты или графика) и сведения статистической разницы в установлении тенденции и прогноза ситуации.

Из каждой карты выделена область заливки (основной полигон), далее выполнена классификация пикселей по легенде. Для сопоставления сведено к 3 классам: Зелёный (низкий уровень): обе зелёные градации. Жёлтый (средний уровень): жёлтый + (для карты 1) оранжевый диапазон. Красный (высокий уровень): красный + (для карты 2) фиолетовый (>240). Проценты считались в общей области покрытия (пересечение зон заливки обеих карт). Доли площади зелёной/жёлтой/красной заливки и отличие карт  
Процент площади по классам (в пределах общей зоны заливки):

Карта	Зелёная, %	Жёлтая, %	Красная, %
Карта 1	53.18	44.66	2.16
Карта 2	65.61	22.15	12.25
Разница (K2 – K1), п.п.	+12.43	–22.51	+10.09

Интерпретация полученного материала. Красная зона существенно выросла: +10.09 п.п. (примерно в 5–6 раз по доле площади). Жёлтая зона заметно сократилась: –22.51 п.п. Зелёная зона увеличилась: +12.43 п.п. То есть часть “средних” территорий (жёлтых/оранжевых) перераспределилась в две стороны: часть улучшилась до зелёной, часть ухудшилась до красной.

В техническом исполнении было установлено, что система интеллектуального расчета перестроилась в решении, какая из карт является начальным продуктом информации, а какая информация – продолжением накопленного пула данных. Хотя этот вопрос нуждается в корректировке системы аналитики в ручном режиме перепроверки, поскольку учебная и информация – это один уровень ответственности за результаты, а если эта информация рекомендована для использования в исполнительных органах государственной власти ДНР, то степень ответственности возрастает в разы.

Дополнительно (по пиксельному переходу классов): ухудшилось: ~10.44% площади, улучшилось: ~13.20% площади, без изменения класса: ~76.37% площади.

По городам (средний класс в окрестности подписи, радиусная оценка), (класс: 1=зелёный, 2=жёлтый, 3=красный): Yenakievo: 2.06 → 2.60 (ухудшение +0.54), Gorlovka: 1.89 → 2.30 (ухудшение +0.41), Shakhtersk: 1.19 → 1.21 (почти без изменений), Makeevka: 1.24 → 1.03 (улучшение –0.20), Khartsyzsk: 1.22 → 1.05 (улучшение –0.17), Zuhres: 1.34 → 1.20 (улучшение –0.13), Donetsk: 1.88 → 1.77 (небольшое улучшение –0.12).

Ключевые тенденции: ухудшение концентрируется на севере/северо-востоке, особенно в районе Gorlovka–Yenakievo (усиление/расширение высоких значений), улучшение выражено в центральной части, включая районы вокруг Makeevka и Khartsyzsk, а также отдельные участки севернее/восточнее Yenakievo.

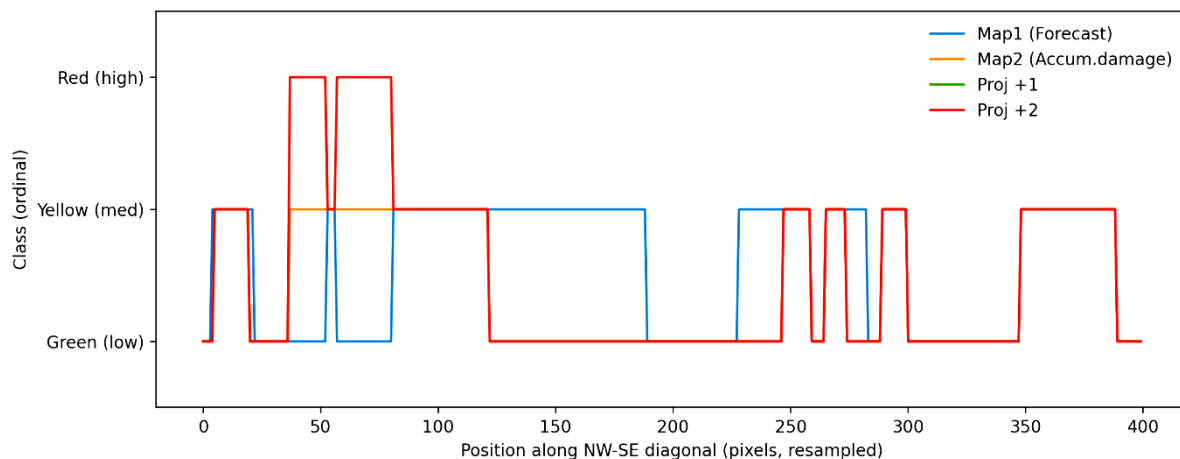
Краткое резюме тенденций: 1) в целом «средняя» зона (жёлтая) сжимается, перераспределяясь в зелёную и красную; 2) основное ухудшение локализовано в северном секторе, особенно Gorlovka–Yenakievo, где растут/уплотняются высокие значения; 3) улучшение заметно в центральной части (районы Makeevka–Khartsyzsk) и точно на юге/юго-востоке.

Для выполнения отдельной задачи по профилированию картографической информации было сформулировано рабочее задание – соединить единой прямой максимально отстоящие друг от друга точки картографического материала и сделать визуализированный ряд, описать технологию получения такой информации с выведением основных обязательных процедур программного обеспечения такой системы получения новых сведений и последующего представления их в качестве иллюстративной модели.

График значений по линии между крайними точками. Построен профиль классов вдоль диагонали СЗ → ЮВ внутри основной зоны заливки (это и есть «соединение крайних точек» области), материал представлен на рис. 2.

## Применение морфологического замыкания для выделения компонента

```
mask_poly = ndi.binary_closing(overlay_fore, structure=np.ones((15,15)))
lab,n = ndi.label(mask_poly) areas = ndi.sum(mask_poly, lab,
index=range(1,n+1)) largest = (lab == (np.argmax(areas)+1)) ys,xs =
np.where(largest) bbox_poly = (xs.min(), ys.min(), xs.max(), ys.max())
bbox_poly, largest.mean()
((7, 7, 1016, 842), 0.8379434742647058)
```



## Вычисление значений вдоль линии в маске

```
def sample_line(sev, mask, p0, p1, n=300): x0,y0 = p0; x1,y1 = p1 xs =
np.linspace(x0,x1,n).round().astype(int) ys =
np.linspace(y0,y1,n).round().astype(int) vals=[] for x,y in zip(xs,ys): if
0<=y<sev.shape[0] and 0<=x<sev.shape[1] and mask[y,x]: vals.append(sev[y,x])
else: vals.append(np.nan) return np.array(vals), xs, ys p0=(bbox_poly[0],
bbox_poly[1]) p1=(bbox_poly[2], bbox_poly[3]) line1, xs_line, ys_line =
sample_line(sev1, largest, p0, p1, n=400) line2,_,_ = sample_line(sev2,
largest, p0, p1, n=400) np.nanmean(line1), np.nanmean(line2),
np.nan to num(line1).max(), np.nan to num(line2).max()
(1.6018808777429467, 1.3605015673981191, 3.0, 3.0)
```

## Вычисление проекций карт по пикселям

```
future1 = np.clip(sev2 + delta, 1, 3) future2 = np.clip(future1 + delta, 1,
3) # apply again # sample line for future maps linef1,_,_ =
sample_line(future1, largest, p0, p1, n=400) linef2,_,_ =
sample_line(future2, largest, p0, p1, n=400) np.nanmean(linef1),
np.nanmean(linef2)
(1.4043887147335423, 1.4043887147335423)
```

Рис. 2. Графическая интерплантация процессов полевостресса в условиях бelligеративных и природных ландшафтов Центрального Донбасса

Были составлены детализированные ряды программных моанирующей для этапной работы с карографическим маэтриалом (рис. 3), поскольку целевая задача ландшафтного профилирования и визуализации – это ранжирование территории и(или) получения аналитических (статистических с возможностью получения выводов) сведений для полнимания ситуации или рассмотрения её в таком ракурсе, который не был использован в первичном предоставлени такой информации в научной литературе или краеведческих атласах о современной ситуации в Донецко Народной Республике по параметрам экологическоо благополучия и критериям фитомонитооринга факторов стресса от военных событий.

### Создание карты тенденций изменений

```
from PIL import Image, ImageOps, ImageDraw, ImageFont # create base grayscale
base = ImageOps.grayscale(small_fore).convert('RGB') w,h = base.size # create
overlay for trend overlay = Image.new('RGBA', base.size, (0,0,0,0)) ov_arr =
np.array(overlay) # Colors worse_color1 = np.array([220,0,0,160],
dtype=np.uint8) better_color1 = np.array([0,90,220,160], dtype=np.uint8) #
magnitude ov_arr[worse] = worse_color1 ov_arr[better] = better_color1 overlay
= Image.fromarray(ov_arr, mode='RGBA') map3 =
Image.alpha_composite(base.convert('RGBA'), overlay) # annotate clusters draw
= ImageDraw.Draw(map3) font = ImageFont.load_default() def draw
/tmp/ipykernel_232/3618724299.py:16: DeprecationWarning: 'mode' parameter is deprecated and will
be removed in Pillow 13 (2026-10-15)
    overlay = Image.fromarray(ov_arr, mode='RGBA')
'/mnt/data/map3_trends.png'
```

### Оценка кластерных изменений и тенденций

```
def cluster_summary(clusters, kind, total_area=study.sum()): rows=[] for i,c
in enumerate(clusters, start=1): city, dist = nearest_city(c['centroid'])
dirn = direction_from_to(cities[city], c['centroid']) rows.append({'ID':
f"{kind}{i}", 'Nearest city': city, 'Relative position': dirn, 'Area (px)':
c['area'], 'Area (% of study)': round(c['area']/total_area*100,2) }) return
pd.DataFrame(rows) w_df = cluster_summary(w_clusters[:5], 'W') b_df =
cluster_summary(b_clusters[:5], 'I') w_df, b_df
```

ID	Nearest city	Relative position	Area (px)	Area (% of study)	
0	W1	Yenakievo	южнее и восточнее	5190	0.92
1	W2	Gorlovka	южнее	4920	0.88
2	W3	Yenakievo	южнее и восточнее	2848	0.51
3	W4	Yenakievo	севернее и восточнее	2517	0.45
4	W5	Yenakievo	вблизи	2065	0.37

ID	Nearest city	Relative position	Area (px)	Area (% of study)	
0	I1	Makeevka	севернее и западнее	17727	3.16
1	I2	Gorlovka	южнее и западнее	4417	0.79
2	I3	Yenakievo	севернее и восточнее	4292	0.76
3	I4	Khartsyzsk	южнее	4095	0.73
4	I5	Makeevka	севернее	2726	0.49

### Оценка изменений по городским районам

#### Оценка средней степени изменения по городам

```
def city_stats(city_xy, radius=60): cx,cy = city_xy yy,xx =
np.ogrid[:sev1.shape[0], :sev1.shape[1]] dist2 = (xx-cx)**2+(yy-cy)**2 mask =
(dist2<=radius**2) & largest if mask.sum()==0: return None m1 =
np.mean(sev1[mask]) m2 = np.mean(sev2[mask]) return m1,m2, m2-m1, mask.sum()
city_rows=[] for name,xy in cities.items(): res = city_stats(xy, radius=70)
if res: m1,m2,dm,area = res city_rows.append({'City':name, 'Mean class
Map1':round(m1,2), 'Mean class Map2':round(m2,2), 'Delta':round(dm,2)})
pd.DataFrame(city_rows).sort_values('Delta', ascending=False)
```

City	Mean class Map1	Mean class Map2	Delta	
4	Yenakievo	2.06	2.60	0.54
5	Gorlovka	1.89	2.30	0.41
6	Shakhtersk	1.19	1.21	0.02
0	Donetsk	1.88	1.77	-0.12
3	Zuhres	1.34	1.20	-0.13
2	Khartsyzsk	1.22	1.05	-0.17
1	Makeevka	1.24	1.03	-0.20

Рис. 3. Детализированные этапы программного обеспечения в анализе картографического материала и при получении нового продукта визуализированного контента экологических сведений в Донбассе

Таким образом, проведена обработка графического материала для получения новых сведений и статистического учета существующей информации по градациям разных уровней полемостресса для экотопов Центрального Донбасса. Установлено, что системы беллигеративных ландшафтов находятся в состоянии продолжающейся трансформации и по существующим визуальным тенденциям такая тенденция сохранится в ближайшие 3 года. Прогнозный сценарий в таком случае опирается только

на существующие тенденции за предыдущий такой же отрезок времени, но нужно обязательно учитывать возможность развития процессов в тех направлениях, которые ранее не проявлялись, что в условиях военного конфликта возможно с высокой долей вероятности.

Комментарии по полученным статистическим данным могут быть уместными при повторном проведении таких исследований с интервалом в 1-2 года, чтобы нивелировать возможные погрешности и(или) детализировать ряд используемых фитоиндикаторов. Возможно, что в ближайшее время (при государственном контроле экологической ситуации в России) информация об экологических процессах на территории Центрального Донбасса будет более детализированной, однако в задачи нашего исследования входило решение узкоспециальной задачи, показывающей, что проблема трансформации ландшафтов, в том числе бelligеративного типа, существует и нуждается в оптимизации и проведении дальнейших ремедиационных работ. Сведения об изменяющихся условиях среды детализированы в иллюстративном материале, однако предпочтительно их рассматривать как учебно-тренировочный этап для дальнейших экологических исследований подобного назначения и реализации на изучаемой территории.

Визуализация данных проведена для картографического материала и графика значений линии, соединяющей крайние точки визуализированного объекта при оценке состояния экосистем. В работе важно было отработать механизм обработки данных и получить сведения, полезные для, например, муниципалитетов, чтобы обрисовать экологические тенденции в городах и районах Донецкой Народной Республики.

*Исследование выполнено в рамках темы «Диагностика и оптимизация бelligеративных экотопов Донбасса методами биомониторинга и фиторемедиации».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Епринцев С.А. Изучение параметров качества окружающей среды урбанизированных территорий в условиях повышенной антропогенной нагрузки / С.А. Епринцев, С.В. Шекоян // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – Т. 10, № 2. – С. 520-525. – EDN WBLPMX.
2. Куролап С.А. Экологическая экспертиза и оценка риска здоровью : (учебно-методическое пособие для вузов). – Воронеж : Научная книга, 2012. – 108 с. – ISBN 978-5-98222-766-9. – EDN QMBOOKV.
3. Куролап С.А. Типизация территории Воронежской области по уровню техногенного воздействия на среду обитания // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2010. – № 1. – С. 5-11. – EDN GKCHTF.
4. Епринцев С.А. Оценка экологического риска урбанизированных территорий с использованием ГИС-технологий // Экологические системы и приборы. – 2009. – № 2. – С. 3-8. – EDN KVJXZ.
5. Заболеваемость населения регионов России как критерий социально-гигиенической безопасности территории / Ю.И. Степкин, О.В. Клепиков, С.А. Епринцев // Вестник новых медицинских технологий. – 2020. – № 6. – С. 94-99. – DOI 10.24411/2075-4094-2020-16773. – EDN KFTSZY.
6. Экологическое состояние устьевых участков рек акватории Азовского моря на территории Донецкой Народной Республики / Н.В. Алексеева, П.Б. Должанов, А.В. Шебалков, В.О. Корниенко // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2025. – № 5. – С. 58-73. – DOI 10.5281/zenodo.17950987. – EDN IHTZMB.
7. Лесные экосистемы Донбасса в условиях боевых действий 2014-2025 годов / В.О. Корниенко, Р.В. Кишкань, А.О. Шкиренко, А.С. Яицкий // Самарский научный вестник. – 2025. – Т. 14, № 3. – С. 57-68. – DOI 10.55355/sn2025143108. – EDN DKFXUZ.
8. Шкиренко А.О. Вибрационно-акустическое шумление как экологический фактор в городе Донецке // Вестник студенческого научного общества ФГБОУ ВО "Донецкий государственный университет". – 2025. – Т. 1, № 17. – С. 109-115. – EDN QMLFUE.
9. Реуцкая В.В. Влияние антропогенных факторов на состояние древесных растений в промышленных городах // Вестник студенческого научного общества ФГБОУ ВО "Донецкий государственный университет". – 2025. – Т. 1, № 17. – С. 70-75. – EDN QMGDYP.
10. Evaluating the Vitality of Introduced Woody Plant Species in the Donetsk–Makeyevka Urban Agglomeration / V. Kornienko, I. Pirko, B. Meskhi [et al.] // Plants. – 2025. – Vol. 14, No. 20. – DOI 10.3390/plants14203160. – EDN KGKAD.

11. Современное экологическое состояние Великоанадольского леса в связи с военными действиями / В.О. Корниенко, Р.В. Кишкань, А.А. Чибилев [и др.] // Вопросы степеведения. – 2025. – № 2. – С. 79-90. – DOI 10.24412/2712-8628-2025-2-79-90. – EDN PZWEEW.
12. Влияние новых антропогенных факторов на состояние древесных растений города Донецка / В.О. Корниенко, Р.В. Кишкань, А.С. Яицкий, А.О. Шкиренко // Самарский научный вестник. – 2024. – Т. 13, № 4. – С. 26-32. – DOI 10.55355/snvt2024134104. – EDN BXIKNX.
13. Гермонова Е.А. Прогнозный сценарий фактора полемостресса в Донбассе на основании фитомониторинга // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2025. – № 2. – С. 21-29. – DOI 10.5281/zenodo.15082154. – EDN BSMALQ.
14. Сафонов А.И. Краткосрочный прогноз фактора полемостресса в Донбассе на 2025-2027 годы / А.И. Сафонов, Е.А. Гермонова // Экология родного края: проблемы и пути их решения. – Киров: Вятский государственный университет, 2025. – С. 297-301. – EDN PCSYCY.
15. Сафонов А.И. Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций. – Донецк: Издательский дом «ЭДИТ», 2024. – 289 с. – ISBN 978-5-605-24266-6. – EDN QVJSQE.
16. Сафонов А.И. Экологический мониторинг в Донбассе: ГИС-технологии фитоквантификации // География, экология, туризм: новые горизонты исследований. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2024. – С. 203-205. – EDN RABURS.
17. Гермонова Е.А. Детализация результатов фитомониторинга полемостресса в Донбассе с использованием ГИС-технологий // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2024. – № 1. – С. 8-14. – EDN KESXAO.
18. Еременко Л.А. Работа СНО кафедры ботаники и экологии ДонГУ для ландшафтного фитоиндикационного картографирования // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет". – 2024. – Т. 1, № 16. – С. 81-85. – EDN TRSHOP.
19. Зусарь К.Д. Пример расшифровки ландшафтного профиля фитоиндикационного назначения // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет". – 2024. – Т. 1, № 16. – С. 91-95. – EDN VBJWRH.
20. Сафонов А.И. Дифференциация фитопатогенности белигеративных ландшафтов Донбасса и полемостресса // Космос и биосфера. – Симферополь: Ариал, 2025. – С. 104-106. – EDN DAYROZ.
21. Сафонов Р.А. Физико-географические и геометрические закономерности в палиноиндикации городской среды // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. – Киров: Вятский государственный университет, 2024. – С. 76-80. – EDN JNRWUA.
22. Магнитное поведение магнитокалорического сплава NiMn<sub>0,89</sub>Cr<sub>0,11</sub>Ge под давлением / Р.А. Сафонов, И.Ф. Грибанов, О.Е. Ковалев, Н.Ю. Нырков // Донецкие чтения - 2025: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. – Донецк: ДонГУ, 2025. – С. 133-135. – EDN BTTSYZ.
23. Сафонов Р.А. Корректировка локальных маршрутов для экологического фитомониторинга в Донецке // Вестник студенческого научного общества ФГБОУ ВО "Донецкий государственный университет". – 2025. – Т. 1, № 17. – С. 76-80. – EDN EMKVTZ.
24. Сафонов Р.А. Разработка маршрутов сбора образцов для экологической фитодиагностики урбоэкологической системы // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2024. – № 3. – С. 38-44. – DOI 10.5281/zenodo.14532148. – EDN KFZQNX.
25. Калинина Ю.С. Фитооптимизация техногенных ландшафтов в Донбассе на примере отвалов угольных шахт // География, экология, туризм: новые горизонты исследований. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2024. – С. 41-43. – EDN WQEFUE.

#### LANDSCAPE-INDICATION MONITORING IN DONBAS FOR DATA VISUALIZATION

**Annotation.** Graphic material was processed to obtain new information and statistically account for existing data on gradations of different levels of polemostress for ecotopes in Central Donbass. It was established that beligerative landscape systems are in a state of ongoing transformation, and based on existing visual trends, this trend will continue over the next three years. Data visualization was performed on cartographic material and a graph of the line values connecting the extreme points of the visualized object when assessing ecosystem status.

**Keywords:** maps, phytoindication, Donbass, environmental monitoring, polemostress.

**Eremenko L.A.**

Scientific adviser: Safonov A.I. Ph.D., Head of the Department of Botany and Ecology  
Donetsk State University  
E-mail: [kf.botan@donnu.ru](mailto:kf.botan@donnu.ru)

УДК 58.15:911.52 (477.60)

## АНАЛИЗ ГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ ФИТОМОНИТОРИНГА В ДИНАМИКЕ ПОЛЕМОСТРЕССА

*Зусарь К.Д., Габараев Б.А.*

*Научный руководитель: Сафонов А.И., канд. биол. наук, зав. кафедрой  
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

*Аннотация.* Проведена дополнительная обработка графиков, показывающих динамику линий факторов полемостресса или трансформации фитоиндикаторов в зависимости от перемещения по ландшафтному профилю, соединяющему позиции крайних точек мониторинговой сети для установления тенденций трансформации экосистем в зависимости от равноудаления от зоны военного конфликта. Учет диффузных колебаний фактора полемостресса важен для детализации процесса трансформации растительных организмов, характеризующихся высоким уровнем чувствительности к изменениям антропо-техногенного и милитаризационного характеров.

*Ключевые слова:* фитоиндикация, Донбасс, экологический мониторинг, полемостресс.

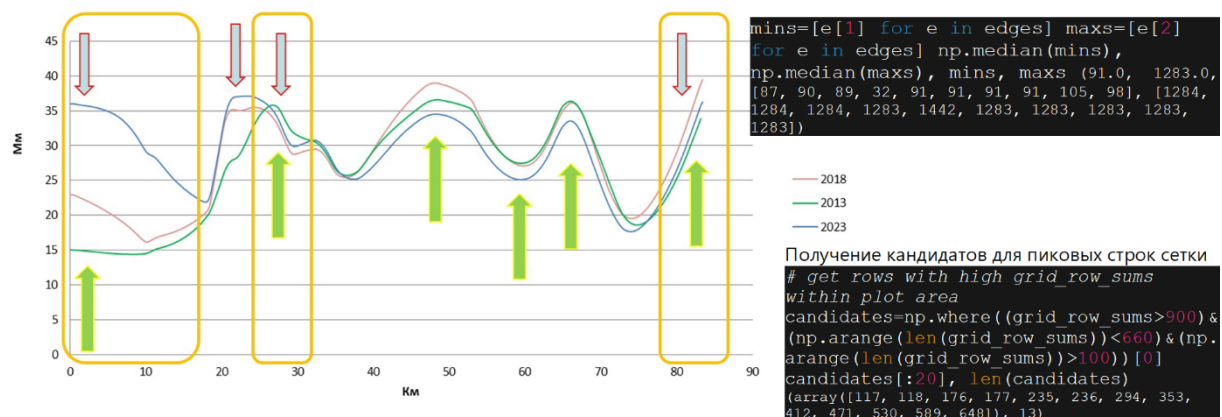
Современные условия донецкого региона характеризуются существенным угнетением природных систем, поскольку процессы интенсифицируются в связи с ведением боевых действий [1; 2], что отражается на многих процессах природно-климатического цикла региона [3]. За годы военного противостояния в Донбассе донецкими учеными был собран и опубликован большой массив данных, характеризующих закономерности изменения растительного покрова, в частности, макромаркерные показатели растений-индикаторов [4-8], – это обстоятельство использовано как ресурс информационного поля для проведения более детальных исследовательских задач в понимании закономерностей динамики таких трансформаций, поэтому и была инициирована настоящая работа.

Цель работы – провести дополнительный анализ и статистическую обработку графиков, показывающих динамику линий факторов полемостресса или трансформации фитоиндикаторов в зависимости от перемещения по ландшафтному профилю, соединяющему позиции крайних точек мониторинговой сети для установления тенденций трансформации экосистем в зависимости от равноудаления от зоны военного конфликта.

Подходы в реализации программы экологического мониторинга в значительной степени уже апробированы для территории Донбасса и основываются на получении статистической разницы между изучаемыми параметрами, если они принадлежат разным биотопам, получены первичные базы данных для реализации такой работы в регионе [9-11]. Полемостресс как совокупность реакций растений на действие факторов военных событий в значительной степени уже идентифицирован [12–14]. Также многие разработки реализуются в рамках современной молодежной лаборатории ДонГУ и касаются диагностики экологических факторов нестабильных геоклиматических условиях Донбасса [15-18]. Закономерности трансформации систем наблюдаются также в системе функционирования элементов неживой природы, ландшафтных комплексов [19; 20], при этом система анализа графического материала является во многом универсальной в научном подходе [21]. В работе также использованы сведения о состоянии растительных объектов в регионе для перспективных работ по дальнейшему восстановлению нарушенных техногенезом и военными событиями экосистем [22; 23]. Целесообразность использования конкретных статистических методов установлена на основании имеющихся публикаций по примерам для экологического мониторинга Донбасса [24; 25].

Целевая задача запланированного эксперимента – проанализировать график с тремя линиями: 2018 (красная/розовая), 2013 (зеленая) и 2023 (синяя), рисунок 1. Ось X

от 0 до 90, ось Y от 0 до 45, нужно определить максимумы, минимумы, зависимость между годами и точки пересечения кривых. График детализирован по полученным данным с помощью Python и инструментов анализа.



Маппинг вертикальных и горизонтальных линий сетки

```

plot_rows=slice(110,650) gridpix_plot=gridpix[plot_rows,:]
grid_col_sums=gridpix_plot.sum(axis=0)
topc=np.argsort(grid_col_sums)[-20:][::-1] topc[:20],
grid_col_sums[topc[:20]][:20]
(array([129, 1169, 105, 98, 91, 100, 95, 104, 107, 99, 101,
97, 106, 103, 94, 1426, 102, 92, 89, 1420]),
array([500, 91, 51, 47, 43, 41, 36, 36, 32, 32, 32, 32, 31,
31, 28, 23, 23, 22, 22, 221]))
    
```

Рис. 1. Начальный этап анализа и детализации графического материала

Предложено, что колонка 99 в представленном изображении соответствует оси Y, а строка 682 – оси X. Проверим это: с учётом сдвигов  $x\_offset=160$  и  $y\_offset=120$ , для оси Y получится  $x=259$ , а для оси X –  $y=802$ . Нужно уточнить, где начинается ось внизу (около 650). Строки 682 и 669 имеют высокое значение, возможно, это линии оси X и метки. Нужно проверить, как выглядит обрезанное изображение в этих районах и отобразить горизонтальную линию для лучшей визуализации. Это поможет точнее определить расположение оси X и меток. Сеточные линии на графике расположены от примерно колонки 91 до 1283. Это соответствует ширине области графика, где  $x$  значения варьируются от 0 до 90. Используя метки, предположено, что координата  $x=99$  соответствует начальной точке. Анализ цветов линий и пороги Hue – использован алгоритм для каждой колонки: выбраны пиксель с цветом, ближайшим к ожидаемому цвету линии. Это реализовано через динамическое программирование, с учетом ручного анализа для набора данных. Определены цвета линий в RGB и переведены в HSV для обработки с порогами. В работе использованы маски для красных стрелок, основываясь на оттенке 0 с высокой насыщенностью, но стрелки могут находиться сверху или снизу, что может привести к помехам. Чтобы избежать этого, использовали отслеживание линий с помощью детекции краев и динамического программирования, чтобы игнорировать стрелки и отслеживать линии. Применили динамическое программирование, где для каждого столбца определили кандидатов по  $y$ . Отслежили лучший результат для каждого кандидата, но количество вариантов ограничено. Использовали жадный метод с плавным переходом: начали с медианы для первого столбца и затем выбирали ближайший кандидат для следующего столбца.

На рисунках 2 и 3 представлены этапы отчетного анализа по детализации имеющегося графического материала о полемострессе в Донбассе в эквиваленте 2018 и 2023 годов по сравнению с 2013, это является принципиальной позицией – были ли обнаружены подобные реакции до 2013 года, или это новые характеристики, связанные прямо или косвенно с начавшимися военными действиями.

## Вычисление минимальных и максимальных значений для гридлиний

```
grid_rows=[118,176,235,294,353,412,471,530,589,648] edges=[] for r
in grid_rows: cols=np.where(gridpix[r,:])[0] edges.append((r,
cols.min(), cols.max(), len(cols))) edges[:5], edges[-1]
([(118, 87, 1284, 1039), (176, 90, 1284, 1037), (235, 89, 1284, 986),
(294, 32, 1283, 955), (353, 91, 1442, 952)], (648, 98, 1283, 1109))
```

## Вычисление медианы минимальных и максимальных значений

```
mins=[e[1] for e in edges] maxs=[e[2] for e in edges]
np.median(mins), np.median(maxs), mins, maxs (91.0, 1283.0, [87, 90, 89,
32, 91, 91, 91, 91, 105, 98], [1284, 1284, 1284, 1283, 1442, 1283, 1283, 1283, 1283,
1283])
```

## Группировка последовательных строк в кластеры

```
# cluster consecutive candidates clusters=[] start=candidates[0]
prev=candidates[0] for r in candidates[1:]: if r==prev+1: prev=r
else: clusters.append((start,prev)) start=r; prev=r
clusters.append((start,prev)) clusters
[(117, 118), (176, 177), (235, 236), (294, 294), (353, 353), (412, 412),
(471, 471), (530, 530), (589, 589), (648, 648)]
```

## Вычисление индексных строк для координат

```
row_top=117.5; row_bottom=648 def mm_to_row(mm): return
int(round(row_bottom - (mm/45)*(row_bottom-row_top))) def
row_to_mm(row): return (row_bottom - row)/(row_bottom-row_top)*45
def km_to_col(km): return int(round((km/90)*(x_right-x_left))) def
col_to_km(col): return col/(x_right-x_left)*90 mm_to_row(36),
mm_to_row(15), mm_to_row(23)
(224, 471, 377)
```

## Исправление функции для возврата двух значений

```
import cv2, numpy as np def find_rep(x_range, y_center,
y_radius=30): xs=np.arange(x_range[0], x_range[1])
ys=np.arange(max(0,y_center-y_radius), min(crop.shape[0],
y_center+y_radius)) region=crop[np.ix_(ys,xs)]
hsv=cv2.cvtColor(region, cv2.COLOR_RGB2HSV)
s=hsv[:, :, 1].astype(np.int32) idx=np.unravel_index(np.argmax(s,
s.shape) y=int(ys[idx[0]]); x=int(xs[idx[1]]) return x,y,crop[y,x],
hsv[idx] for mm, name in [(36, 'blue'), (15, 'green'), (23, 'pink')]:
x,y,rgb,hsv=find_rep((99,300), mm_to_row(mm), 40) print(name,
"x,y", x,y, "rgb", rgb, "hsv", hsv)
blue x,y 117 184 rgb [255 193 0] hsv [ 23 255 255]
green x,y 117 431 rgb [255 193 0] hsv [ 23 255 255]
pink x,y 117 337 rgb [255 193 0] hsv [ 23 255 255]
```

## Извлечение линии по маске

```
import numpy as np, cv2, pandas as pd, math
plot_box=crop[y_top:y_bottom+1, x_left:x_right+1] # RGB
hsv=cv2.cvtColor(plot_box, cv2.COLOR_RGB2HSV) h,s,v=cv2.split(hsv)
def extract_line(mask): # mask: boolean [rows, cols]
nrows,ncols=mask.shape y=np.full(ncols, np.nan) # find first col
with candidates prev=None for c in range(ncols):
ys=np.where(mask[:,c])[0] if ys.size==0: continue if prev is None: #
choose median prev=float(np.median(ys)) y[c]=prev else: # choose
closest to prev idx=np.argmin(np.abs(ys-prev
```

## Вычисление экстремумов для извлечённых кривых

```
def find_extrema(kms, mms): max_idx=np.argmax(mms)
min_idx=np.argmin(mms) return (mms[max_idx], kms[max_idx]),
(mms[min_idx], kms[min_idx]) ext_blue=find_extrema(kms, mm_blue)
ext_green=find_extrema(kms, mm_green) ext_pink=find_extrema(kms,
mm_pink) ext_blue, ext_green, ext_pink
((36.98397737983035, 23.6402027027027), (17.813383600377, 74.11317567567568)),
((36.55984919886899, 50.24493243243243), (14.505183788878417, 9.95777027027027)),
((39.274269557021675, 83.61486486486487), (16.286522148916116,
12.010135135135135))
```

Рис. 2. Промежуточные этапы подготовки и анализа графического материала

## Определение зависимости между кривыми различных лет

```
def slope_sign(mms): d=np.diff(mms) return np.sign(d) # -1,0,1
def opposite_intervals(kms, m1, m2, min_len km=3): s1=slope_sign(m1)
s2=slope_sign(m2) opp=(s1*s2)<0 # opposite signs # convert to
intervals in km using kms midpoints km_mid=(kms[:-1]+kms[1:])/2 #
find contiguous True segments intervals=[] in seg=False start=None
for i,val in enumerate(opp): if val and not in seg: in seg=True
start=km_mid[i] elif not val and in seg: end=km_mid[i-1] if end-
start>=min_len_km: intervals.append((start,end)) in seg=False if
in seg: end=km_mid[len(opp)-1] if end-start>=min_len_km:
intervals.append((start,end)) return intervals
opp_13_23=opposite_intervals(kms, mm_green, mm_blue, 4)
opp_18_23=opposite_intervals(kms, mm_pink, mm_blue, 4)
opp_18_13=opposite_intervals(kms, mm_pink, mm_green, 4)
opp_13_23[:10], opp_18_23[:10], opp_18_13[:10] ([], [], [])
```

## Вычисление коэффициента корреляции Пирсона

```
def corr(a,b): return np.corrcoef(a,b)[0,1]
corr_13_18=corr(mm_green, mm_pink) corr_13_23=corr(mm_green,
mm_blue) corr_18_23=corr(mm_pink, mm_blue) corr_13_18, corr_13_23,
corr_18_23 (0.92655602742881, 0.32500626417194095, 0.5573608934736778)
```

## Вычисление корреляции для сегментов интервалов

```
def segment_corr(kms, a, b, km1, km2): mask=(kms>=km1)&(kms<=km2)
return corr(a[mask], b[mask]) for seg in
[(0,20), (20,35), (35,60), (60,75), (75,90)]: print(seg, "13-18",
segment_corr(kms,mm_green,mm_pink,*seg), "13-23",
segment_corr(kms,mm_green,mm_blue,*seg), "18-23",
segment_corr(kms,mm_pink,mm_blue,*seg))
(0, 20) 13-18 -0.0866662970359759 13-23 -0.8013756578186798 18-23 0.6500278945138345
(20, 35) 13-18 0.5552595356190525 13-23 0.540490111283896 18-23 0.9970721148331573
(35, 60) 13-18 0.9967722423671266 13-23 0.9671626929679003 18-23 0.969774386560818
(60, 75) 13-18 0.9962494259594792 13-23 0.9949978868381973 18-23 0.9987833750733957
(75, 90) 13-18 0.9992447884867186 13-23 0.9992305128479446 18-23 0.9999622799602798
```

## Вычисление точек пересечения кривых

```
def intersections(kms, a, b): diff=a-b sign=np.sign(diff) # handle
zeros: set small sign[sign==0]=1 # find indices where sign changes
idx=np.where(np.diff(np.sign(diff))!=0)[0] pts=[] for i in idx: #
linear interpolate between i and i+1 x1,x2=kms[i],kms[i+1]
y1a,y2a=a[i],a[i+1] y1b,y2b=b[i],b[i+1] d1=diff[i]; d2=diff[i+1] if
d1==d2: continue t=d1/(d1-d2) x=x1 + t*(x2-x1) y=y1a + t*(y2a-y1a) #
same as b pts.append((x,y)) return pts int_13_18=intersections(kms,
mm_green, mm_pink) int_13_18 (4, 8, 1)
```

## Вычисление экстремумов в пределах допустимого диапазона

```
def extrema_in_valid(mask, kms, mms):
cols=np.where(mask.any(axis=0))[0] cmin,cmax=cols.min(), cols.max()
sel=slice(cmin,cmax+1) m=mms[sel]; k=kms[sel] max_idx=np.argmax(m);
min_idx=np.argmin(m) return {"km_range":(k[0],k[-1]),
"max":(m[max_idx], k[max_idx]), "min":(m[min_idx], k[min_idx])}
ext_blue2=extrema_in_valid(blue_mask,kms,mm_blue)
ext_green2=extrema_in_valid(green_mask,kms,mm_green)
ext_pink2=extrema_in_valid(pink_mask,kms,mm_pink) ext_blue2,
ext_green2, ext_pink2 ({'km_range': (2.2043918918918917, 83.61486486486487),
'max': (36.98397737983035, 23.6402027027027), 'min': (17.813383600377,
74.11317567567568)}, {'km_range': (2.2043918918918917, 83.46283783783784),
'max': (36.55984919886899, 50.24493243243243), 'min': (14.505183788878417,
9.95777027027027)}, {'km_range': (2.2043918918918917, 83.61486486486487), 'max':
(39.274269557021675, 83.61486486486487), 'min': (16.286522148916116,
12.010135135135135)})
```

Рис. 3. Заключительные этапы процесса обработки графической информации для получения статистически значимых параметров

Абсолютный максимум среди всех лет 2018 год:  $\approx 39,3$  Мм на  $\approx 83,6$  км (правый край графика, резкий рост). Максимум внутри каждого года: – 2013:  $\approx 36,6$  Мм на  $\approx 50,2$  км (локальный пик; близкий пик также около 65 км), – 2018:  $\approx 39,3$  Мм на  $\approx 83,6$  км (самый высокий), – 2023:  $\approx 37,0$  Мм на  $\approx 23,6$  км (резкий подъём в районе 20–25 км).

Где какой год превалярующим (по участкам):  $\approx 2$ –27,8 км: чаще всего выше 2023,  $\approx 39,3$ –58,4 км и  $\approx 73,5$ –83,5 км: чаще всего выше 2018,  $\approx 58,5$ –73,4 км: чаще всего выше 2013. Где значения Мм были меньше (минимумы): абсолютный минимум среди всех лет – 2013 год:  $\approx 14,5$  Мм на  $\approx 10,0$  км.

Минимум внутри каждого года: 2013:  $\approx 14,5$  Мм на  $\approx 10,0$  км, 2018:  $\approx 16,3$  Мм на  $\approx 12,0$  км, 2023:  $\approx 17,8$  Мм на  $\approx 74,1$  км (общая «впадина» около 70–75 км).

Если понимать «зависимость» как согласованность формы кривых (корреляция/синхронность изменений по километражу):  $\approx 35$ –83 км: выраженная положительная зависимость. Все три кривые имеют очень похожую форму: подъёмы/спады происходят почти в одних и тех же местах (пик около 50 км, затем пик около 65 км, минимум около 72–74 км, далее рост к 83–84 км). На этом участке различия в основном в «вертикальном смещении» (кто выше/ниже), а не в форме.  $\approx 0$ –20 км: зависимость слабая, местами разнонаправленная (условно отрицательная для пары 2013–2023). В начале 2023 г. заметно выше и убывает, тогда как 2013/2018 находятся существенно ниже и в целом переходят к росту к 15–20 км. Из-за этого именно на участке 0–20 км динамика между годами наименее согласована.  $\approx 20$ –35 км: умеренно положительная зависимость. После «скачка» около 20–25 км все три года идут к локальному плато/пику и затем синхронно снижаются к району 35–38 км.

Для того, чтобы учитывать только значимые пиксели, мы создали цветовые маски для синего и зеленого цветов. Сначала уточним параметры для синего (95-125 по hue и  $s > 50$ ), затем для зеленого (60-90 по hue). Также проверим стрелки, анализируя пиксели, чтобы их корректно исключить. Чтобы отделить стрелки от линии, мы проверили средний hue для пикселей с наивысшей насыщенностью и определили, отличаются ли эти значения между стрелками и линией. Проанализирована статистика насыщенности для пикселей с hue от 65 до 85.

Возможно есть негативная зависимость между 2023 и другими годами в интервале 0-17 км, где 2023 уменьшается, а остальные годы увеличиваются или остаются стабильными. Это проверено, вычислив знак производных и проанализировав, где наклоны противоположны между кривыми. Корреляция между кривыми 2013 и 2018 высокая (0.93), а между 2013 и 2023 низкая (0.33). Корреляция между 2018 и 2023 умеренная (0.56), но это может зависеть от различий на ранних участках. Рассчитана корреляция для разных сегментов: 0-20, 20-60, 60-90 и так далее. В сегменте 0-20 км наблюдается отрицательная корреляция между 2013 и 2023 (-0.80), почти нулевая между 2013 и 2018 (-0.09), из-за различий в поведении. Однако после 35 км корреляция очень высокая (0.97-1.0), что свидетельствует о положительной зависимости. Для сегмента 0-20 км характерны негативные зависимости, в то время как после 35 км все кривые ведут себя схоже. Для сегментов: от 0 до 18 км 2023 значительно выше, чем 2013 и 2018; на отрезке 18-20 км происходит пересечение; с 20 до 35 км кривые сходятся; с 35 до 75 км 2013 и 2018 выше 2023. Есть 4 точки пересечения между 2013 и 2018 годами, 8 между 2013 и 2023 годами, и только 1 между 2018 и 2023 годами. На 28 км значения для розового и синего близки (оба 30). Однако пересечение все же происходит на 37 км, причем это происходит позже после многих колебаний. На графике видно, что после 22 км линия для 2023 года поднимается до 37, а для 2018 года – до 35, но после 40 км линия для 2018 года оказывается выше. На расстоянии 25-35 км синяя линия выше розовой, затем около 38 км розовая линия пересекает синюю. Это одно пересечение. Для пересечений 2018 и 2013 (розовая-зеленая) список включает: 27.26, 39.25, 58.41, 73.45 км.

Важно учитывать, что извлеченные данные приблизительные, с погрешностью около  $\pm 0.5$  Мм и  $\pm 0.5$  км из-за цифровой обработки. При этом стоит отметить возможные проблемы с интерполяцией на графиках. Например, на участке 85–90 км данные могут быть ограничены из-за отсутствия первоначальных значений.

Дополнительно установлено: около  $\approx 37,9$  км наблюдается сильная сходимость всех трёх – значения почти одинаковы (порядка 25,5–25,9 Мм).

Точки пересечения графиков (км и Мм). Ниже – пересечения попарно (когда значения двух лет равны): 2013 и 2018 –  $\approx 27,3$  км,  $\approx 35,1$  Мм,  $\approx 39,2$  км,  $\approx 26,3$  Мм,  $\approx 58,4$  км,  $\approx 28,4$  Мм,  $\approx 73,5$  км,  $\approx 20,2$  Мм; 2013 и 2023 –  $\approx 27,9$  км,  $\approx 35,7$  Мм,  $\approx 33,3$  км,  $\approx 30,7$  Мм,  $\approx 37,2$  км,  $\approx 26,0$  Мм,  $\approx 76,7$  км,  $\approx 19,3$  Мм,  $\approx 78,2$  км,  $\approx 21,8$  Мм, 2018 и 2023 –  $\approx 37,9$  км,  $\approx 25,5$  Мм.

Итоговая статистика по графикам Мм (км) за 2013-2018-2023 гг.

1. Экстремумы (максимумы и минимумы)

Показатель	2013	2018	2023	Итог по всем годам
Глобальный максимум, Мм	$\approx 36,6$	$\approx 39,3$	$\approx 37,0$	2018: $\approx 39,3$ Мм
где (км)	$\approx 50,2$	$\approx 83,6$	$\approx 23,6$	$\approx 83,6$ км
Глобальный минимум, Мм	$\approx 14,5$	$\approx 16,3$	$\approx 17,8$	2013: $\approx 14,5$ Мм
где (км)	$\approx 10,0$	$\approx 12,0$	$\approx 74,1$	$\approx 10,0$ км

2. Доминирование по участкам (какой год выше остальных)

Участок, км (примерно)	Год, который чаще выше	Комментарий
$\approx 2 - 27,8$	2023	2023 заметно выше на старте и до зоны пересечений около 27–28 км
$\approx 39,3 - 58,4$	2018	2018 выше на “волне” 40–58 км
$\approx 58,5 - 73,4$	2013	2013 лидирует в зоне подъёма к $\sim 65$ км и до спада к $\sim 73$ км
$\approx 73,5 - 83,5$	2018	2018 выше на финальном росте к $\sim 83$ –84 км

3. Пересечения графиков (км; Мм)

Пара лет	Пересечения (км; Мм)
2013 ↔ 2018	( $\approx 27,3$ ; $\approx 35,1$ ), ( $\approx 39,2$ ; $\approx 26,3$ ), ( $\approx 58,4$ ; $\approx 28,4$ ), ( $\approx 73,5$ ; $\approx 20,2$ )
2013 ↔ 2023	( $\approx 27,9$ ; $\approx 35,7$ ), ( $\approx 33,3$ ; $\approx 30,7$ ), ( $\approx 37,2$ ; $\approx 26,0$ ), ( $\approx 76,7$ ; $\approx 19,3$ ), ( $\approx 78,2$ ; $\approx 21,8$ )
2018 ↔ 2023	( $\approx 37,9$ ; $\approx 25,5$ )

Примечание: в районе  $\approx 37$ –38 км наблюдается «схождение» кривых (порядка  $\approx 25,5$ –26,0 Мм).

4. Зависимость (согласованность формы кривых между годами)

Участок, км	Тип зависимости	Основание (наблюдение по графику)
$\approx 35$ –83	Положительная (выраженная)	синхронные подъёмы/спады: пик $\sim 50$ , пик $\sim 65$ , минимум $\sim 72$ –74, затем рост к $\sim 83$ –84
$\approx 20$ –35	Положительная (умеренная)	после подъёма $\sim 20$ –25 км кривые схожим образом снижаются к $\sim 35$ –38 км
$\approx 0$ –20	Слабая / местами разнонаправленная	2023 значительно выше и убывает, тогда как 2013/2018 ниже и переходят к росту к $\sim 15$ –20 км

На отрезке 0-20 км наблюдаем расхождение: 2013 и 2018 значительно ниже, 2023 резко снижается, что указывает на обратную зависимость между 2013 и 2023 годами. После 20 км зависимости становятся позитивными: пики около 23-26 км и 48-52 км.

Анализ данных по сегментам: зависимость 0–20 км: 2023 год выше, затем снижается, в то время как 2013 и 2018 года растут. Отрицательная корреляция (-0.8) между 2013 и 2023 годами; 20–35 км: Все три года достигают пика около 23–27 км и затем снижаются – умеренная положительная зависимость. 35–83 км: виды почти одинаковые, сильная положительная зависимость (корреляция 0.97–1.00). На основе вопроса «в каком году было больше значений» можно ответить так: 2023 год имеет наибольшие значения в начале сегмента, 2018 - в середине и конце, 2013 - в интервале 58-73 км. Для этого вычислили средние значения по каждому году, чтобы увидеть, какой год имеет более высокие средние значения по всей дистанции.

Таким образом, детализация графического материала позволяет более планомерно и доказательно рассмотреть внутреннюю ситуацию динамики показателей полемостресса для установленных закономерностей в Донбассе.

*Исследование выполнено в рамках темы «Диагностика и оптимизация беллигеративных экотопов Донбасса методами биомониторинга и фиторемедиации», FRRE-2026-0030, ПТНИ 1025073000026-6-1.6.19.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лесные экосистемы Донбасса в условиях боевых действий 2014-2025 годов / В.О. Корниенко, Р.В. Кишкань, А.О. Шкиренко, А.С. Яицкий // Самарский научный вестник. – 2025. – Т. 14, № 3. – С. 57-68. – DOI 10.55355/snvn2025143108. – EDN DKFXUZ.
2. Современное экологическое состояние Великоанадольского леса в связи с военными действиями / В.О. Корниенко, Р.В. Кишкань, А.А. Чибилев [и др.] // Вопросы степеведения. – 2025. – № 2. – С. 79-90. – DOI 10.24412/2712-8628-2025-2-79-90. – EDN PZWEEW.
3. Assessment of Surface Water Quality in the Krynka River Basin Using Fluorescence Spectroscopy Methods / S. Chufitskiy, S. Romanchuk, B. Meskhi [et al.] // Plants. – 2025. – Vol. 14, No. 13. – DOI 10.3390/plants14132014. – EDN RNRTRH.
4. Сафонов А.И. Макромаркеры ландшафтных трансформаций в Донбассе: анализ картографического материала / А.И. Сафонов, Е.А. Гермонова // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2023. – № 4. – С. 68-75. – EDN NSSBBY.
5. Гермонова Е.А. Геоинформационная визуализация данных по атипичному морфогенезу растений экотопов Донбасса / Е.А. Гермонова, А.И. Сафонов // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2023. – № 1-2. – С. 13-22. – EDN QECLTU.
6. Сафонов А.И. Динамика фитоиндикационных показателей по картографическим данным в Донбассе (2013-2023 гг.) / А.И. Сафонов, Е.А. Гермонова // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2023. – № 4. – С. 6-17. – EDN PIVHWY.
7. Сафонов А.И. Оценка геосистем Донбасса: фитоиндикация тератогенности и картографический анализ / А.И. Сафонов, Е.А. Гермонова // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2023. – № 1. – С. 98-104. – EDN PHAMBH.
8. Сафонов А.И. Пыльца как индикатор новых беллигеративных ландшафтов и фактора полемостресса // Вестник СКУ им. М. Козыбаева. – 2025. – № 3(67). – С. 51-59. – DOI 10.54596/2958-0048-2025-3-51-59. – EDN VSXPTQ.
9. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025624200 Российская Федерация. Структурно-функциональные показатели растений-индикаторов антропогенных трансформаций в Донбассе: заявл. 11.08.2025; опубл. 02.10.2025 / А.И. Сафонов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донецкий государственный университет». EDN DDJCNK
10. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025625320 Российская Федерация. Видовой состав растений-индикаторов техногенных экотопов Донбасса: заявл. 10.11.2025; опубл. 19.11.2025 / А.И. Сафонов, А.В. Калинина; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донецкий государственный университет». – EDN UMFUEZ.
11. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025625306 Российская Федерация. Список видов цветочно-декоративных растений, используемых в ландшафтном дизайне Донецко-Макеевской агломерации: заявл. 10.11.2025; опубл. 19.11.2025 / А.И. Сафонов, Ю.С. Калинина;

заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донецкий государственный университет». – EDN UUGNSA.

12. Гермонова Е.А. ГИС-фитоиндикация при анализе факторов войны: полевостресс в Донбассе / Е.А. Гермонова, А.И. Сафонов // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. – Киров: ВятГУ, 2023. – С. 36-41. – EDN FWJYJH.

13. Гермонова Е.А. Детализация результатов фитомониторинга полевостресса в Донбассе с использованием ГИС-технологий / Е.А. Гермонова, А.И. Сафонов // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2024. – № 1. – С. 8-14. – EDN KESXAO.

14. Сафонов А.И. Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций. – Донецк: Издательский дом «ЭДИТ», 2024. – 289 с. – ISBN 978-5-605-24266-6. – EDN QVJSQE.

15. Реуцкая В.В. Жизнеспособность древесных растений города Тореза, ДНР // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет". – 2024. – Т. 1, № 16. – С. 142-148. – EDN SOQCOU.

16. Аникина Е.А. Жизнеспособность древесных растений города Макеевки, ДНР // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет". – 2024. – Т. 1, № 16. – С. 20-26. – EDN EIGJKV.

17. Реуцкая В.В. Вибрации железнодорожного транспорта, как экологическая составляющая в городе Донецке // Вестник студенческого научного общества ФГБОУ ВО "Донецкий государственный университет". – 2025. – Т. 1, № 17. – С. 64-69. – EDN DDVOOC.

18. Шкиренко А.О. Вибрационно-акустическое зашумление как экологический фактор в городе Донецке // Вестник студенческого научного общества ФГБОУ ВО "Донецкий государственный университет". – 2025. – Т. 1, № 17. – С. 109-115. – EDN QMLFUE.

19. Сафонов Р.А. Физико-географические и геометрические закономерности в палиноиндикации городской среды // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. – Киров: Вятский государственный университет, 2024. – С. 76-80. – EDN JNRWUA.

20. Сафонов Р.А. Корректировка локальных маршрутов для экологического фитомониторинга в Донецке // Вестник студенческого научного общества ФГБОУ ВО "Донецкий государственный университет". – 2025. – Т. 1, № 17. – С. 76-80. – EDN EMKVTZ.

21. Влияние закалки на магнитоструктурные и магнитокалорические свойства  $Mn_{0.89}Cr_{0.11}NiGe$  / В.И. Вальков, А.В. Головчан, И.Ф. Грибанов [и др.] // Физика твердого тела. – 2025. – Т. 67, № 4. – С. 653-667. – DOI 10.61011/FTT.2025.04.60547.353. – EDN MBUSLA.

22. Пирко И.Ф. Ресурсы флоры юга Восточно-Европейской равнины. Аборигенные виды злаков для придорожного озеленения Донецко-Макеевской агломерации / И.Ф. Пирко, В.О. Корниенко // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2024. – № 3. – С. 65-78. – DOI 10.5281/zenodo.13758407. – EDN NZBGNN.

23. Пирко И.Ф. Ресурсы флоры Юга Восточно-Европейской равнины. Аборигенные виды порядка Злакоцветные (Poales small) для озеленения городов Донецко-Макеевской агломерации / И.Ф. Пирко, В.О. Корниенко // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2024. – № 3. – С. 24-37. – DOI 10.5281/zenodo.14532037. – EDN JJBGYH.

24. Неспирный В.Н. Учёт библиографической информации о публикациях экопрофиля в Донбассе (2000-2024) // Донецкие чтения - 2025: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2025. – С. 119-121. – EDN AWMYTI.

25. Nespirnyi V.N. Statistical Analysis of Environmental Monitoring Data in Donbass Region // Ecologica. – 2025. – Vol. 32, No. 119. – P. 189-202. – DOI 10.18485/ecologica.2025.32.119.6. – EDN HMROLA.

#### ANALYSIS OF GRAPHIC DATA FROM PHYTOMONITORING IN THE DYNAMICS OF POLEMOSTRESS

**Annotation.** Additional processing was performed on graphs showing the dynamics of polemostress factor lines or phytoindicator transformations depending on movement along the landscape profile. This graph connects the positions of the extreme points of the monitoring network to establish ecosystem transformation trends depending on equidistance from the military conflict zone. Accounting for diffuse fluctuations in polemostress factors is important for detailing the transformation process of plant organisms, which are characterized by a high level of sensitivity to anthropogenic and militarized changes.

**Keywords:** phytoindication, Donbass, environmental monitoring, polemostress.

**Zusar K.D., Gabaraev B.A.**

Scientific adviser: Safonov A.I. Ph.D., Head of the Department of Botany and Ecology

Donetsk State University

E-mail: [kf.botan@donnu.ru](mailto:kf.botan@donnu.ru)

## ШУМ И ВИБРАЦИЯ: НЕВИДИМЫЕ ВРАГИ ГОРОДСКИХ ЭКОСИСТЕМ

*Котенко Д.А.*

*Научный руководитель: Корниенко В.О., канд. биол. наук, доцент  
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

*Аннотация.* В данной работе проведены исследования по оценке вибрационно-акустического зашумления территории города Донецка и как следствие состояния древесных насаждений, произрастающих в его центральной части. *Acer platanoides L.* в условиях интенсивной урбанизированной среды г. Донецка испытывает значительный комплексный стресс, ведущий к снижению жизнеспособности и деградации насаждений. Его состояние является индикатором неблагоприятных экологических условий, складывающихся из совокупности абиотических, биотических и антропогенных факторов. *Acer pseudoplatanus L.* несмотря на высокую толерантность в пределах естественного ареала, в условиях засушливого климата и техногенной нагрузки Донецка демонстрирует признаки выраженной депрессии: угнетение прироста, образование корневой поросли как реакции на стресс, отслоение коры.

*Ключевые слова:* древесные насаждения, урбоэкосистемы, антропогенный фактор, вибрация, шум, устойчивость деревьев, урбанистическое давление.

**Введение.** Шум и вибрация имеют единую природу возникновения, представляя собой различные формы колебаний, распространяющихся через газообразные, жидкие и твёрдые среды. Колебания, передаваемые или возникающие в твёрдых телах, определяются как вибрация, тогда как беспорядочное сочетание звуковых колебаний воспринимается человеком как шум. В условиях современного города эти факторы становятся неотъемлемой частью техногенной среды и оказывают комплексное воздействие на живые системы. Такое распределение транспортных потоков формирует различную степень вибрационно-акустического воздействия на прилегающие территории.

Городские древесные насаждения выполняют не только эстетическую функцию, но и оказывают значительное влияние на микроклимат, биологическое разнообразие и качество среды обитания [5-7]. Однако центральная часть Донецка испытывает антропопрессинг, что создаёт специфические условия для произрастания древесных растений [14,15,16]. В таких условиях возрастает необходимость комплексной оценки их эколого-биологических характеристик, направленной на оптимизацию озеленения и повышение устойчивости зелёных насаждений.

Понимание характера этих влияний имеет важное практическое значение, поскольку определяет долговечность зелёных насаждений, их санитарное состояние и уровень аварийности [8,11]. Эти параметры необходимо учитывать при планировании, эксплуатации и реконструкции зелёных зон в условиях интенсивного городского развития. Особое внимание в работе уделяется изучению возрастных процессов, поскольку возрастные изменения существенно влияют на биологическую активность, рост и морфологию древесных растений [10]. Анализируются виды, наиболее широко используемые в озеленении Донецка, и их реакция на антропогенные нагрузки. В исследовании детально рассматривается состояние основных древесных пород, выявляются ключевые биологические и физико-механические параметры, а также анализируются показатели аварийности и возрастные особенности деревьев.

**Цель данной работы.** Определить влияние вибрационно-акустического воздействия на устойчивость, возрастные особенности и физико-механические параметры древесных насаждений центральной части Донецка

**Материалы и методы.** Центральная часть Донецка, включающая проспект Ильича, улицу Челюскинцев и Набережную, характеризуется выраженной дифференциацией транспортной нагрузки: от максимально интенсивного движения на проспекте Ильича до умеренного на улице Челюскинцев и существенно более низкого уровня транспортной активности на Набережной [11]. На исследуемой территории представлены как местные, так и интродуцированные виды деревьев, различающиеся по биологическим особенностям и уровню адаптации к урбанизированной среде. Установлено, что видовой состав, возрастная структура насаждений и физико-механические свойства древесины напрямую связаны с устойчивостью растений к неблагоприятным факторам городской среды — загрязнению атмосферы, уплотнению почвы, изменению гидрологического режима и вибрационно-акустическому воздействию [3-5]. Интенсивность движения автотранспорта на проспекте Ильича, улице Челюскинцев и Набережной была тщательно проанализирована с использованием современных методов и стандартов. Оценка проводилась на основе количества единиц автотранспорта различных типов, которые проезжали мимо заранее определенной точки измерения за фиксированный промежуток времени. Для этого применялись методы, соответствующие требованиям ГОСТ 20444-85, что позволило обеспечить точность и сопоставимость данных. Анализ включал не только подсчет общего числа проезжающих автомобилей, но и классификацию их по типам, таким как легковые, грузовые, автобусы. Это позволило получить более детализированную картину транспортной активности на данном участке [1, 3, 8, 9,10].

Уровень интенсивности звука определялся с использованием специализированного измерительного прибора — шумомера. Шумомер представляет собой устройство, предназначенное для количественной оценки шумового воздействия в окружающей среде. Он фиксирует звуковое давление и преобразует его в числовые значения, выраженные в децибелах (дБА) [1-3]. Благодаря высокой чувствительности и точности прибор обеспечивает регистрацию широкого диапазона звуковых частот — от низкочастотных до высокочастотных компонентов — что позволяет объективно оценивать акустическую нагрузку на исследуемую территорию.

**Результаты и обсуждения.** Для проведения анализа состояния зелёных насаждений в городской среде Донецка были выбраны участки с различной степенью антропогенного воздействия (рис. 1). Участки № 1А и 1Б представляли собой линейную посадку вдоль проспекта Ильича — одной из наиболее загруженных транспортных магистралей города.

Данные об интенсивности транспортного потока на этих участках представлены в таблице № 1. Все проезжающие транспортные средства были классифицированы по трём категориям (муниципальный транспорт, грузовые и легковые автомобили) и пяти подкатегориям (лёгкие, тяжёлые, иномарки, автомобили производства РФ, джипы). Такая детальная классификация была необходима для расчёта воздействия шума на биоиндикаторы. Наблюдение проводилось в течение пяти минут, после чего данные были экстраполированы на час.

Интенсивность транспортного потока напрямую влияет на уровень вибрационно-акустического зашумления территории [5]. На участке максимальная интенсивность звука составляет – 93 дБА, минимальная – 60 дБА, среднее значение – 74дБА (табл.2). На данном участке наблюдается максимальная загруженность автотранспорта, общая сумма единиц равна 1620. Анализ транспортного потока на участке вдоль проспекта Ильича выявил преобладание легковых автомобилей, которые составляют более 94 % от общего числа зафиксированных транспортных средств. Особенно выражено присутствие иномарок, что свидетельствует о высокой степени автомобилизации и интенсивной индивидуальной мобильности [22]. Грузовые автомобили составляют около 3,7 %, включая как лёгкие, так и тяжёлые типы, что усиливает вибрационно-акустическое

воздействие на прилегающие зелёные насаждения. Детальная классификация транспортных средств по категориям и подкатегориям позволила более точно оценить акустическую нагрузку на территорию и её влияние на биоиндикаторы. Полученные данные подтверждают, что участок вдоль проспекта Ильича подвергается значительному техногенному давлению, что делает его ключевым для оценки устойчивости древесных насаждений и разработки мер по снижению уровня зашумления и повышения экологической стабильности городской среды [6].

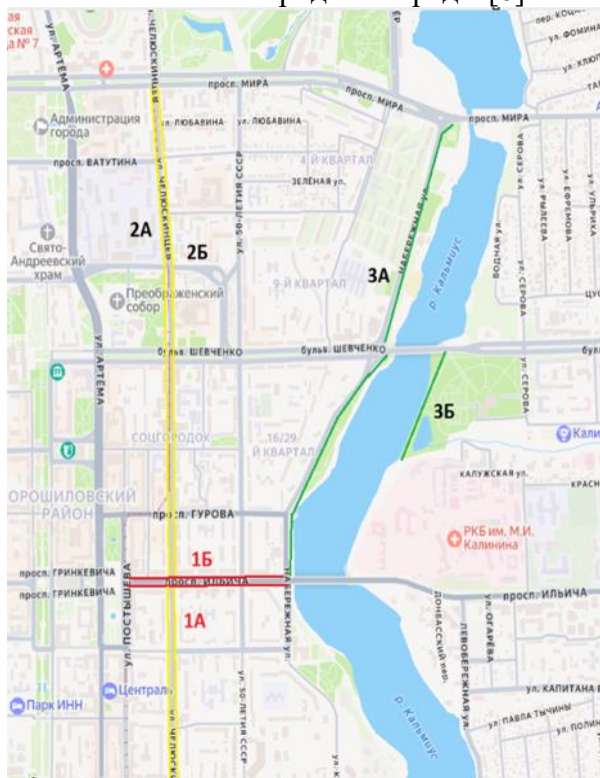


Рисунок 1– Территория исследования центральной части Донецка

Таблица 1 – Интенсивность автотранспорта (ед./час) на исследуемом участке в будние дни с 8:00 по 17:00

Территория	Муниципальный транспорт, автобусы	Грузовые		Легковые			Сумма
		легкие	тяжелые	иномарки	производства РФ	джипы	
Пр. Ильича	36	24	36	1176	228	120	1620
Ул. Челюскинцев	24	12	12	502	60	24	624
Набережная	0	0	0	120	36	36	192

На участке № 2, расположенном вдоль улицы Челюскинцев (участки 2А и 2Б), наблюдалась умеренная транспортная активность. На данной территории максимальное звуковое значение составило 90 дБА, а минимальное – 53 дБА, среднее – 69 дБА, эти показатели варьировались в зависимости от типа транспортного средства.

На ул. Челюскинцев уровень шума был ниже, что связано с меньшей плотностью движения и наличием зелёных буферных зон, частично экранирующих акустическое воздействие. Низкий уровень вибрационно-акустического воздействия на этих участках создаёт более благоприятные условия для роста и развития древесных растений. Анализ транспортного потока на участке вдоль улицы Челюскинцев показал, что общее количество зафиксированных транспортных средств составило 624 единицы, что

значительно ниже, чем на проспекте Ильича. Основную долю составляют легковые автомобили — 94 % от общего количества, из которых преобладают иномарки (80%), тогда как автомобили российского производства и джипы представлены в меньших количествах (10% и 3,8% соответственно). Грузовой транспорт представлен равномерно: 3,8 % лёгких и 3,8 % тяжёлых автомобилей от общего потока. Сравнительно низкая интенсивность движения на этом участке свидетельствует о меньшем уровне вибрационно-акустического воздействия по сравнению с проспектом Ильича, что создаёт более благоприятные условия для древесных насаждений. Полученные данные подтверждают, что улица Челюскинцев представляет собой территорию с умеренным техногенным давлением, и может служить переходной зоной между интенсивно загруженными магистралями и рекреационными участками города.

Таблица 2 – Средние значения акустического шума (дБА) на территории исследований

<b>Территория</b>	<b>макс.</b>	<b>ср.</b>	<b>мин.</b>
Пр. Ильича	93±1	74±2	60±1
Ул. Челюскинцев	90±1	69±2	53±1
Набережная	79±2	54±2	42±2

Участок №3, расположенный вдоль набережной, выделяется среди других исследуемых территорий минимальной транспортной нагрузкой. Эта зона преимущественно состоит из пешеходных дорожек и рекреационных пространств, что значительно снижает интенсивность автомобильного движения. Движение транспорта здесь носит эпизодический характер, что позволяет участку сохранять свою природную и экологическую ценность. Акустический анализ показал, что уровень шума на участке не превышает допустимых санитарных норм для городской среды. Минимальный уровень шума составляет 42 дБА, средний – 54 дБА, а максимальный – 79 дБА. Эти показатели свидетельствуют о благоприятной акустической обстановке, способствующей комфортному пребыванию людей и сохранению экосистемы. Исследование транспортного потока на участке вдоль набережной подтвердило его низкую интенсивность. Общее количество транспортных средств за период наблюдения составило 192 единицы, все из которых относятся к категории легковых автомобилей. Из них 62,5% – иномарки; 18,7% – автомобили российского производства и 18,7% – джипы. Муниципальный транспорт и грузовые автомобили (как лёгкие, так и тяжёлые) за время исследования на данном участке отсутствуют, что подчёркивает его рекреационный характер и низкую транспортную загруженность и снижает уровень вибрационно-акустического воздействия на окружающую среду. Это минимизирует стрессовые факторы, связанные с движением транспорта, и создаёт благоприятные условия для развития древесных насаждений. Деревья на участке могут расти и развиваться в более комфортных условиях, что положительно сказывается на их устойчивости и долговечности.

Участок вдоль набережной представляет собой зону с минимальным воздействием городской инфраструктуры, что позволяет провести объективное исследование устойчивости древесной растительности в урбанизированной среде. Сравнительный анализ полученных данных позволяет выявить закономерности влияния шумового загрязнения на растения в зависимости от интенсивности транспортного потока и особенностей планировочных решений. Полученные результаты обладают высокой информативностью для оценки адаптационного потенциала древесных насаждений и разработки научно обоснованных рекомендаций по оптимизации стратегий озеленения, а также для предотвращения аварийных ситуаций, связанных с деградацией древесной растительности в условиях городской среды.

Антропогенные воздействия, такие как вибрации, акустический шум и высокая интенсивность движения, оказывают комплексное негативное влияние на жизнеспособность растений. Вибрации от проезжающих машин могут повреждать корневую систему деревьев, что снижает их устойчивость и способность к поглощению питательных веществ из почвы. Акустический шум, превышающий допустимые нормы, может нарушать физиологические процессы растений, такие как фотосинтез и транспирация, что в конечном итоге приводит к замедлению роста и снижению общего состояния деревьев. Кроме того, выхлопные газы содержат токсичные вещества, такие как оксиды азота, углерода и углеводороды, которые могут накапливаться в тканях растений и вызывать различные повреждения, включая пожелтение листьев, деформацию побегов и даже гибель растений. Эти повреждения могут быть заметны на деревьях, растущих вдоль оживленных дорог, где уровень загрязнения особенно высок.

Объектом исследования выступили два вида древесных растений рода *Acer* L., широко используемые в озеленении города Донецка: клён остролистный (*Acer platanoides* L.) и клён явор, или ложноплатановый (*Acer pseudoplatanus* L.) - несмотря на таксономическую близость, обладают фундаментальными различиями в экологии и адаптациях, что предопределяет их неодинаковую реакцию на стрессовые факторы городской среды Донецка. Данный анализ служит основой для интерпретации полевых данных о состоянии особей. Происхождение и фитоценотический статус *Acer platanoides* является аборигенным видом для флоры Восточной Европы, что подразумевает длительную коэволюцию с местными климатическими и почвенными условиями [8, 9]. В противоположность ему, *Acer pseudoplatanus* – интродуцент, естественный ареал которого охватывает Центральную Европу и Кавказ. Это различие в происхождении создает изначально более высокий адаптивный потенциал у остролистного клёна к специфике региона, включая континентальность климата Донбасса. Ключевым фактором, лимитирующим состояние *A. pseudoplatanus* в условиях города, является его мезофитная природа. Данный вид требователен к достаточному и стабильному увлажнению почвы и воздуха [10, 16]. В урбоэкосистеме, характеризующейся «островом тепла», повышенной инсоляцией, уплотнением почв и нарушением гидрологического режима, эти требования не выполняются, что приводит к хроническому водному дефициту. *A. platanoides*, будучи ксеромезофитом, значительно лучше переносит указанные стрессы, что проявляется в сохранении тургора листьев и общей стабильности физиологических процессов [8, 15]. Структурно-механические свойства и устойчивость к патогенам. Важнейшим биологическим признаком, непосредственно определяющим долговечность дерева в городе, является устойчивость древесины к гнилостным процессам. Проведенные наблюдения согласуются с данными дендропатологов: древесина *A. pseudoplatanus* имеет менее плотную структуру и повышенную склонность к развитию стволовых гнилей, вызываемых базидиальными грибами (например, рода *Ganoderma*, *Fomes*). Эта «внутренняя» уязвимость делает вид крайне восприимчивым к любым механическим повреждениям коры, которые быстро трансформируются в обширные дупла. *A. platanoides* обладает более твёрдой и устойчивой к разложению древесиной, что является ключевым фактором его большей долговечности и механической надёжности [8, 17].

Ответ на антропогенное вмешательство (санитарную и формовочную обрезку) также различен. *A. platanoides* характеризуется хорошей способностью к зарастанию ран и компартментализации пораженных тканей. *A. Pseudoplatanus* плохо переносит обрезку крупных ветвей; места срезов часто плохо каллусируются, становясь очагами для проникновения инфекций и последующего развития дупел (рис. 2 А-Б) [15, 17].

Гладкая у молодых особей и трещиноватая у старых, кора выполняет защитную и проводящую функции. В урбосреде она подвергается механическим повреждениям (затески, удары), термическим стрессам (перегрев от асфальта, морозобоины после

зимних оттепелей) и химическому воздействию (солевые растворы). Повреждения коры, отслоения, трещины (подтвержденные данными полевых бланков) нарушают целостность покровных тканей, открывая путь для фитопатогенов (грибы, бактерии) и приводя к образованию дупел. Поверхностно-стержневая корневая система, требующая хорошо аэрированных почв. В условиях городского уплотнения грунта, его загрязнения тяжелыми металлами, обеднения органикой и нарушения водно-воздушного режима корневая система угнетается. Постоянный водный дефицит и нарушение проводимости из-за гнилей приводят к последовательному отмиранию кроны с верхушки, что является признаком необратимой физиологической деградации. Крона становится асимметричной, рыхлой, «рваной». Листья скученная, мелкая, с блеклой окраской (рис. 2 В).



А



Б



В

Рисунок 2 – Выявленные дефекты древесных растений на исследуемой территории

Примечания: А-Б – образование дупла и отслоение коры; В – Сухобочинность и асимметрия кроны

Биология явора изначально ориентирована на стабильные, влажные и защищённые лесные экотопы, что делает его архитектуру и ткани малоприспособленными для городских испытаний. «Личинковая» кора: отличительная и самая проблемная черта, кора взрослых деревьев имеет свойство крупнопластинчатого отслоения, создавая характерный «рябой» рисунок. В природе это, возможно, механизм защиты от эпифитов. В городе же эти естественные трещины и отслоения становятся готовыми воротами для инфекции. Они не зарастают, а под воздействием сухого воздуха, соли и перепадов температур лишь усугубляются, приводя к обширным участкам оголённой древесины, которые быстро колонизируются грибами-деструкторами. Древесина относительно мягкая и менее плотная, чем у *A. platanoides*. Эта особенность обуславливает его высокую скорость роста в благоприятных условиях, но в городе оборачивается катастрофически низкой устойчивостью к гниению. Любая рана (механическая, от мороза, от неправильной обрезки) не компартментализируется, а становится очагом стремительно развивающейся стволковой гнили. Энергия, которая в спокойных условиях могла бы быть направлена на зарастание ран, синтез защитных фенолов и танинов, в условиях шумового стресса тратится на поддержание базового гомеостаза. Корневая система

требовательна к глубоким, влажным, хорошо дренированным почвам, в условиях уплотнённого, сухого, засоленного городского грунта, развивается поверхностно и фрагментарно, не обеспечивая надземную часть ни влагой, ни устойчивостью. Это приводит к массовому ветровалу даже у внешне крепких деревьев, что в дальнейшем может привести к гибели или повреждению апекса. Главный побег повреждается, и дерево переключается на рост из спящих почек, что приводит к многоствольности.

**Выводы.** На исследуемой территории акустический режим характеризуется превышением предельно допустимых уровней (ПДУ) по средним значениям на 31% и по максимальным значениям на 30%, что свидетельствует о значительном шумовом загрязнении. Транспортная нагрузка демонстрирует выраженную пространственную неоднородность. Наиболее высокий уровень интенсивности транспортного потока зафиксирован на проспекте Ильича (1620 ед./ч), что указывает на режим перегрузки на данной, наиболее антропогенно нагруженной, территории. Улица Челюскинцев характеризуется средней транспортной нагрузкой (624 ед./ч). Улица Набережная, определенная как фоновая территория с низкой устойчивостью, демонстрирует относительно низкий уровень транспортного потока (192 ед./ч), что позволяет рассматривать ее в качестве контрольного участка.

Биоиндикаторы *Acer platanoides L.* и *Acer pseudoplatanus L.* в урбанизированной среде Донецка испытывают хронический комплексный антропогенный стресс: адаптивные морфологические особенности (фасциации, искривления, волчки) превращаются в факторы риска, приводя к потере габитуса, утрате экологических функций при достижении критического возраста. Комплекс патологий (суховершинность, дупла, гниль, морозобоины, многоствольность, сухобочинность, отслоение коры) отражает физиологические нарушения от химического, физического, почвенного и акустического загрязнения. Снижение жизнеспособности (по шкале Алексеева: преобладание 2–3 баллов), высокая частота морфопатологий указывают на шум-индуцированный стресс, перенаправляющий ресурсы на базовый метаболизм. Шум выступает синергетическим фактором, усиливающим уязвимость к воздушным/почвенным загрязнителям, патогенам, вредителям и климатическим аномалиям.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корниенко, В. О. Влияние экологических факторов на физико-механические свойства, морфометрию и аллометрию древесных растений урбозко систем (на примере города Донецка) : дис. ... канд. биол. наук : 1.5.15 «Экология (биологические науки)» / В. О. Корниенко. – Донецк, 2022. – 166 с. – EDN: QYUERJ.
2. Сафонов, А. И. Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций / А. И. Сафонов. – Донецк : ДонГУ, 2024. – 288 с. – EDN: QVJSQE.
3. Сафонов, А. И. Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций / А. И. Сафонов. – Донецк : Издательский дом «ЭДИТ», 2024. – 289 с. – EDN: QVJSQE.
4. Глухов, А. З. Оценка проявления флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков листовой пластинки *Acer pseudoplatanus L.* в условиях придорожных экосистем промышленного города (на примере г. Донецка) / А. З. Глухов, Ю. А. Штирц, А. Е. Демкович, С. П. Жуков // Промышленная ботаника. – 2011. – Вып. 11. – С. 90–96.
5. Калинина, Ю. С. Анализ ассортимента цветочного оформления «Сквера Славы» Центрального городского района г. Макеевки / Ю. С. Калинина // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2024. – № 4. – С. 33–38. – DOI: 10.5281/zenodo.14543657. – EDN: JPRCLG.
6. Калинина, Ю. С. Рабочая схема ландшафтной индикации в Донецке: дизайн и критерии устойчивости геосистем / Ю. С. Калинина, А. И. Сафонов // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2024. – № 3. – С. 14–23. – DOI: 10.5281/zenodo.14531840. – EDN: GAKMLH.
7. Козлова, А. Особенности организации цветочного оформления в городах / А. Козлова, О. Б. Сокольская // Агрофорсайт. – 2021. – № 6(37). – С. 82–90.

8. Кольченко, О. Р. *Acer platanoides* L. в условиях антропогенной нагрузки г. Донецка / О. Р. Кольченко, В. О. Корниенко, Т. Б. Матвеева // Самарский научный вестник. – 2019. – Т. 8, № 3 (28). – С. 46–52. – DOI: 10.24411/2309-4370-2019-13107.
9. Кольченко, О. Р. Методический подход к оценке флуктуирующей асимметрии клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях г. Донецка / О. Р. Кольченко, В. О. Корниенко // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2019. – № 1. – С. 107–114.
10. Корниенко, В. О. Влияние природно-климатических факторов на механическую устойчивость и аварийность древесных растений на примере *Juniperus virginiana* L. / В. О. Корниенко // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2020. – № 134.
11. Корниенко, В. О. Онтогенетические изменения механической устойчивости основных видов древесных растений в экосистемах города Донецка / В. О. Корниенко, А. С. Яицкий // Самарский научный вестник. – 2024. – Т. 13, № 1. – С. 30–38. – DOI: 10.55355/snvt2024131104. – EDN: LYEGSZ.
12. Митина, Л. В. Древесно-кустарниковые растения в озеленении г. Донецка: состояние, содержание, замена / Л. В. Митина, Е. Н. Виноградова, Л. В. Хархота [и др.] // Ботанические сады в современном мире. – 2023. – № 3.
13. Николаевский, В. С. Влияние некоторых факторов городской среды на состояние древесных пород / В. С. Николаевский, И. В. Васина, Н. Г. Николаевская // Лесной вестник / Forestry Bulletin. – 1998. – № 2.
14. Сафонов, А. И. Атипичный морфогенез фитоиндикаторов в экологическом мониторинге Донецка / А. И. Сафонов // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2024. – № 4. – С. 94–101.
15. Сафонов, А. И. Тканевая диагностика эмбриональных структур фитоиндикаторов Донбасса / А. И. Сафонов // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2020. – № 3-4. – С. 110–115.
16. Сафонов, А. И. Фитомониторинг антропогенно измененной среды: формализация терминологии и реализация на практике / А. И. Сафонов, А. З. Глухов // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2023. – № 3. – С. 62–70. – EDN: NTNOHR.
17. Сафонов, А. И. Фитоматериалы в техногенной трансформированной среде: методология и практика / А. И. Сафонов, А. З. Глухов // Экосистемы. – 2021. – № 28. – С. 16–28.
18. Филиппова, А. В. К вопросу организации эффективных насаждений древесных пород в условиях городской среды / А. В. Филиппова, М. В. Рябухина // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2014. – Т. 26 (65), № 5. – С. 66–74.
19. Чернышенко, О. В. Методы повышения устойчивости и жизнестойкости городских древесных растений / О. В. Чернышенко, Д. Е. Румянцев, Е. В. Сарапкина // Лесной вестник / Forestry Bulletin. – 2014. – № 5 (105). – С. 145–149.
20. Корниенко, В. О. Мониторинг состояния древесных растений центральной части города Донецка / В. О. Корниенко, Л. В. Хархота // Самарский научный вестник. – 2023. – № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-sostoyaniya-drevesnyh-rasteniy-tsentralnoy-chasti-goroda-donetska>.
21. Safonov, A. Changes in plant CSR strategies under new anthropogenic transformations / A. Safonov // E3S Web of Conferences. – 2025. – Vol. 614. – Art. 04022. – DOI: 10.1051/e3sconf/202561404022.
22. Shtirts, Yu. A. Variation of leaf margin serration in *Populus nigra* of industrial dumps / Yu. A. Shtirts // Acta Biologica Sibirica. – 2017. – Vol. 3, No. 2. – P. 46–51.

#### NOISE AND VIBRATION: THE INVISIBLE ENEMIES OF URBAN ECOSYSTEMS

**Annotation.** In this paper, studies have been conducted to assess the vibrational and acoustic noise of the territory of the city of Donetsk and, as a result, the condition of tree plantations growing in its central part. *Acer platanoides* L. In the conditions of an intensively urbanized environment, Donetsk is experiencing significant complex stress, leading to a decrease in viability and degradation of plantings. Its condition is an indicator of unfavorable environmental conditions, consisting of a combination of abiotic, biotic and anthropogenic factors. *Acer pseudoplatanus* L. Despite the high tolerance within its natural range, Donetsk shows signs of severe depression in the conditions of arid climate and man-made stress.: inhibition of growth, formation of root growth as a reaction to stress, peeling of the bark.

**Keywords:** tree plantations, urban ecosystems, anthropogenic factor, vibration, noise, tree stability, urban pressure.

#### Kotenko D.A.

Scientific director: Kornienko V.O., PhD in Biological sciences, Senior Lecturer

Donetsk state university

E-mail: [darinka.kotenko1820@mail.ru](mailto:darinka.kotenko1820@mail.ru)

УДК 581.5:58.15

## ВЛИЯНИЕ СПЕЦИФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ТЕХНОГЕНЕЗА В Г. ШАХТЕРСКЕ НА ГОДОВОЙ ПРИРОСТ ХВОИ *PINUS SYLVESTRIS* L.

*Крамаренко А.А.*

*Научный руководитель: Сафонов А.И., канд. биол. наук, зав. кафедрой ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

*Аннотация.* На основании исследований, проведённых в 2023-2024 годах, были составлены маршруты и проведены исследования на предмет влияния антропогенных факторов таких как повышенный радиационный фон, запылённость и загазованность на годовой прирост хвои *Pinus sylvestris* L.

*Ключевые слова:* фитомониторинг, фитоиндикация, Донбасс, породные отвалы, пылеосаждение.

Донецкая Народная Республика – антропогенно трансформированный регион Российской Федерации. В связи со сложившимися природно-климатическими и техногенно-промышленными факторами, сохраняется тенденция на спрос регулярных мониторинговых данных состояния окружающей среды, в особенности методами фитоиндикации [1; 2]. Промышленная агломерация города Шахтерска является активным транспортным узлом, через который каждый день проезжает большое количество транспортных средств. Это создаёт высокий уровень загазованности и запылённости вдоль трасс [3]. Помимо этого, в городе Шахтёрск находится 68 породных отвалов, многие из которых являются источниками повышенного радиационного фона [4–7]. В связи с этим возникает острая потребность в регулярном мониторинге состояния окружающей среды и систематизации знаний о том, как различные антропогенные факторы (в частности загазованность, запылённость и повышенный радиационный фон) влияют на развитие и рост ценных древесных пород, которые являются наиболее восприимчивыми к антропогенно трансформированным средам.

Учёные ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет» биологического факультета разработали ряд методик для эффективной оценки и мониторинга антропогенно трансформированных сред [2, 8-10]. На кафедре ботаники и экологии в рамках инициативной государственной темы «Ботаника антропогенеза: индикация и оптимизация» регулярно проводятся фитомониторинговые, в том числе скрининговые, исследования различных объектов, оказывающее то или иное негативное воздействие на биосферу.

Учитывая то, что одним из преобладающих видов-фитоиндикаторов в городе Шахтерске является *Pinus sylvestris* L., было решено провести исследования влияния повышенного радиационного фона, запылённости и загазованности на годовой прирост хвои. Изучению техногенных факторов на лесные системы посвящено много публикаций донецких ученых [11–15], которые во многих методически приемах опираются на работу научных школ г. Воронежа [16], определяют диапазоны устойчивости видов в стрессовых условиях [17–20]. На основе методик анализа зеленого каркаса [21] и ресурсного потенциала аборигенных видов [22] формируются ГИС-модели [23] в том числе и по оценке живых объектов в полевых обследованиях [24] для геоинформационного зонирования территории [25].

Основываясь на исследованиях 2023-2024 годов, были составлены два маршрута с двумя контрольными точками на каждом маршруте, а также взят контрольный образец с относительно чистой зоны городского парка «Юбилейный» г. Шахтерска [4, 7]. Первый маршрут проходил на территории Шахтёрского лесничества недалеко от породного отвала (породный отвал обведён в красный круг). Второй маршрут – в центре города, в сквере Ленина, вдоль автотрассы Н-21 регионального масштаба и одной из главных улиц города. Ниже представлены два маршрута с контрольными точками (рисунки 1 и 2).



Рисунок 1. – Маршрут вдоль территории Шахтёрского лесничества:  
1 – точка с координатами (48.06326, 38.493482);  
2 – точка с координатами (48.063925, 38.493263).

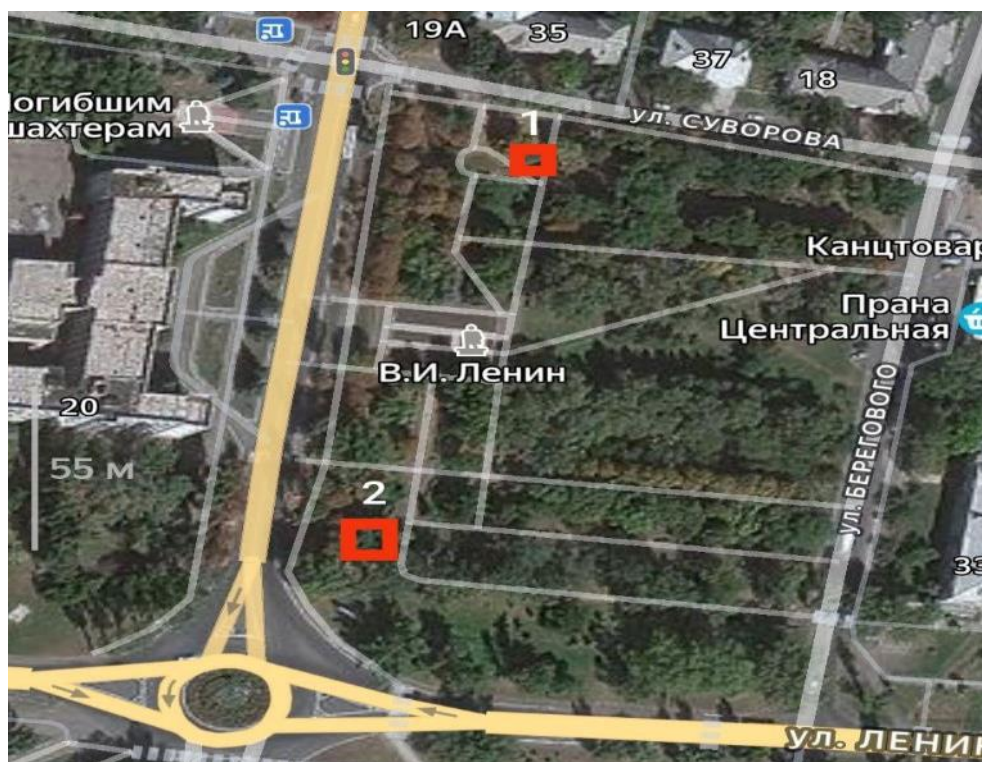


Рисунок 2. – Маршрут вдоль автотрасс с активным движением:  
1 – точка с координатами (48.036081, 38.482391)  
2 – точка с координатами (48.034732, 38.482141).

Следуя маршруту, 13.02.2026 года были отобраны образцы веток *Pinus Sylvestris* L. приблизительно одинакового возраста на высоте 1,5-2 м. над землёй. Как можно

видеть на фотографиях, стволы сосен имеют сильное искривление (рисунок 3).



Рисунок 3. – Процесс отбора проб.

Исторически сформированный в антропогенной нагрузке промышленный регион Центрального Донбасса в настоящее время испытывает дополнительные факторы трансформации природных сред – при формировании беллигеративных ландшафтов в условиях полемостресса. Сейчас стоит актуальным вопросом задача переформирования техногенных объектов Шахтерска (терриконов и терриконигов) в перерабатывающих системах горнодобывающего комплекса и ликвидации таких последствий накопленного вреда в регионе. Возможно, что этим вопросом будет заниматься Рос-Атом как федеральный оператор по вопросам ликвидации накопленного вреда на территории Донбасса и исторических регионов.

Промышленная агломерация города Шахтерск сочетает различные последствия техногенеза, например, запылённость, загазованность и повышенный радиационный фон. Одновозрастные посадки часто встречающегося *Pinus sylvestris* L. в сложившихся условиях являются базой для проверки индикационных свойств вида для получения информации в реализуемых программах экилогического мониторинга региона.

После сбора данных был произведён замер годового прироста хвои *Pinus Sylvestris* L. при помощи линейки. По итогам, были получены следующие данные:

На маршруте №1 с местами, где ранее был зафиксирован повышенный радиационный фон, отмечено значительное снижение годового прироста хвои. В точке 1 зафиксирован прирост в 0,04 м. В точке 2 – 0,045 м. В то время как, в контрольной точке годовой прирост составил 0,06 м (рисунок 4).

На маршруте № 2, пролегающему на пересечении автотрассы Н-21 и ул. Крупской, также было отмечено снижение годового прироста хвои. В точке 1 — годовой прирост

составил 0,04 м. В точке 2 — 0,035 м (рисунок 5).



Рисунок 4: Результаты отбора проб по маршруту №1:  
1 — образец с точки 1; 2 — образец с точки 2;  
3 — образец-контроль с чистой зоны.



Рисунок 5: Результаты отбора проб по маршруту №2:  
1 — образец с точки 1;  
2 — образец с точки 2;  
3 — образец-контроль с чистой зоны.

*Pinus sylvestris L.* продемонстрировала себя как отличный биоиндикатор состояния окружающей среды. Показатели годового прироста хвои достоверно отражают степень антропогенной нагрузки на территорию и, в следствие, – её трансформацию под действием загазованности, запылённости и повышенного радиационного фона.

На территории Шахтёрского лесничества, подверженной влиянию повышенного радиационного фона, источником которого является породный отвал, зафиксировано статистически значимое уменьшение годичного прироста хвои. Средние значения в точках 1 и 2 оказались существенно ниже, чем в условно чистой зоне парка «Юбилейный». Данные свидетельствуют о выраженном негативном влиянии повышенного радиационного фона на ростовые процессы сосны обыкновенной.

Возможно, что предлагаемая реконструкция объектов накопленного вреда в ДНР коснется и терриконов Шахтерска, тогда появится новый способ идентификации эффективности таких мероприятий под руководством федерального оператора по отходам РосАтом в РФ.

В условиях интенсивной транспортной нагрузки (пересечение автотрассы Н-21 и ул. Крупской) также выявлено снижение исследуемого показателя. Минимальное значение прироста (0,035 м) в точке 2 составило 41,6% от контроля. Полученные результаты коррелируют с высоким уровнем загазованности и запылённости, характерным для придорожных территорий промышленных агломераций, и подтверждают ингибирующее воздействие данных факторов на развитие хвои.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспалова С. В., Горецкий О. С., Рева М. В., Прокопенко Е. В., Сафонов А. И. Аспекты изучения биоразнообразия в Центральном Донбассе: инвентаризация, оценка природных сред, регистрация антропогенных трансформаций // Степная Евразия – устойчивое развитие: сб. Междунар. форума. Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2022. С. 179–181. EDN: LUJGKG.
2. Алемасова, А. С. Экологический мониторинг содержания тяжелых металлов в фитосубстратах индикационной значимости / А. С. Алемасова, А. И. Сафонов // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель. – Сатка, Челябинская обл.: Принтоника, 2022. – С. 12-19. – EDN TDPMGG.
3. Крамаренко А. А. Эффективность деревьев по пылеосаждению в индустриально загрязненных точках Донбасса // Наука и инновации – современные концепции: сб. статей Международного научного форума, г. Москва, 14 июля 2023 г. Том 3. Москва: Инфинити, 2023. С. 167–174. <https://doi.org/10.34660/INF.2023.45.48.011>
4. Крамаренко А. А. Фенотипическая пластичность древесных растений агломерации г. Шахтерска в условиях повышенного радиационного фона породных отвалов // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет". 2023. № 15. – С. 68–75. EDN UWTQAE.
5. Крамаренко А.А., Сафонов А.И. Формирование некоторых древесных растений в условиях повышенного радиационного фона (г. Шахтерск) // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. Донецк: ДОННТУ, 2023. С. 39-41
6. Крамаренко А.А. Фоновый радиационный учёт в Донбассе в аспекте дендроиндикации // Донецкие чтения 2023: образование, наука, инновации, культура и вызов современности: матер. Междунар. конф. Донецк: ДонНУ, 2023. С.104.
7. Крамаренко А. А. Способность древесных растений переносить экстремальные условия как результат действия антропогенных факторов Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет". 2024. Т. 1. № 16. С. 117-122.
8. Гермонова, Е. А. Визуализация микроклиматических изменений индикаторных признаков в локальных популяциях растений г. Донецка / Е. А. Гермонова, А. И. Сафонов // Глобальные климатические изменения. – Воронеж: Цифровая полиграфия, 2019. – С. 39-40. – EDN JJEZIX.
9. Сафонов, А. И. Тератогенез растений-индикаторов промышленного Донбасса // Разнообразие растительного мира. – 2019. – № 1(1). – С. 4-16. – DOI 10.22281/2686-9713-2019-1-4-16. – EDN IJNXJE.
10. Сафонов, А. И. Фитомониторинг антропогенно измененной среды: формализация терминологии и реализация на практике / А. И. Сафонов, А. З. Глухов // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2023. – № 3. – С. 62-70. – EDN NTNOHR.
11. Лесные экосистемы Донбасса в условиях боевых действий 2014-2025 годов / В. О. Корниенко, Р. В. Кишкань, А. О. Шкиренко, А. С. Яицкий // Самарский научный вестник. – 2025. – Т. 14, № 3. – С. 57-68. – DOI 10.55355/sn2025143108. – EDN DKFXUZ.
12. Реуцкая В. В. Влияние антропогенных факторов на состояние древесных растений в промышленных городах // Вестник студенческого научного общества ФГБОУ ВО "Донецкий государственный университет". – 2025. – Т. 1, № 17. – С. 70-75. – EDN QMGDYP.
13. Котенко Д. А. Флуктуирующая асимметрия листа древесных растений, как показатель устойчивости организмов к действию экологических факторов // Вестник студенческого научного

общества ФГБОУ ВО "Донецкий государственный университет". – 2025. – Т. 1, № 17. – С. 45-53. – EDN WFXSBI.

14. Дмитриева А. П. Тератоморфы *Prunus armeniaca* L. в экотопах Донецка / А. П. Дмитриева, А. И. Сафонов // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2025. – С. 175-176. – EDN YHKTAO.

15. Современное экологическое состояние Великоанадольского леса в связи с военными действиями / В.О. Корниенко, Р. В. Кишкань, А. А. Чибилев [и др.] // Вопросы степеведения. – 2025. – № 2. – С. 79-90. – DOI 10.24412/2712-8628-2025-2-79-90. – EDN PZWEEW.

16. Епринцев С. А. Оценка неблагоприятных факторов окружающей среды урбанизированных территорий Центральной России / С. А. Епринцев, С. В. Шекоян, П. М. Виноградов // Региональные геосистемы. – 2025. – Т. 49, № 1. – С. 157-168. – DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-1-157-168. – EDN PZMAVQ.

17. Калинина, А. В. Урбанофлора щелевых экотопов Донецко-Макеевской агломерации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2025. № 2. С. 38-43. DOI 10.5281/zenodo.15082400. EDN PIVLOB.

18. Фрунзе О. В. Оценка изменчивости морфологии листовой пластинки *Acer platanoides* L. под воздействием антропогенного прессинга / О. В. Фрунзе, В. О. Стахова // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2025. № 1. С. 139-146. DOI 10.5281/zenodo.14923538. EDN KIRBTQ.

19. Антропова Л. П. Изучение фотосинтетической активности листьев *Tilia cordata* Mill. в условиях антропогенной нагрузки / Л. П. Антропова, С. В. Чуфицкий // Самарский научный вестник. – 2025. – Т. 14, № 3. – С. 15-23. – DOI 10.55355/sn2025143101. – EDN QJOSLU.

20. Корниенко В. О. Состояние деревьев *Quercus robur* L., произрастающих в различных экотопах города Донецка / В. О. Корниенко, А. О. Шкиренко, А. С. Яицкий // Самарский научный вестник. – 2024. – Т. 13, № 3. – С. 31-38. – DOI 10.55355/sn2024133105. – EDN CRFRCR.

21. Зелёные насаждения городов Центральной России (на примере Воронежа, Липецка, Тулы) как фактор экологической безопасности / С. А. Епринцев, О. В. Клепиков, С. В. Шекоян, П. М. Виноградов // Экологические проблемы использования горных лесов. – Краснодар: Кубанский государственный университет, 2024. – С. 98-102. – EDN BNAGJM.

22. Пирко И. Ф. Ресурсы флоры Юга Восточно-Европейской равнины. Аборигенные виды порядка Злаоцветные (Poales small) для озеленения городов Донецко-Макеевской агломерации / И. Ф. Пирко, В. О. Корниенко // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2024. – № 3. – С. 24-37. – DOI 10.5281/zenodo.14532037. – EDN JJBGYH.

23. Геоинформационно-аналитическая модель повышения качества окружающей среды городов Центрального Черноземья / С. А. Епринцев, С. А. Куролап, О. В. Клепиков [и др.] // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. – 2024. – Т. 2, № 9. – С. 27-33. – DOI 10.23885/2500-123X-2024-2-9-27-33. – EDN ZGNIID.

24. Корниенко В. О. Механическая устойчивость *Fagus sylvatica* L. в условиях юга Восточно-Европейской равнины: теория потери устойчивости / В. О. Корниенко, А. С. Яицкий // Самарский научный вестник. – 2024. – Т. 13, № 2. – С. 42-51. – DOI 10.55355/sn2024132104. – EDN EJFASI.

25. Епринцев С. А. Глава 6. Геоинформационное зонирование территории городов Центрального Черноземья по экологическим рискам загрязнения воздушного бассейна // Экологические риски аэротехногенного загрязнения промышленных городов Центрального Черноземья. – Воронеж: "Цифровая полиграфия", 2024. – С. 223-252. – EDN ZKZQGV.

#### INFLUENCE OF SPECIFIC TECHNOGENESIS FACTORS IN THE CITY OF SHAKHTERSK ON THE ANNUAL GROWTH OF PINUS SYLVESTRIS L. NEEDLES

**Annotation.** Based on the research conducted in 2023-2024, routes were developed and studies were conducted to determine the impact of anthropogenic factors, such as increased radiation levels, dustiness, and soot, on the annual growth of *Pinus sylvestris* L. needles.

**Keywords:** phytomonitoring, phytoиндикация, Donbas, rock piles, dust deposition.

**Kramarenko A.A.**

Scientific adviser: Safonov A.I. Ph.D., Head of the Department of Botany and Ecology Donetsk State University  
E-mail: [annakramar3nko@yandex.ru](mailto:annakramar3nko@yandex.ru)

УДК 611.018.82

## КОРРЕКЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ТАУРИНА ИНДУЦИРОВАННЫХ ЭТАНОЛОМ АФФЕКТИВНЫХ РАССТРОЙСТВ

*Лебедь Е.Д., Литвиненко В.А., Фесенко М.А.*  
*Научный руководитель: Балакирева Г.А., канд. биол. наук, доцент*  
*ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

*Аннотация.* Длительная алкоголизация приводит к значительному сокращению исследовательской (в 15-19 раз,  $p < 0,05$ ) и двигательной (в 9-19 раз,  $p < 0,05$ ) активности у исходно средне- и высокоактивных самцов. Дальнейшее введение таурина нивелирует выявленные нарушения у животных с исходно высоким уровнем активности (в 7,5-9 раз,  $p < 0,05$ ). Хроническое введение этанола сопровождается снижением выраженности депрессивноподобных проявлений (в 1,5-2,3 раза,  $p < 0,05$ ) у всех самцов, не зависимо от их исходного уровня активности, а таурин восстанавливает исходный уровень депрессивности у низкоактивных особей. Двухнедельное введение этанола угнетает эмоциональность высокоактивных особей в 1,3 раза ( $p < 0,05$ ). Таурин не влияет на данную тенденцию у этой подгруппы крыс. У исходно низко- и среднеактивных самцов эмоциональность не проявляет чувствительности к проводимым воздействиям.

*Ключевые слова:* таурин, алкоголизация, активность, депрессивность.

**Введение.** Проблема эффективной коррекции патологических изменений, формирующихся при длительном употреблении этанолсодержащих соединений, не вызывает сомнений в своей актуальности. Воздействие этанола на организм носит системный характер и затрагивает различные функциональные звенья, включая центральную нервную систему. При длительном употреблении алкоголя формируются стойкие нарушения регуляторных механизмов, что определяет необходимость поиска средств их коррекции [1].

Известно, что продукты метаболизма этанола способны изменять нейромедиаторный баланс, в частности, ослаблять тормозные процессы в ЦНС, что может проявляться в состоянии повышенной возбудимости.

Ряд исследований указывает на то, что устойчивая алкоголизация сопровождается снижением уровня таурина – соединения, участвующего в модуляции синаптической передачи и поддержании энергетического обмена нейронов [2]. Учитывая данное обстоятельство, представляется целесообразным оценить возможность применения экзогенного таурина для коррекции нарушений двигательного поведения, индуцированных продолжительным введением этанола у самцов лабораторных крыс.

**Основная часть.** В экспериментальной части исследования были задействованы 30 беспородных самцов белых крыс с массой тела 180-220 граммов, содержащиеся в стандартных условиях вивария. Оценка поведенческой активности проводилась в условиях теста "открытого поля" [3]. Продолжительность каждого сеанса тестирования составляла 5 минут. В ходе эксперимента было зафиксировано несколько показателей, в частности, исследовательская и двигательная активность. В перечень исследовательской активности вошли количество выглядываний животных в отверстия и количество стоек на задних конечностях. В перечень двигательной активности – число пересеченных квадратов.

Депрессивное поведение устанавливали с помощью 6-минутного теста Порсолта путем подсчета суммарного времени неподвижности, активного, пассивного плавания и частоты актов неподвижности [3]. Эмоциональность оценивали по количеству фекальных боллусов.

Каждая особь подвергалась тестированию в "открытом поле" и тесте Порсолта трижды. Первое тестирование проводилось в базовых условиях для определения исходного уровня поведенческой активности. Второе тестирование выполнялось после

двухнедельного курса алкоголизации животных. Третье тестирование осуществлялось после введения таурина.

Алкоголизация осуществлялась путем ежедневного внутривентрального введения 10%-ного раствора этанола из расчета 2 мл/кг массы тела животного на протяжении 14 суток [4]. В течение аналогичного срока, применяли таурин в дозе 50 мг/кг (способ введения – внутривентральный) [5]. До начала эксперимента по моделированию алкоголизации все животные прошли первичное тестирование в «открытом поле». На основании оценки их исследовательской активности было проведено разделение особей на группы, что позволило учесть исходные индивидуальные различия поведенческого профиля.

Обработка полученных данных проводилась с использованием стандартных методов вариационной статистики в программах STATISTIKA 6.0 и Microsoft Office Excel 2003. Классификация животных по уровню активности осуществлялась на основании сигмального отклонения ( $\pm 0,67\delta$ ) [6]. Статистическую значимость различий между контрольными и экспериментальными показателями определяли с помощью U-критерия Манна–Уитни при уровне значимости  $p < 0,05$ .

Контрольное тестирование показало, что 50% исследуемых крыс характеризовались средним уровнем поведенческой активности, тогда как животные с низкими и высокими показателями составили примерно по 25% от общей выборки.

В таблице 1 представлены сравнительные характеристики поведенческих параметров у крыс с различной исходной активностью в контрольных условиях.

Таблица 1. Показатели поведения животных с различными уровнями активности в контрольных условиях

Показатели поведения	Уровень активности		
	низкий	средний	высокий
Результаты тестирования в открытом поле			
Исследовательская активность	2,4 $\pm$ 0,40 <sup>▲</sup>	21,6 $\pm$ 1,29	34,3 $\pm$ 2,02 <sup>▲*</sup>
Двигательная активность	2,8 $\pm$ 0,49 <sup>▲</sup>	25,1 $\pm$ 2,12	39,0 $\pm$ 4,38 <sup>▲*</sup>
Результаты тестирования в тесте Порсолта			
Суммарное время неподвижности, с	57,0 $\pm$ 8,11	55,3 $\pm$ 5,22	68,5 $\pm$ 10,14
Суммарное время пассивного плавания, с	22,8 $\pm$ 4,12	32,7 $\pm$ 4,65	37,0 $\pm$ 6,33 <sup>*</sup>
Суммарное время активного плавания, с	280,2 $\pm$ 9,31	272,0 $\pm$ 7,58	254,5 $\pm$ 10,25 <sup>*</sup>
Общее количество периодов замираний	20,4 $\pm$ 1,98	23,1 $\pm$ 2,16	25,5 $\pm$ 4,59
Количество фекальных болюсов	5,4 $\pm$ 1,48	5,8 $\pm$ 0,66	8,0 $\pm$ 0,82 <sup>▲*</sup>

▲ – Статистически достоверные различия при сопоставлении показателей условного контроля в виде группы животных со средним уровнем активности с группами низкого и высокого уровня активности ( $p < 0,05$ ); \* – статистически достоверные различия при сопоставлении показателей групп с высоким и низким уровнем активности ( $p < 0,05$ )

Анализ поведенческих показателей свидетельствует о том, что выраженность исследовательской активности в тесте «открытое поле» напрямую связана с уровнем

двигательной активности: у животных с высокими значениями первого показателя регистрируются и максимальные двигательные реакции, тогда как при низкой исследовательской активности двигательные параметры минимальны. По результатам тестирования животных с исходно разным уровнем активности в контроле в условиях теста Порсолта установлено, что разноактивные самцы не отличаются по уровню депрессивности (т.е., суммарному времени неподвижности). Кроме того, у разноактивных самцов одинаковые значения общего времени пассивного и активного плавания, а также не отличается общая частота замираний.

У самцов с исходно средним и высоким уровнем активности длительная алкоголизация значительно сократила проявления исследовательской и двигательной активности в 15 и 8 раз соответственно ( $p < 0,05$ ). В то время как у животных с исходно низким уровнем активности наблюдалось усиление показателей исследовательского поведения в 2 раза ( $p < 0,05$ ), а проявления двигательной активности не подверглись изменениям.

Дальнейшее введение таурина алкоголизированным самцам привело к некоторой компенсации нарушений исследовательского (в 7,7 раза,  $p < 0,05$ ) и двигательного (в 8,9 раза,  $p < 0,05$ ) поведения в подгруппе животных с исходно высоким уровнем активности, тогда как у крыс со средним уровнем активности достоверных изменений соответствующих показателей не выявлено. У низкоактивных особей введение таурина усилило стимулирующее влияние этанола ( $p < 0,05$ ) на исследовательское поведение и не повлияло на двигательную активность.

У всех подгрупп крыс длительная алкоголизация привела к сокращению общего времени неподвижности (в 1,6-2,3 раза,  $p < 0,05$ ), что указывает на антидепрессивный эффект 14-дневного введения этанола экспериментальным животным. Последующее введение таурина восстановило значения депрессивности ( $p < 0,05$ ) у исходно низкоактивных крыс, не повлияв на другие подгруппы животных.

Алкоголизация и последующее введение таурина не оказали эффектов на общее время пассивного плавания самцов, отличающихся низкой депрессивностью в исходном тестировании. Чувствительность к данным воздействиям проявили только среднеактивные и высокодепрессивные самцы: время пассивного плавания у них уменьшилось в 1,8 раза ( $p < 0,05$ ) и 2,4 раза ( $p < 0,05$ ), соответственно, на фоне алкоголизации и осталось на том же уровне после введения таурина.

Время активного плавания в тесте Порсолта в результате длительной алкоголизации увеличилось у самцов с исходно средней и высокой депрессивностью в 1,1 раза ( $p < 0,05$ ) и 1,2 раза ( $p < 0,05$ ), соответственно, что опровергает депрессогенный эффект этанола, описанный выше на крыс данной подгруппы.

Введение таурина сопровождалось снижением суммарного времени активного плавания у крыс с исходно высокой и средней выраженностью депрессивноподобного поведения, что так же не согласуется в полученными выше эффектами.

Общее количество периодов замираний, которое так же характеризует депрессивное поведение животных, изменилось следующим образом. У низкоактивных крыс уровень депрессивности достоверно уменьшился в 1,4 раза ( $p < 0,05$ ) после алкоголизации, но также достоверно увеличилось в 1,7 раза ( $p < 0,05$ ) после введения таурина. У среднеактивных особей уровень депрессивности уменьшился в 1,5 раза ( $p < 0,05$ ) после введения этанола, но достоверных изменений после коррекции таурином не было замечено. У высокоактивных крыс уровень депрессивности понизился в 2,2 раза ( $p < 0,05$ ) после введения этанола, но показатели алкоголизации достоверно не изменились после коррекции таурином.

Так как количество фекальных болюсов является показателем эмоционального состояния животных, можно наблюдать, что этанол не оказал действие на эмоциональный статус низко- и среднеактивных групп крыс. Но оказал влияние на

высокоактивных крыс, у них уровень эмоциональности понизился в 1,3 раза ( $p < 0,05$ ). В то время как введение таурина привело к понижению эмоциональности в 1,2 раза ( $p < 0,05$ ) у группы с исходно высоким уровнем депрессивности, и неизменности показателей у остальных группы депрессивных крыс.

**Выводы.** Таким образом, коррекционный потенциал таурина по восстановлению индуцированных длительным введением этанола нарушений исследовательского и двигательного поведения установлен у исходно высокоактивных животных, что проявляется в частичном восстановлении численных значений данных показателей. У исходно низкоактивных особей выявлен, напротив, усиливающий депрессивность эффект таурина на алкоголизированных особей данной подгруппы активности

Таким образом, полученные данные позволяют расширить современные представления о характере поведенческих и психоэмоциональных изменений, формирующихся при длительном воздействии этанола, а также о возможностях их последующей коррекции с учетом индивидуальных типологических особенностей животных.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шабанов П.Д. Основы наркологии / П.Д. Шабанов. – СПб.: Лань, 2002. – 560с.
2. Huxtable R.J. Physiological action of taurine / R.J. Huxtable // *Physiol. Rev.* – 1992. – V. 72. – P.101-163
3. Калуев А.В. Стресс, тревожность и поведение: актуальные проблемы моделирования тревожного поведения у животных / А.В. Калуев. – К.: CSF, 1998. – 98 с.
4. Индутный А.В. Метаболические предпосылки интолерантности к алкоголю в условиях стресса: Автореф. дисс. на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. – Омск, 1997. – 22 с.
5. Даниелян М.А. Протекторное влияние таурина на клеточные структуры гиппокампа крыс после интоксикации этанолом / М.А. Даниелян, В.П. Хачатрян, А.А. Саваян, О.А. Назарян, К.В. Карапетян, Дж.С. Саркисян // *Морфология.* – 2018. – Т. 12, № 4. – С. 31-40.
6. Шаляпина В.Г. Изменение приспособительного поведения активных и пассивных крыс вistar в водно-иммерсионной модели депрессии // *Журн.ВНД.* – 2006. – Т. 56, № 4. – С. 543-547.

#### **CORRECTIONAL POTENTIAL OF TAURINE INDUCED BY ETHANOL AFFECTIVE DISORDERS**

**Annotation.** Chronic alcoholization leads to a significant reduction in exploratory (15-19 times,  $p < 0.05$ ) and motor (9-19 times,  $p < 0.05$ ) activity in initially medium- and highly active males. Subsequent administration of taurine compensates (7.5-9 times,  $p < 0.05$ ) for this effect in highly active individuals. Chronic alcoholization has an antidepressant effect (1.5-2.3 times,  $p < 0.05$ ) in all males, regardless of their initial level of activity, while taurine restores the initial level of depression in low-active individuals. Two-week ethanol administration suppresses the emotional state of high-active individuals by 1.3 times ( $p < 0.05$ ). Taurine does not affect this trend in this subgroup of rats. In initially low- and medium-active males, emotionality does not show sensitivity to the applied stimuli.

**Keywords:** taurine, alcoholization, activity, depression.

**Lebed E.D., Litvinenko V.A., Fesenko M.A.**

Scientific adviser: Balakireva G.A. Ph.D., associate professor

Donetsk State University

E-mail: [g.a.balakireva@mail.ru](mailto:g.a.balakireva@mail.ru)

УДК 331.5-053.6

## ВИДОВОЙ СОСТАВ ДРЕВЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ Г.ЯСИНОВАТАЯ

*Пикалова М.В.*

*Научный руководитель: Демьяненко Т.В., канд. биол. наук, доцент  
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

*Аннотация:* В работе представлены результаты изучения видового состава древесно-кустарниковых насаждений скверов и площадей центральной части г. Ясиноватая. Проведен экоморфный анализ древесных растений.

*Ключевые слова:* древесно-кустарниковые насаждения, городская среда, город Ясиноватая.

**Введение.** Зеленые насаждения играют особую роль в формировании благоприятных условий для жизни и деятельности человека, оказывая комплексное воздействие на физическое и психоэмоциональное состояние населения, а также регулируя многочисленные городские процессы [2, с. 41 ]. В условиях антропогенного давления на природные комплексы, проблема сохранения и оптимизации городской среды приобретает значительную актуальность. При изучении окружающей среды с помощью биологических систем и их реакций, одним из основополагающих аспектов является выяснение видового состава древесно-кустарниковых растений в городских насаждениях. Последний, обновился почти на треть в последнее время и в основном декоративными видами. Древесные растения являются неотъемлемой частью городского ландшафта, выполняя широкий спектр функций, которые можно сгруппировать по нескольким направлениям: санитарно-гигиенические, социально-оздоровительные, эстетические, продовольственные, защитные, а также инженерно-благоустроительные, однако их состояние и способность выполнять эти функции зависят от ассортимента видов [5, с. 12; 3, с. 5]. Ранее в озеленении городских насаждений использовали в основном растения, имеющие хорошую пылеулавливающую и фильтрующую способности. Таким образом, изучение городской растительности с флористических позиций имеет большое значение в плане биомониторинга флористических фракций [4, с. 47].

Изучение видового состава древесной растительности проводили в городе Ясиноватая, на территориях скверов и площадей центральной части (рис. 1, 2).



Рисунок 1 – Аллея центральной части г. Ясиноватая  
(источник: спутниковый снимок яндекс карты )



Рисунок 2 – Парк железнодорожников г. Ясиноватая (источник: спутниковый снимок яндекс карты )

По литературным источникам определили требование растений к питательности почвы, засухоустойчивость, отношение к свету и способность к быстрому росту в более лучших условиях произрастания [2, с. 42]. Ниже приведен анализ полученных данных на примере древесной растительности. Всего определено 17 видов деревьев, которые относятся к 9 семействам (таблица 1).

Таблица 1 – Биоэкологическая характеристика древесных растений г. Ясиноватая.

Название растения	Трофо-морфа	Гигро-морфа	Цено-морфа	Практическое использование
<b>ПОРЯДОК FABALES – БОБОВЫЕ</b>				
<b>СЕМЕЙСТВО FABACEAE LINDL. - БОБОВЫЕ</b>				
1. <i>Robinia pseudoacacia</i> L. – робиния ложноакация	Og.-Mg.Tr	MsKs	Sil.	декоративное, медоносное, почвоулучшающее
<b>ПОРЯДОК SAPINDALES - САПИНДОВЫЕ</b>				
<b>СЕМЕЙСТВО SAPINDACEAE JUSS. – САПИНДОВЫЕ</b>				
2. <i>Aesculus hippocastanum</i> L. - каштан конский	MsTr	Ms	Sil	декоративное, медоносное
3. <i>Acer platanoides</i> L. – клен остролистный	MgTr	Ms	Sil	декоративное, древесинное
4. <i>A. pseudoplatanus</i> L. – клен ложноплатановый	MgTr	Ms	Sil(Cul)	декоративное, древесинное
<b>ПОРЯДОК ROSALES - РОЗОЦВЕТНЫЕ</b>				
<b>СЕМЕЙСТВО ROSACEAE JUSS. - РОЗОВЫЕ</b>				
5. <i>Sorbus intermedia</i> (Ehrh.) Pers. – рябина промежуточная	MsTr	KsMs	Sil	декоративное
6. <i>S. latifolia</i> (Lam.) Pers. – рябина широколистная	MsTr	Ms	Sil.(Cul.)	декоративное
7. <i>Malus x purpurea</i> (Barbier) Rehder – яблоня краснолистная	MsTr	Ms	Cul.	декоративное
<b>ПОРЯДОК URTICALES – КРАПИВНЫЕ</b>				
<b>СЕМЕЙСТВО ULMACEAE MIRB. - ВЯЗОВЫЕ</b>				
8. <i>Ulmus minor</i> Mill. – вяз граболистный	MsTr	MsKs	Sil.	декоративное, древесинное

Окончание таблицы 1

9. <i>Ulmus laevis</i> Pall. – вяз гладкий	MsTr	Ms	Sil.	декоративное, древесинное
ПОРЯДОК MALVALES - МАЛЬВОЦВЕТНЫЕ				
СЕМЕЙСТВО MALVACEAE JUSS. - МАЛЬБОВЫЕ				
10. <i>Tilia platyphyllos</i> Scop. – липа крупнолистная	MgTr	KsMs	Sil.(Cul.)	декоративное, медоносное, древесинное
11. <i>Tilia x europaea</i> L. – липа обыкновенная	MgTr	KsMs	Sil.	декоративное, медоносное
12. <i>Tilia cordata</i> Mill. - липа мелколистная	MgTr	KsMs	Sil.	декоративное, медоносное, древесинное
ПОРЯДОК FAGALES - БУКОЦВЕТНЫЕ				
СЕМЕЙСТВО BETULACEAE S.F.GRAY - БЕРЁЗОВЫЕ				
13. <i>Betula pendula</i> Roth – береза повислая	OgTr.	Ms	Sil.	древесинное, декоративное
14. <i>Betula pubescens</i> Ehrh. – берёза пушистая	OgTr	HgMs	Sil.	декоративное
ПОРЯДОК VIOLALES (PASSIFLORALES) – ФИАЛКОВЫЕ				
СЕМЕЙСТВО SALICACEAE MIRB. - ИВОВЫЕ				
15. <i>Populus tremula</i> L. – осина обыкновенная	Og.-MsTr	HgMs	Sil.	древесинное, почвозащитное
ПОРЯДОК PINALES - СОСНОВЫЕ				
СЕМЕЙСТВО PINACEAE LINDL. - СОСНОВЫЕ				
16. <i>Picea abies</i> (L.) H.Karst. – ель обыкновенная	Og.-MsTr	HgMs	Sil(Cul)	древесинное, декоративное
ПОРЯДОК CUPRESSALES - КИПАРИСОВЫЕ				
СЕМЕЙСТВО CUPRESSACEAE S.F.GRAY - КИПАРИСОВЫЕ				
17. <i>Thuja occidentalis</i> L. – туя западная	MsTr	Ms	Sil(Cul)	декоративное

Примечание: MsTr – мезотроф; MsKs – мезоксерофит; (Ru)SilPr – сильвант-пратант (рудерант); KsMs – ксеромезофит; Sil – сильвант; MsHg – мезогигрофит; SilRu – сильвант-рудерант; HgMs – гигромезофит; Ms – мезофит; SilPr – сильвант-пратант; StRu – степант-рудерант; (Ru)Cul – культурант, иногда как сорное; St – степант; Cul – культурант; RuPr – рудерант-пратант; PrRu – пратант-рудерант; Sil(Cul) – сильвант, иногда в культуре; PalSil – палютант-сильвант.

Экоценотический анализ позволяет раскрыть взаимосвязь и адаптированность растительных организмов к условиям местопроизрастания и к каждому структурному элементу экотопа. Результаты проведенной работы представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Экоценотический анализ древесных растений города Ясиноватая.

Ценотические группы по А.Л. Бельгарду	Количество видов	Процент участия	Экологические группы	Количество видов	Процент участия
			Гигроморфа:		
Sil (Cul)	5	29,41%	Ms	8	47,06%
Cul	1	5,88%	MsKs	2	11,76%
Sil.	11	64,71%	KsMs	4	23,53%
			HgMs	3	17,65%
<b>Всего</b>	<b>17</b>	<b>100%</b>	<b>Всего</b>	<b>17</b>	<b>100%</b>

Окончание таблицы 2

Ценоотические группы по А.Л. Бельгарду	Количество видов	Процент участия	Экологические группы	Количество видов	Процент участия
			Трофоморфа:		
			Og.-Mg.Tr	1	5,88%
			Og.-MsTr	2	11,76%
			OgTr.	2	11,76%
			MsTr	7	41,18%
			MgTr	5	29,41%
			<b>Всего</b>	<b>17</b>	<b>100%</b>

В результате установили, что в видовом составе деревьев аллеи центральной части города и территория парка Железнодорожников преобладают сивлванты (64,71 %) и окультуренные сивлванты (29,41%), что указывает на выраженную лесную направленность растительности, с некоторой культурной антропогенностью (5,88 %). Анализ трофической принадлежности выявил, что группа мезотрофов составляет 41,18 %, а мегатрофов - 29,41%, что в совокупности указывает на требовательность древесных пород к достаточному плодородию почвы. Среди гигроморф доля мезофитов составляет около 50 % (47,06%), что может указывать на требовательность растительного состава к умеренному увлажнению. Доля ксеромезофитов (23,53%) и мезоксерофитов (11,76%) в совокупности приближается также к 40%, что указывает на значимую часть видов, устойчивых к периодическому дефициту влаги, а доля гигромезофитов (17,65%) указывает на присутствие видов, предпочитающих более влажные участки. Все изученные виды обладают декоративными качествами. Большинство растений также являются медоносами и имеют древесное значение, что указывает на многофункциональность данных насаждений в озеленении города.

#### Выводы

1. Изученный видовой состав древесных насаждений рекреационных зон г. Ясиноватая представлен 17 видами, принадлежащим к 9 семействам. Наибольшим видовым разнообразием отличаются семейства Rosaceae (Розовые), Malvaceae (Мальвовые), Sapindaceae (Сапиндовые).

2. Биоэкологический анализ показал, что основу насаждений составляют мезофиты (47,06%) и мезотрофы (41,18%). Наличие значительной доли видов с признаками ксерофитизации (в сумме 35,29%) указывает на способность растений выдерживать антропогенную нагрузку и дефицит влаги в условиях городской застройки.

3. Экоценоотический анализ определил преобладание лесных видов, сивлвантов (64,71%) и сивлвантов, которые встречаются только в культуре (29,41%). Это указывает на то, что насаждения парка и аллеи сохраняют структуру, близкую к естественной лесной растительности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глухов А.З., Гришко С.Н., Хархота А.В. Результаты экологической оценки состояния зеленых насаждений. - 2015.
2. Глухов А.З., Хархота Л.В., Пастернак Г.А., Лихацкая Е.Н. Современное состояние дендрофлоры г. Харьызска. - 2016.
3. Горохов В.А. Городское зеленое строительство: Учеб. пособие для вузов. - М.: Стройиздат, 1991. - 416 с.
4. Демьяненко Т.В. Видовой состав кустарников в городских насаждениях города Макеевки // Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы IX Междунар. Конференции (Донецк, 15-17 октября). - 2024. - С. 47-49.
5. Теодоронский В.С. Озеленение населенных мест. Градостроительные основы (3-е изд., стер.). - Санкт-Петербург: Лань, 2024.

**THE SPECIES COMPOSITION OF TREE PLANTATIONS OF RECREATIONAL AREAS IN THE  
CENTRAL PART OF YASINOVATAYA**

**Annotation:** The paper presents the results of studying the species composition of tree and shrub plantations in squares and squares in the central part of Yasinovataya. An ecomorphic analysis of woody plants was carried out.

**Keywords:** woody and shrubby plantations, urban environment, Yasinovataya city.

**Pikalova M.V.**

Scientific supervisor: Demyanenko T.V., PhD. Biol. sciences, Associate Professor  
Donetsk state university

E-mail: [m4riapikalova@yandex.ru](mailto:m4riapikalova@yandex.ru)

УДК 581.9:582.912.4:504.055

## ЦЕНОПОПУЛЯЦИИ *PLANTAGO MAJOR* L. В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННО ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ЭКОТОПОВ Г. ДОКУЧАЕВСКА

*Потапенко Е.М.*

*Научный руководитель: Калинина А.В., ассистент  
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

*Аннотация.* В статье представлены результаты изучения ценопопуляций *Plantago major* L., сформированные на антропогенно трансформированных участках г. Докучаевска (ДНР). Выявлены фитоценоотические характеристики сообществ с участием *P. major*, а также особенности онтогенетической структуры ценопопуляций вида.

*Ключевые слова:* ценопопуляция, *Plantago major* L., антропогенно трансформированные экотопы, фитоценоотическая характеристика, онтогенетическая структура.

Рост городских территорий и увеличение доли городского населения приводят к существенной трансформации природных ландшафтов, а также увеличению антропогенной нагрузки на окружающую среду [3, 4, 7, 9]. Урбоэкосистемы подвержены ряду экологических проблем, таких как запыление и загрязнение атмосферного воздуха, шумовое воздействие, образование зон повышенного перегрева, фрагментация естественных местообитаний, снижение биоразнообразия и др. Обеспечение экологической устойчивости становится приоритетной задачей, решение которой невозможно без интеграции природных элементов в городскую застройку через создание зеленой инфраструктуры [8–10].

Мониторинг состояния урбанофлоры приобретает особую научную и практическую значимость, направленную на изучение состояния городской среды и разработку мер для её оптимизации. Малоизученный спонтанный компонент флоры обладает существенным потенциалом для целей озеленения, т.к. играет ключевую роль в поддержании биоразнообразия и регуляции микроклимата [3, 4].

Докучаевск – типичный город Донбасса, территория которого характеризуется высоким уровнем антропогенной трансформации, обусловленной деятельностью Докучаевского флюсо-доломитного комбината, предприятиями стройиндустрии, интенсивной сельскохозяйственной деятельностью и транспортной сетью.

Виды рода *Plantago* обладают широкой экологической амплитудой, высокой встречаемостью на урбанизированных экотопах, устойчивостью к антропогенному стрессу [3, 5]. На территории города Докучаевск наиболее распространёнными видами рода определены *Plantago major* L., *Plantago lanceolata* L., *Plantago media* L.

В качестве модельного объекта был выбран подорожник большой (*Plantago major* L.) – рудеральный вид, который благодаря значительному адаптивному потенциалу и высокой антропоотолерантности способен существовать в экстремальных условиях техногенеза [5].

Оценка функциональной роли подорожника большого в городской среде, его индикаторного потенциала требует комплексного анализа, включающего исследования на разных уровнях организации.

Цель исследования – провести анализ фитоценоотических условий сообществ с участием ценопопуляций (ЦП) *P. major* при варьировании степени трансформации локальных экотопов, выявить особенности онтогенетической структуры вида.

Исследование проводили в вегетационные периоды 2024 – 2025 гг. на 5 пробных площадках (ПП), размеры которых варьировал от 50 м<sup>2</sup> до 100 м<sup>2</sup>. ПП расположены в различных частях города и его окрестностей, они отличаются микроклиматическими условиями, уровнем антропогенной нагрузки и степенью трансформации. Для каждой

экспериментальной площадки составлены геоботанические описания с использованием общепринятых геоботанических методик, выполнено фотографирование фитообъектов, а также собран гербарий. При описании онтогенетических особенностей ЦП использовали методики Т. А. Работнова, А.А. Урановым, а также онтогенетические атласы Жуковой [1, 2, 6, 11].

ЦП 1 размещена вдоль обочины автомобильной дороги на ул. Центральная. ЦП характеризуется разреженным травянистым покровом, подвержена умеренной рекреационной нагрузке, периодическому скашиванию.

ЦП 2 находится вблизи автозаправочной станции по ул. Ленина. Пробная площадка подвержена механическому воздействию, вытаптыванию, нерегулярному скашиванию, а также негативному воздействию со стороны интенсивного движения автотранспорта (Рисунок 1).

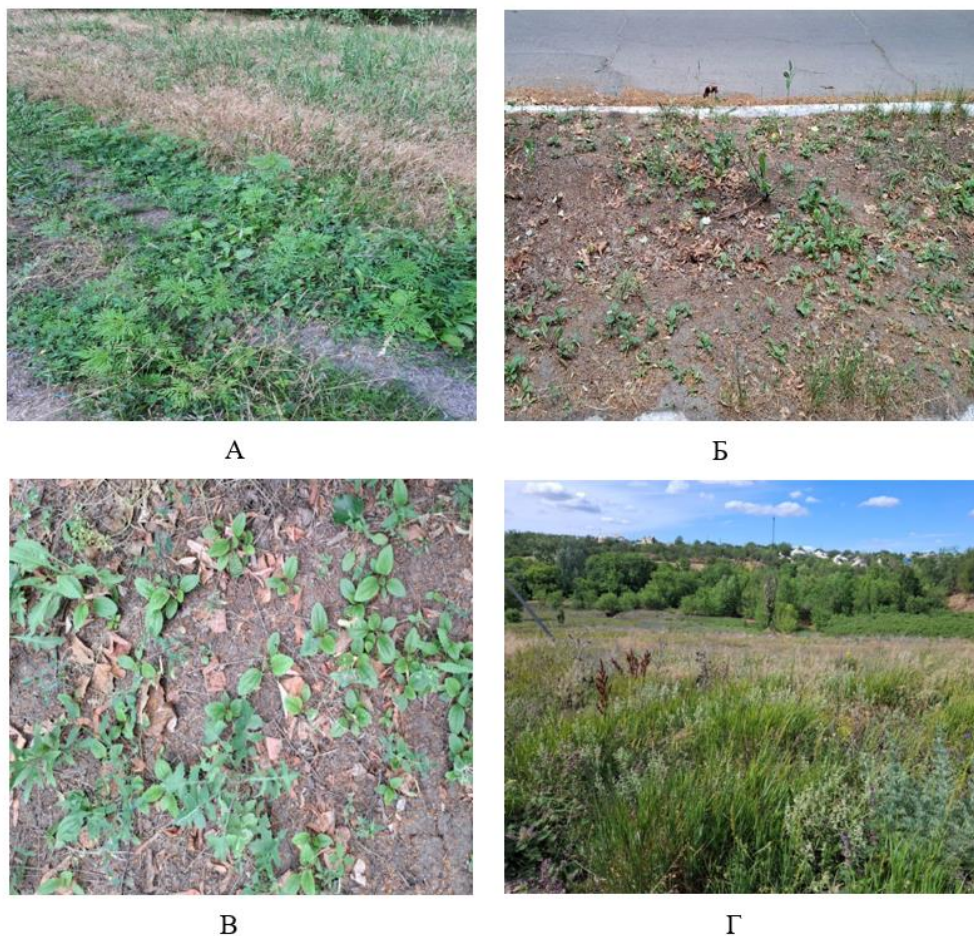


Рисунок 1 – Ценопопуляции *Plantago major* L. на антропогенно нарушенных территориях г. Докучаевск:

А – ЦП 2, сформированная вблизи автозаправочной станции по ул. Ленина; Б – ЦП 3, выявлена в районе автостанции на ул. Ленина; В – ЦП 4, обнаружена вблизи Докучаевского флюсо-доломитного комбината на ул. Тельмана; ЦП 5 расположена на окраине города, ул. Мостовая

ЦП 3 произрастает в районе автостанции на ул. Ленина. Данный участок отличается высокой интенсивностью вытаптывания. Скашивание не чаще чем один раз за вегетационный период.

ЦП 4 выявлена на территории санитарно-защитной зоны Докучаевского флюсо-доломитного комбината (ул. Тельмана). Экспериментальный участок характеризуется

комплексным техногенным загрязнением, механическое воздействие незначительное, скашивание отсутствует.

ЦП 5 расположена на ул. Мостовой, на окраине городской застройки, техногенная и рекреационная нагрузка минимальна в сравнении с вышеперечисленными ПП.

Площадь пробной площадки ЦП 1 составляет 100 м<sup>2</sup>. Общее проективное покрытие (ОПП) составляет 40%, видовое богатство составило 12 видов. Доминантом выделен *Plantago major* L., содоминанты – *Capsella bursa-pastoris* (L.) и *Chenopodium album* L. Средняя плотность особей *P. major* составила 12,5 экз/0,25 м<sup>2</sup>. Высота травянистого покрова от 10 до 30 см.

ЦП 2 сформирована на участке размером около 80 м<sup>2</sup>, ОПП – 85%, видовое богатство – 17 видов. Преобладающими видами являются *P. major*, содоминанты – *Ambrosia artemisiifolia* L. и *Bromus arvensis* L. Средняя плотность особей *P. major* составила 8,5 экз/0,25 м<sup>2</sup>. Высота травостоя от 15 до 50 см.

ЦП 3 произрастает на открытом пространстве, высота травостоя около 15 см, ОПП – 30%. Видовое разнообразие представлено 13 видами растений. В сообществе преобладают *P. major*, *Lolium perenne* L., *Taraxacum officinale* F.H. Wigg. Средняя плотность ценопопуляции *P. major* составила 7 экз./0,25 м<sup>2</sup>.

ЦП 4 размещена на участке площадью 50 м<sup>2</sup>, ОПП – 38%, видовое разнообразие – 9 видов. Высота травянистого покрова варьирует от 10 до 20 см. В сообществе преобладают *P. major* (15%), *Sonchus arvensis* L. (10%), *Atriplex patula* L. Средняя плотность ценопопуляции *P. major* составила 18,5 экз./0,25 м<sup>2</sup>.

ПП с участие ЦП 5 занимает площадь 100 м<sup>2</sup>. Всего на участке зафиксировано 24 вида сосудистых растений, ОПП – 90%, видовая насыщенность составила 0,15 экз/0,25 м<sup>2</sup>. Высота травостоя изменяется в широких пределах 30 – 90 см.

Характер облива *P. major* в изученных ценопопуляциях неоднотипен: на ПП 1 и ПП 4 образуются достаточно многочисленные группы подорожника большого, частное проективное покрытие (ЧПП) подорожника большого достигает 30–40%. На пробных площадках ЦП 2, ЦП 3, ЦП 5 ЧПП вида варьирует от 5% до 20%.

Анализ онтогенетической структуры ЦП подорожника большого показал, что в ЦП 1 – ЦП 4 доминируют особи прегенеративного возрастного периода, а в ЦП 5 преобладают средневозрастные генеративные особи (Рисунок 2).

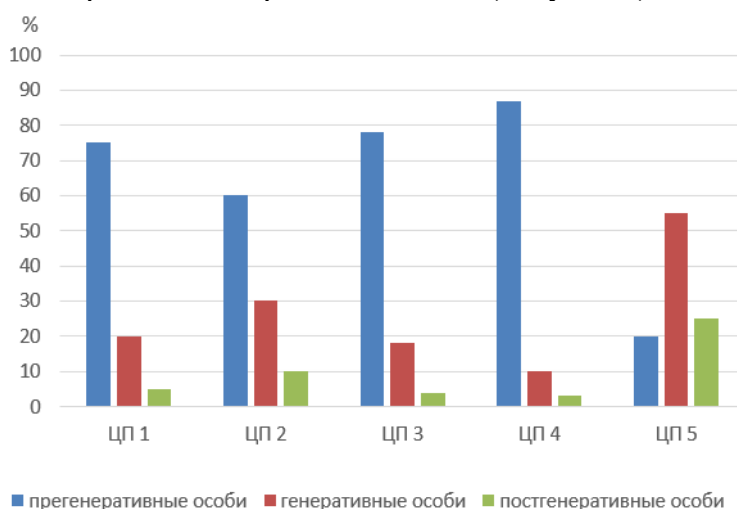


Рисунок 2 – Соотношение онтогенетических фракций в ценопопуляциях *Plantago major* L. на антропогенно нарушенных экотопах г. Докучаевска

Таким образом, в ходе анализа фитоценологических условий сообществ с участием *P. major* выявлена зависимость параметров ценопопуляций от степени проективного покрытия и видового разнообразия. Максимальная плотность особей *P. major* (18,5

экз./0,25 м<sup>2</sup>) наблюдается в разреженных фитоценозах с низким общим проективным покрытием (ОПП 30–40%) и бедным видовым составом (9–13 видов), что соответствует условиям ранней сукцессионной стадии с высокой доступностью ресурсов.

По мере увеличения ОПП до 85–90 % и роста видового богатства (до 17–24 видов) плотность особей *P. major* снижается (до 7–8,5 экз./0,25 м<sup>2</sup>), доля особей прегенеративного периода уменьшается, что свидетельствует об усилении конкуренции со стороны доминантов и содоминантов (*A. artemisiifolia*, *L. perenne*, *S. arvensis*). Эколого-ценотическая ниша смещается от открытых рудерализированных экотопов к более сомкнутым ассоциациям по мере сукцессионного развития фитоценоза.

Полученные данные подтверждают рудеральную стратегию *P. major* с высокой толерантностью к нарушенности субстрата и способностью к быстрому освоению свободных ниш. Ценопопуляционные параметры *Plantago major* L. обладают выраженным индикаторным потенциалом. В связи с этим, для интеграции данного вида в систему фитомониторинга необходимы дальнейшие исследования, направленные на выявление информативных индикаторных признаков и их стандартизацию.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Донецкого государственного университета «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (FRRE-2024-0018).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жукова Л. А. (отв. ред.) Онтогенетический атлас лекарственных растений. Том I. – Йошкар-Ола: МарГУ, 1997. – 240 с.
2. Злобин Ю.А. Популяционная экология растений: современное состояние, точки роста: моногр. – Сумы: Изд-во Университетская книга; 2009. – 239 с.
3. Калинина, А. В. Состояние ценопопуляций вида *Plantago major* L. в антропогенно нарушенных экотопах г.Макеевки // Актуальные проблемы экологии и природопользования: Сборник трудов XXV Международной научно-практической конференции. В 2-х томах, Москва, 26–28 апреля 2024 года. – Москва: Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы, 2024. – С. 99-102.
4. Калинина, А. В. Урбанофлора щелевых экотопов Донецко-Макеевской агломерации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2025. – № 2. – С. 38–43. – DOI 10.5281/zenodo.15082400.
5. Митрошенкова А.Е., Ильина В.Н. К биологии и экологии *Plantago media* L. и *P. major* L. Самарской области (демографическая и виталитетная структура ценопопуляций) // Фиторазнообразие Восточной Европы. – 2021. – №2. 36–42.
6. Работнов Т.А. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах. Тр. БИН АН СССР. Сер. 3, Геоботаника. – 1950. – Т6(7) – 204 с.
7. Сафонов А.И. Опыт фитоиндикационной оценки антропогенных экотопов Донбасса (обзор). Теоретическая и прикладная экология. – 2025. – №2. – С. 16–29.
8. Сафонов, А. И. Фитомониторинг беллигеративных ландшафтов Центрального Донбасса // Геоэкология на современном этапе развития наук о земле : Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 110-летию ЮФУ и 60-летию кафедры геоэкологии и прикладной геохимии, Ростов-на-Дону, 30 сентября 2025 года. – Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2025. – С. 354–357.
9. Сафонов А.И. Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций. – Донецк, 2024. – 289 с.
10. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025625320 Российская Федерация. Видовой состав растений-индикаторов техногенных экотопов Донбасса : заявл. 10.11.2025 : опубл. 19.11.2025 / А. И. Сафонов, А. В. Калинина ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донецкий государственный университет».
11. Уранов А.А. Возрастной спектр ценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов. Научные доклады высшей школы. Биол. науки. – 1975. – №2. – С. 7–34.

**CENOPOPULATIONS OF *PLANTAGO MAJOR* L. IN THE CONDITIONS OF  
ANTHROPOGENICALLY TRANSFORMED ECOTOPES OF DOKUCHAEVSK**

**Annotation.** This article presents the results of a study of *Plantago major* L. cenopopulations formed in anthropogenically transformed areas of the city of Dokuchaevsk (DPR). The phytocenotic characteristics of communities involving *P. major*, as well as the ontogenetic structure of the species' cenopopulations, are identified.

**Key words:** cenopopulation, *Plantago major* L., anthropogenically transformed ecotopes, phytocenotic characteristics, ontogenetic structure.

**Potapenko E.M.**

Scientific adviser: Kalinina A.V. assistant

Donetsk State University

E-mail: [kafedra\\_botaniki\\_ecologii@mail.ru](mailto:kafedra_botaniki_ecologii@mail.ru)

УДК 577.3

**ОЦЕНКА ЖИЗНЕННОГО СОСТОЯНИЯ *FRAXINUS PENNSYLVANICA* В ЛЕСОПОСАДКЕ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ТОРЕЗ****Реуцкая В.В.****Научный руководитель: Корниенко В.О., канд. биол. наук, доцент  
ФГБОУ ВО «ДонГУ»**

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследования влияния погодно-климатических условий на состояние древесных насаждений *Fraxinus pennsylvanica* в г. Торез. Анализ показал, что комплексное воздействие вызывает критические повреждения: обломы скелетных ветвей, вершинной части ствола и полную потерю механической устойчивости. Морфометрический анализ (n=13) установил, что средний диаметр ствола у основания составил  $18,0 \pm 1,2$  см, при этом деструкции подвергались фрагменты диаметром до 39,4 см. Средняя длина обломанных фрагментов составила 533,8 см, что значительно превышает длину уцелевшей части дерева (160,7 см). Выявлено, что подобные повреждения носят необратимый характер, снижая жизненное состояние растений до 3–4 баллов (по шкале В.А. Алексеева), и ведут к каскадному выпадению особей из состава лесополосы вследствие вторичного заражения вредителями и патогенами.

**Ключевые слова:** *Fraxinus pennsylvanica*, лесопосадка, климат, обломы скелетных ветвей, ветровые нагрузки.

**Введение.** Введение. Антропогенная трансформация естественных экосистем и глобальные изменения климата являются ключевыми факторами, определяющими современную динамику урбанизированных и пригородных ландшафтов [1, 2]. Особую остроту приобретают экстремальные климатические явления, такие как перепады температуры, ветровые нагрузки и аномальные осадки [5, 8]. Эти явления выступают в качестве мощного фактора повреждения, приводящего к критическим механическим деформациям древостоев, снижению их устойчивости и жизнеспособности, что, в свою очередь, дестабилизирует экологические функции зеленых насаждений [3, 6].

Научный интерес к подобным катаклизмам обусловлен не только необходимостью оценки сиюминутного ущерба, но и важностью прогнозирования отдаленных экологических эффектов [10]. Повреждение архитектоники древостоя нарушает целостность лесного полога, что кардинально меняет микроклиматические условия, интенсивность ветрового и светового режимов, запуская вторичные сукцессионные процессы и снижая общую устойчивость биогеоценоза к последующим стрессам [4, 7, 9]. В этой связи актуальным является мониторинг состояния наиболее распространенных видов-озеленителей, таких как *Fraxinus pennsylvanica*, в условиях экстремальных нагрузок.

**Материалы и методы.** Мониторинговые исследования проводились в г. Торез в лесопосадке (рис.1) В зимний период вследствие резких изменений климатических условий (чередование оттепелей с резким похолоданием), произошло образование значительных гололедно-изморозевых отложений на кронах деревьев и в летний период. Под воздействием ветровых нагрузок и изменяющего климата, дендроценозы лесопосадки подверглись критическим деформациям. Экспериментальный участок был выбран в типичной городской лесопосадке, где преобладающим видом является *Fraxinus pennsylvanica* (ясень пенсильванский). Общую жизнеспособность и оценку состояния древесных растений оценивали с помощью интегральной общепринятой шкалы В.А. Алексеева [11]. Дополнительный осмотр кроны и стволов проводился с помощью фотофиксации.

**Цель работы** - оценка эколого-биологических последствий воздействия аномальных климатических факторов (обледенения и ветровых нагрузок) на состояние древесных насаждений на примере города Торез.

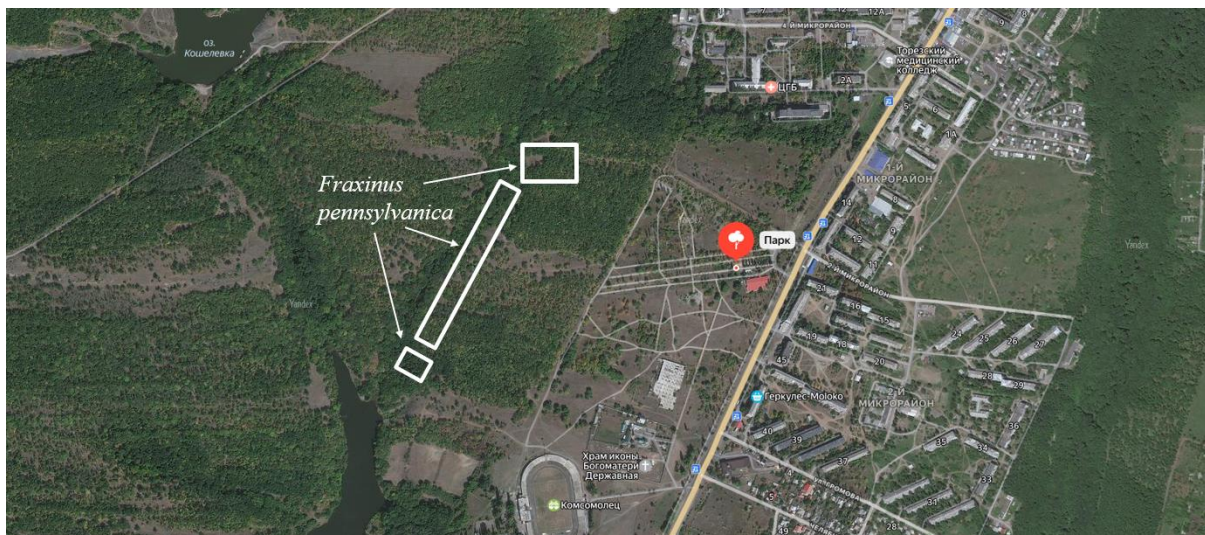


Рисунок 1- Карта мониторинговых исследований лесопосадки города Торез.

В результате оценки дендроценоза были зафиксированы следующие виды повреждений, вызванные весом обледенения и ветровым воздействием:

- облом скелетных ветвей и вершинной части ствола (деформация архитектоники);
- расщепление древесины в местах прикрепления ветвей первого порядка;
- полная потеря механической устойчивости растений с последующим выпадением.

Были проанализированы морфометрические параметры поврежденных деревьев ( $n=13$ ). Средний диаметр ствола у основания составил  $18,0 \pm 1,2$  см. При этом зафиксировано, что деструкции подвергались как тонкие ветви (диаметром 7,6 см), так и крупные скелетные части (диаметром до 39,4 см).

Установлено, что средняя длина обломанных фрагментов (ветвей или частей ствола) составила 533,8 см, в то время как средняя длина уцелевшей (остаточной) части дерева составила лишь 160,7 см.

Особое внимание заслуживает тот факт, что в ряде случаев диаметр в месте облома (в среднем 18,3 см) сопоставим или даже превышает средний диаметр основания ствола на участке, что указывает на специфику излома при обледенении, когда основная нагрузка ложится на развитую крону. Такие повреждения являются необратимыми и приводят к снижению жизненного состояния растений до 3–4 баллов по шкале В.А. Алексеева (сильно ослабленные и отмирающие), что в дальнейшем спровоцирует каскадное выпадение *Fraxinus pennsylvanica* из состава лесополосы из-за вторичного заражения энтомофитовредителями и фитопатогенными грибами(рис.2).







Рисунок 2- Повреждения на исследуемой территории

**Выводы.** В результате сочетанного воздействия обледенения и ветровых нагрузок в лесопосадке г. Тореза выявлены критические повреждения *Fraxinus pennsylvanica*. Установлено, что средняя длина обломанных частей (533,8 см) значительно превышает длину сохранившихся фрагментов стволов (160,7 см).

Основными типами нарушений являются облом скелетных ветвей и вершин, а также необратимые деформации ствола. Средний диаметр поврежденных элементов в месте излома составил  $18,3 \pm 2,8$  см.

Полученные данные свидетельствуют о потере механической устойчивости насаждения. Нарушение целостности крон ведет к деградации дендроценоза, что требует проведения санитарных рубок для предотвращения распространения болезней и улучшения экологического состояния городской среды.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние новых антропогенных факторов на состоянии древесных растений города Донецка / В. О. Корниенко, Р. В. Кишкань, А. С. Яицкий, А. О. Шкиренко // Самарский научный вестник. – 2024. – Т. 13, № 4. – С. 26-32. – DOI 10.55355/snv2024134104. – EDN BXIKNX.
2. *Taxus baccata* L. Under Changing Climate Conditions in the Steppe Zone of the East European Plain / V. Kornienko, A. Shkirenko, V. Reuckaya [et al.] // Plants. – 2025. – Vol. 14, No. 13. – DOI 10.3390/plants14131970. – EDN UTZUUC.
3. Корниенко, В. О. Механическая устойчивость *Fagus sylvatica* L. в условиях юга Восточно-Европейской равнины: теория потери устойчивости / В. О. Корниенко, А. С. Яицкий // Самарский научный вестник. – 2024. – Т. 13, № 2. – С. 42-51. – DOI 10.55355/snv2024132104. – EDN EJFASI.
4. Корниенко, В. О. Некоторые аспекты механической устойчивости вековых деревьев *Pinus pinea* L., произрастающих в условиях Крыма / В. О. Корниенко, Н. И. Клименко, С. И. Павлов // Самарский научный вестник. – 2023. – Т. 12, № 3. – С. 75-79. – DOI 10.55355/snv2023123110. – EDN UODLUG.
5. Корниенко, В. О. Влияние природно-климатических факторов на механическую устойчивость и аварийность деревьев березы повислой в г. Донецке / В. О. Корниенко, В. Н. Калаев // Лесоведение. – 2022. – № 3. – С. 321-334. – DOI 10.31857/S0024114822020073. – EDN KDUHDW.
6. Корниенко, В. О. Механическая устойчивость и аварийность древесных растений, произрастающих вдоль улицы Кирова города Донецка / В. О. Корниенко, А. С. Яицкий // Современная

наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2021. – № 11. – С. 24-32. – DOI 10.37882/2223-2966.2021.11.13. – EDN WZWWEQ.

7. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2020621085 Российская Федерация. Механическая устойчивость, аварийность и экология основных видов-озеленителей города Донецка : № 2020620885 : заявл. 08.06.2020: опублик. 30.06.2020 / В. О. Корниенко, В. Н. Калаев, А. П. Преображенский [и др.] ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ВГУ»). – EDN LOZMHN.

8. Корниенко, В. О. Влияние отрицательных температур на механическую устойчивость дуба красного (*Quercus rubra* L.) / В. О. Корниенко, М. В. Нецветов // Промышленная ботаника. – 2013. – Т. 13. – С. 180-186. – EDN YZUCEX.

9. Скуратов, И. В. Оценка устойчивости видов, гибридов и форм рода *Quercus* к эколого-патологическим факторам для защитного лесоразведения / И. В. Скуратов, Е. А. Крюкова // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1. – С. 418. – EDN PWBCYF.

10. Корниенко, В. О. Механическая устойчивость старовозрастных деревьев *Quercus robur* L. В условиях города Донецка / В. О. Корниенко, В. Н. Калаев, Н. Н. Харченко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2021. – Т. 7, № 4. – С. 60-68. – EDN WLEACB.

11. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.

#### ASSESSMENT OF THE VITAL STATE OF *FRAXINUS PENNSYLVANICA* IN A FOREST PLANTATION USING THE EXAMPLE OF THE CITY OF TOREZ

**Annotation.** The article presents the results of a study of the influence of weather and climate conditions on the condition of *Fraxinus pennsylvanica* tree plantations in the city of Torez. The analysis showed that the combined effect causes critical damage: breakage of skeletal branches, the top part of the trunk, and complete loss of mechanical stability. Morphometric analysis (n=13) revealed that the average trunk diameter at the base was 18.0 ± 1.2 cm, with fragments up to 39.4 cm in diameter undergoing destruction. The average length of the broken fragments was 533.8 cm, which is significantly longer than the length of the surviving part of the tree (160.7 cm). It was found that such damage is irreversible, reducing the vital state of the plants to 3-4 points (according to the V.A. Alekseev scale), and leading to a cascade of individuals falling out of the forest belt due to secondary infestation by pests and pathogens.

**Keywords:** *Fraxinus pennsylvanica*, forest planting, climate, broken skeletal branches, wind loads.

**Reutskaya V.V.**

**Scientific director:** Kornienko V.O., PhD in Biological sciences, Associate Professor  
Donetsk State University

E-mail: [reutskaya\\_valeria@mail.ru](mailto:reutskaya_valeria@mail.ru)

УДК 577.3

## ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОСТИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

*Реуцкая В.В.*

*Научный руководитель: Корниенко В.О., канд. биол. наук, доцент  
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

*Аннотация.* В обзоре представлен систематизированный анализ современных исследований, посвященных влиянию основных антропогенных факторов (загрязнение воздуха от автотранспорта и промышленности, засоление почв противогололедными реагентами, рекреационная нагрузка) на состояние древесных насаждений в различных городских и пригородных ландшафтах. Обобщены результаты работ, выявивших пространственную зональность загрязнения, специфические физиолого-биохимические ответы деревьев и динамику ухудшения их жизненного состояния. Анализ включает рассмотрение сравнительной устойчивости аборигенных и интродуцированных видов, хвойных и лиственных пород, а также барьерной и фиторемедиационной роли зелёных насаждений. На основе выявленных диагностических критериев сформулированы практические рекомендации по подбору устойчивых видов для озеленения зон с высокой антропогенной нагрузкой.

*Ключевые слова:* антропогенная нагрузка, зелёные насаждения, урбанизация, автотранспортное загрязнение, устойчивость.

*Введение.* В условиях интенсивного антропогенного воздействия, изучение влияния негативных факторов и разработка мер по сохранению древесных растений приобретают особую актуальность. Растительность в городской среде, особенно вдоль автомагистралей, подвергается комплексному негативному воздействию [1, 5]. Сюда входят: химическое загрязнение (тяжёлые металлы, оксиды азота и серы, бензопирен), вибрационно-акустическое загрязнение [4, 11], а также механические повреждения от дорожных работ и хозяйственной деятельности [2, 6]. Прямое влияние на состояние растений оказывает и деградация городских почв, которые накапливают токсичные соединения, что ведёт к нарушению корневого питания и угнетает развитие древесных насаждений. [3, 8, 10] Комплексное действие многочисленных антропогенных факторов создаёт для древесной растительности негативное воздействие. [1, 7-11] Несмотря на свою способность поглощать и нейтрализовывать часть вредных веществ, задерживать пыль и смягчать микроклимат, сами деревья под таким прессингом ослабевают. Это проявляется в нарушении ключевых физиологических процессов, таких как фотосинтез и транспирация, снижении устойчивости к болезням и вредителям, замедлении роста, нарушении репродуктивных функций и часто приводит к преждевременной гибели [1-2, 4]. Вследствие этого в урбанизированной среде критически важен регулярный мониторинг состояния древесных растений [9]. Он позволяет не только своевременно выявлять и устранять возникающие угрозы, но и оценивать эффективность проводимых оздоровительных мероприятий и адаптивный потенциал различных видов в условиях конкретной городской среды. Интенсивное развитие городов требует научно обоснованного подбора и высадки устойчивых древесных растений, а также внедрения системного мониторинга их состояния на основе комплексной диагностики для эффективного управления зелёными насаждениями.

А. Судник и др. [12] исследовали загрязнение придорожных территорий компонентами противогололедных реагентов и тяжелыми металлами вдоль автомагистралей в Беларуси. Авторами изучено накопление загрязняющих веществ в почве, лесной подстилке и зеленых мхах на различных расстояниях от дорог. Результаты выявили зональность загрязнения: интенсивное накопление элементов отмечено в непосредственной близости от полотна (до 5 м), средний уровень - на удалении до 35 м, а фоновые значения достигаются лишь за пределами 300 м. Установлено, что открытые

территории способствуют дальнему переносу загрязнителей, тогда как древесные насаждения выполняют барьерную функцию. Основными загрязнителями определены солевые компоненты ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ), чье воздействие значительно превосходит влияние тяжелых металлов. Авторы отмечают, что поступление солей происходит со снежными массами, стоками и в виде аэрозолей, которые турбулентными потоками поднимаются на высоту до 17 м, оседая на кронах. Весенний снеготаяние приводит к залповому поступлению накопившихся солей в почву, вызывая её засоление, изменение кислотности и ионообменных свойств. Это негативно воздействует на почвенную микрофлору и приводит к деградации растительности - вызывает обезвоживание тканей, некроз хвои и листьев, замедление роста. Длительное применение реагентов формирует вдоль дорог техногенные солонцеватые почвы, характеризующиеся как «импульверизационные поверхностные солончаковатые конструктороземы». Несмотря на тенденцию к снижению содержания свинца за последнее десятилетие, авторы подчеркивают, что автомагистрали остаются устойчивым источником диффузного загрязнения, прослеживающегося на сотни метров вглубь прилегающих ландшафтов.

В статье Е.А.Святковская с соавторами [13] изучали динамику видового состава и состояния древесных насаждений на привокзальных территориях в условиях Заполярья. В результате мониторинга зафиксировано незначительное увеличение видового разнообразия, представленного как аборигенными видами (*Sorbus gorodkovii*, *Salix caprea*, *Picea obovata*, *Populus tremula*, *Padus avium*, *Betula pubescens*, *B. pendula*), так и интродуцентами (*Larix sibirica*, *Picea pungens*, *Populus hybrida hort*, *Malus baccata*, *Tilia cordata*). При этом общая численность деревьев и кустарников снизилась. Доминирующие древесные породы (*Sorbus gorodkovii*, *Larix sibirica*, *Betula pubescens*) сохранили свои позиции, однако состояние насаждений в целом ухудшилось. За период наблюдений доля сильно ослабленных деревьев возросла с 31,0% до 51,7%, что авторы связывают с отсутствием регулярного ухода. Среди кустарников отмечено резкое снижение числа здоровых растений. Наиболее неблагоприятное состояние выявлено у аборигенного вида *Sorbus gorodkovii*, для которого характерен высокий процент усыхающих и сухостойных экземпляров, требующих санитарной обрезки. *Larix sibirica* показала стабильный процент здоровых растений, за исключением территории г. Оленегорска, где они отсутствуют. Доминирующий кустарник *Caragana arborescens* также продемонстрировал ухудшение состояния в отдельных локациях, например в г. Полярные Зори, из-за отсутствия подкормки молодых посадок. Средневзвешенный балл состояния древесных растений на исследуемых территориях существенно не изменился, хотя наибольшее ухудшение отмечено в г. Полярные Зори. Анализ почвенных условий выявил тенденцию к подщелачиванию (рост значений pH) в большинстве городов, низкое содержание минеральных форм азота и высокую обеспеченность подвижным фосфором. Авторы делают вывод об устойчивости существующего видового состава к специфическим условиям привокзальных зон и возможности его использования для озеленения объектов подобного назначения.

В исследовании А.В.Кулакова с соавторами [14] рассматривали биохимические и морфологические показатели состояния деревьев дуба черешчатого в условиях автотранспортного загрязнения, сравнивая растения вблизи МКАД и в удаленном лесопарке «Узкое». Установлено, что среднее содержание пролина в листьях городских деревьев (0.42 мг/г) в 1.6 раза превышает фоновые значения. Концентрация калия в листьях у МКАД достигала 1.24–1.26%, что может быть связано с адаптацией устьичного аппарата, однако в ветвях молодых деревьев наблюдался его дефицит. Содержание фосфора в ветвях городских дубов было снижено (0.12% против 0.16% на фоне). Выявлено значительное накопление тяжелых металлов: концентрация цинка в ветвях превышала фоновую в 2–3 раза, меди - в 2.8–3.4 раза. Кластерный анализ разделил деревья по участкам произрастания, показав положительную корреляцию между

содержанием Zn, Fe, S, Ca и отрицательную -с К и Р в тканях. Авторы отмечают, что высокий уровень поллютантов в сочетании с низким содержанием калия и фосфора в ветвях может служить индикатором скорого усыхания ослабленных деревьев.

М. А. Косовская и Н. Н. Ленивенко [15] провели исследование влияния абиотических и антропогенных факторов на состояние *Acer platanoides* и *Platanus orientalis* в зеленых насаждениях Севастополя. Концентрации оксида углерода (СО) превышали ПДК в 1.7 раза осенью и в 1.2 раза весной в Нахимовском районе, тогда как сернистый ангидрид (SO<sub>2</sub>) достигал 3.34 ПДК осенью. Почвы во всех районах оказались засоленными и слабощелочными, с наиболее высокой щелочностью в Ленинском и Гагаринском районах. Наибольшему абиотическому стрессу, согласно анализу флуктуирующей асимметрии *Platanus orientalis*, подвергались растения в Гагаринском районе, наименьшему - в Балаклавском. Исследователи отметили, что полученные результаты могут быть использованы для фитомелиорации и рационального озеленения города.

Е. Б. Карбасникова и др. [16] провели исследование содержания тяжелых металлов в почвах и растительности городских зеленых насаждений Вологды, отобрав образцы почвы и листьев доминирующих пород - березы пушистой (*Betula pubescens*), ели колючей (*Picea pungens*) и караганы древовидной (*Caragana arborescens*) - вблизи автомобильных дорог и на расстоянии 50 метров от них. Анализ показал, что содержание подвижных форм кадмия, свинца, цинка, никеля, меди и хрома в почве не превышает ПДК, однако концентрации цинка и кадмия у проезжей части были выше фоновых значений. При удалении от дороги содержание металлов в почве снижалось, наиболее существенно для хрома, цинка и никеля. В растительных образцах наибольшее накопление отмечено для цинка, наименьшее - для кадмия. Лиственные породы аккумулировали тяжелые металлы интенсивнее хвойных, при этом карагана древовидная и береза пушистая продемонстрировали высокий коэффициент биологического поглощения по меди и цинку, а содержание цинка в их листьях превысило нормативные показатели, что указывает на их выраженную способность к накоплению поллютантов.

В. Г. Щербина в своей работе [17] предоставил исследование влияния антропогенной нагрузки на аллелопатические свойства лесной подстилки и всхожесть семян лесообразователей (*C. caucasica*, *T. baccata*, *B. colchica*, *F. orientalis*) в лесных биоценозах влажных субтропиков. Результаты показали, что с увеличением рекреационно-техногенной трансформации среды (уплотнение почвы, снижение мощности подстилки, рост загрязнения воздуха) аллелопатический потенциал лесной экосистемы (УКЕ) снижался, причем связь усиливалась с возрастанием загрязнения. При наличии лесной подстилки у всех исследуемых видов наблюдалось ингибирование прорастания и снижение высоты всходов, с наибольшими значениями для *F. orientalis* и *B. colchica*. Эксперимент с отсутствием подстилки показал положительный эффект, увеличивая высоту всходов при незначительной трансформации среды. Автор заключил, что аллелопатические эффекты на начальных этапах развития растений напрямую зависят от уровня негативного антропогенного воздействия.

Н. В. Яковлева и др. [18] провел оценку влияния зеленых насаждений на снижение выбросов автотранспорта на бульварах Эркиндик и Молодая Гвардия в Бишкеке. На бульваре Эркиндик на выбранном участке высажено 569 деревьев, а на бульваре Молодая Гвардия – 641 дерево, среди которых преобладали вяз мелколистный (*Ulmus pumila*), дуб черешчатый (*Quercus robur* L), акация белая (*Robinia pseudoacacia*), вяз перистоветвистый (*Ulmus pinnato-ramosa*) и можжевельник Виргинский (*Juniperus virginiana*). Анализ транспортного потока показал доминирование легковых автомобилей. Исследование доказало, что зеленые насаждения способствуют эффективному оседанию пыли и снижению ее концентрации в воздухе городских парков по сравнению с открытыми территориями. Многорядные листовенные насаждения, а

также комбинации лиственных и хвойных пород на бульварах продемонстрировали значительное снижение концентрации вредных веществ в выхлопных газах. Автор рекомендует для создания защитных полос использовать газоустойчивые и быстрорастущие породы, учитывая их конкурентные взаимоотношения.

Д. В. Жучков и В. П. Макаренко в статье [19] рассматривали жизненное состояние древесных насаждений городской застройки Биробиджана, проведенном на сотнях ключевых участков, была проанализирована тысяча деревьев. Анализ показал, что лиственные породы, такие как ясень маньчжурский (*Fraxinus mandshurica*) и ильм мелколистный (*Ulmus pumila*), значительно преобладают над хвойными (ель аянская *Picea obovata*, сосна обыкновенная *Pinus sylvestris*). Результаты оценки по методике В. А. Алексеева выявили четкую закономерность: состояние деревьев напрямую зависит от близости к источнику загрязнения. Непосредственно у проезжей части подавляющее большинство деревьев находилось в ослабленном состоянии. По мере удаления от дороги, на придомовых газонах, состояние насаждений, особенно лиственных видов, заметно улучшалось, а внутри жилых кварталов здоровые деревья уже составляли значительное большинство. Хвойные виды, в частности сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) и ель аянская (*Picea obovata*), продемонстрировали значительно более низкую устойчивость к антропогенному воздействию по сравнению с лиственными породами. Статистический анализ подтвердил существование сильной обратной корреляционной связи между уровнем выбросов от автотранспорта и индексом жизненного состояния насаждений. На основе полученных данных сделан вывод о том, что для озеленения придорожных территорий целесообразно выбирать наиболее устойчивые лиственные виды, такие как ясень маньчжурский (*Fraxinus mandshurica*), берёзы (*Betula platyphylla*, *B. davurica*) и вяза (*Ulmus pumila*).

**Заключение.** Городская среда формирует для древесных растений комплекс стресс-факторов, ведущих к их системному ослаблению. Так в Беларуси вдоль автомагистралей установлена четкая зональность загрязнения компонентами противогололедных реагентов (преимущественно ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ ) с интенсивным накоплением у дороги (до 5 м) и достижением фона лишь за 300 м, что приводит к формированию техногенных солонцеватых почв и деградации растительности. В условиях Заполярья на привокзальных территориях доля сильно ослабленных деревьев за период наблюдений возросла с 31,0% до 51,7%, особенно у аборигенного вида рябины Городкова (*Sorbus gorodkovii*), хотя существующий видовой состав показал устойчивость к специфическим условиям. В Москве у дуба черешчатого вблизи МКАД выявлены признаки глубокого физиологического стресса: накопление пролина в 1.6 раза выше фона, дефицит фосфора в ветвях и превышение фоновых концентраций цинка и меди в 2-3.4 раза. В Севастополе платаны восточные (*Platanus orientalis*) в наиболее загрязнённом Гагаринском районе испытывали максимальный абиотический стресс, а концентрации загрязняющих газов ( $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ) превышали ПДК. В Вологде содержание тяжёлых металлов в почве и листьях лиственных пород (берёзы и караганы) снижалось на 24-39% уже на расстоянии 50 метров от дороги, при этом лиственные породы аккумулировали металлы интенсивнее хвойных более чем в 2 раза. Во влажных субтропиках с ростом рекреационно-техногенной нагрузки аллелопатический потенциал лесной подстилки, критически важный для прорастания семян, снижался на 1,3–76,3%, что напрямую угнетало всхожесть и рост сеянцев бука восточного и самшита колхидского на 22,6–42,9%. В Бишкеке доказана высокая эффективность зелёных насаждений как барьера: многорядные посадки (10-15 рядов) на бульварах способствовали осаждению 60–70% пыли и снижали концентрацию основных газовых загрязнителей ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ , углеводородов,  $\text{SO}_2$ ) на 70%. В Биробиджане изучение 960 деревьев выявило сильную обратную зависимость ( $r = -0,68$ ) между выбросами  $\text{CO}$  и жизненным состоянием насаждений. У самой проезжей части 92% деревьев находились в ослабленном

состоянии, тогда как внутри жилых кварталов здоровые экземпляры уже преобладали, составляя 76%. При этом хвойные виды (*Pinus sylvestris*, *Picea obovata*) проявили значительно более низкую устойчивость (индекс жизненного состояния 50–65%) по сравнению с лиственными (*Fraxinus mandshurica*, *Betula platyphylla*, *Ulmus pumila*).

*Работа выполнена в рамках государственного задания Донецкого государственного университета «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (FRRE-2024-0018).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Evaluating the Vitality of Introduced Woody Plant Species in the Donetsk–Makeyevka Urban Agglomeration / V. Kornienko, I. Pirko, B. Meskhi [et al.] // *Plants*. – 2025. – Vol. 14, No. 20. – DOI 10.3390/plants14203160. – EDN KGNKAD.
2. Корниенко, В. О. Деревья POPULUS L. в условиях урбанизированной среды Донецка / В. О. Корниенко, В. В. Реуцкая // *Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона*. – 2025. – № 1. – С. 24-34. – DOI 10.5281/zenodo.15005606. – EDN MOGDEG.
3. Fluorimetric analysis of the impact of coal sludge pollution on phytoplankton / S. V. Bespalova, S. M. Romanchuk, S. V. Chufitskiy [et al.] // *Biophysics*. – 2020. – Vol. 65, No. 5. – P. 850–857. – DOI: 10.1134/S0006350920050024. – EDN: KQNZPP.
4. Корниенко В.О., Яицкий А.С. Жизнеспособность древесных растений в условиях зашумления городской территории (на примере г. Донецка) // *Естественные и технические науки*. – 2022. – № 12 (175). – С. 166- 170. EDN: JJZVTE
5. Корниенко, В. О. эколого-биологические особенности старовозрастных деревьев города Донецка / В. О. Корниенко // *Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона*. – 2025. – № 2. – С. 44-54. – DOI 10.5281/zenodo.15088293. – EDN PQWUJS.
6. Эколого-биологические особенности видов рода Acer L., произрастающих вдоль автомагистралей / В. О. Корниенко, А. О. Шкиренко, В. В. Реуцкая [и др.] // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. – 2025. – Т. 17, № 6-2. – С. 494-523. – DOI 10.12731/2658-6649-2025-17-6-2-1571. – EDN KKGWYZ.
7. Корниенко В. О., Шкиренко А. О., Яицкий А. С. Состояние деревьев Quercus robur L., произрастающих в различных экотопах города Донецка // *Самарский научный вестник*. – 2024. – Т. 13. – № 3. – С. 31-38. – DOI 10.55355/snv2024133105. – EDN CRFRCR
8. Сафонов, А. И. Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций / А. И. Сафонов. – Донецк: Издательский дом «ЭДИТ», 2024. – 289 с. – ISBN 978-5-605-24266-6. – EDN QVJSQE.
9. Корниенко В. О., Яицкий А. С. Экологические последствия шумового загрязнения города Донецка // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки*. – 2022. – №11/2. – С. 28-34. DOI 10.37882/2223-2966.2022.11-2.13
10. Neutron activation analysis of rare earth elements (Sc, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy, Yb) in the diagnosis of ecosystems of Donbass / I. Zinicovscaia, A. Safonov, A. Kravtsova [et al.] // *Physics of Particles and Nuclei Letters*. – 2024. – Vol. 21, No. 2. – P. 186–200. – DOI: 10.1134/S1547477124020158. – EDN: XTYWUI.
11. Комплексная оценка состояния дуба черешчатого (Quercus robur L.) в урбоценозах Центрального Донбасса / А. О. Шкиренко, Е. В. Прокопенко, В. О. Корниенко, А. С. Яицкий // *Самарский научный вестник*. – 2025. – Т. 14, № 1. – С. 63-73. – DOI 10.55355/snv2025141109. – EDN VGOAYS.
12. Судник, А. Загрязнение придорожных территорий в результате эксплуатации и содержания автомобильных дорог в Беларуси / А. Судник, И. Вознячук, Д. Дубовик // *Наука и инновации*. – 2023. – № 1(239). – С. 72-78. – DOI 10.29235/1818-9857-2023-1-72-78. – EDN MEXIVS.
13. Мониторинг состояния древесных растений в зоне влияния железнодорожного транспорта в условиях Заполярья / Е. А. Святковская, Н. В. Салтан, М. С. Уманец, Н. Н. Тростенюк // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. – 2022. – Т. 17, № 1. – С. 72-89. – DOI 10.22363/2312-797X-2022-17-1-72-89. – EDN AEAZET
14. Влияние автотранспортного загрязнения на биохимические и морфологические показатели состояния деревьев дуба черешчатого / Н. Ю. Кулакова, А. В. Колесников, И. Н. Курганова [и др.] // *Лесоведение*. – 2021. – Т. 4, № 4. – С. 393-405. – DOI 10.31857/S0024114821040070. – EDN YYDANA
15. Косовская, М. А. Анализ ответных реакций дендроформ зон общего пользования Севастополя на действие антропогенных факторов / М. А. Косовская, Н. Н. Ленивенко // *Энергетические установки и технологии*. – 2023. – Т. 9, № 1. – С. 224-230. – EDN BDWRTW
16. Карбасникова, Е. Б. Содержание тяжелых металлов в почве и древесной растительности в условиях городской агломерации / Е. Б. Карбасникова, О. С. Зальвская, О. В. Чухина // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. – 2019. – № 5(371). – С. 216-223. – DOI 10.17238/issn0536-1036.2019.5.216. – EDN YAUAWT

17. Щербина, В. Г. Аллелопатическая реакция всходов древесных растений на антропогенную нагрузку / В. Г. Щербина // Системы контроля окружающей среды. – 2025. – № 1(59). – С. 91-99. – DOI 10.33075/2220-5861-2025-1-91-99. – EDN IYDZAL.

18. Яковлева, Н. В. Экологическая оценка загрязнения атмосферы автотранспортом и принципы создания защитных насаждений (на примере участков бульвара Эркиндик и Молодая гвардия г. Бишкека) / Н. В. Яковлева, Т. В. Семенова, Н. Э. Асангазиев // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – 2022. – Т. 22, № 12. – С. 202-207. – DOI 10.36979/1694-500X-2022-22-12-202-207. – EDN BEJWE

19. Жучков, Д. В. Влияние автотранспорта на жизненное состояние древесных насаждений в городской застройке Г. Биробиджана / Д. В. Жучков, В. П. Макаренко // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. – 2022. – № 3(48). – С. 44-55. – DOI 10.24412/2227-1384-2022-348-44-55. – EDN ZMBZUJ

#### PROBLEMS OF THE RESILIENCE OF WOODY PLANTS UNDER ANTHROPOGENIC PRESSURE

**Annotation.** The review presents a systematized analysis of modern studies on the impact of the main anthropogenic factors (air pollution from vehicles and industry, salinization of soils with deicing agents, and recreational pressure) on the condition of tree plantations in various urban and suburban landscapes. The results of studies that revealed the spatial zoning of pollution, the specific physiological and biochemical responses of trees, and the dynamics of their deterioration are summarized. The analysis includes consideration of the comparative stability of native and introduced species, coniferous and deciduous species, as well as the barrier and phytoremediation role of green spaces. Based on the identified diagnostic criteria, practical recommendations are formulated for selecting stable species for landscaping areas with high anthropogenic load.

**Keywords:** anthropogenic load, green spaces, urbanization, traffic pollution, stability.

#### Reutskaya V.V.

Scientific director: Kornienko V.O., PhD in Biological sciences, Associate Professor

Donetsk state university

E-mail: [reutskaya\\_valeria@mail.ru](mailto:reutskaya_valeria@mail.ru)

УДК 581:15 (477.60)

## ОТРАБОТКА АЛГОРИТМА ИДЕНТИФИКАЦИИ ТЕРАТОГЕНЕЗА НА ПРИМЕРЕ ИНДИКАТОРНОГО ВИДА СЕМЕЙСТВА КАПУСТНЫХ

*Рябцев А.А., Габараев Б.А.*

*Научный руководитель: Сафонов А.И., канд. биол. наук, зав. кафедрой ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

*Аннотация.* Для имеющейся базы в строении плодов, семян и зародышевого аппарата растения-индикатора семейства капустных была апробирована система идентификации нестандартных строений указанных органов и систем органов генеративной части растения, имеющего высокую структурную пластичность в техногенных и беллигеративных экотопах. Алгоритм включает ранжирование имеющегося материала в соответствии с экологической шкалой, а также получение схематического изображения основных признаков аномальности (тератности), что также важно для обучающего тренажера в подготовке специалистов-экологов по ботаническим знаниям в классическом университете Донбасса.

*Ключевые слова:* тератогенез, фитоиндикация, Донбасс, экологический мониторинг, беллигеративный фактор, полевостресс.

В биодиагностике и оценке качества окружающей среды с помощью растений важным подходом является математическое моделирование [1] на основании полученных экспериментальных данных о состоянии породных компонентов, в том числе в зонах повышенного антропогенного воздействия [2], при этом в полевых условиях часто прибегают к методу идентификации аномалий структурных компонентов растений, тератных форм [3; 4] и появлению новообразований в неспецифических условиях стресса [5-9]. Немаловажное значение при этом играет отработка алгоритма такой идентификации при имеющемся высоком разнообразии морфологических структур одних и тех же частей растительного организма и высокой пластичности их в условиях геопатологии. Этой задаче посвящена данная работа при условии дальнейшего использования в учебной студенческой среде для выполнения лабораторных исследований.

Цель работы – объединить несколько массивов данных с фотоизображениями плодов, семян и зародышевого аппарата пастушьей сумки (сорного, но индикаторного вида растений Донбасса) для ранжирования иллюстративного материала по степени структурной недоброкачественности для шкалы диагностики ландшафтов и(или) экотопов в условиях трансформации среды, в том числе в результате специальных военных событий на территории юго-запада РФ.

Работа методически включается в задачу по исследованиям молодёжной лаборатории ДонГУ и выполняемым работам молодыми учеными этой экспериментальной серии наблюдений за природой Донбасса в период военного конфликта [10-12]. С точки зрения опорных исследований геостратегического направления, проводимых в ведущих научных школах ВГУ [13; 14], а также целевых результатов по фитомониторингу непосредственно в Донбассе [15; 16], это исследование направлено на локальную характеристику местности. Использовали методические приемы актуальных экологических исследований [17; 18], а также региональные сведения в методических подходах диагностики окружающей среды [19-22]. Принятая рабочая гипотеза о структурном полиморфизме растений в условиях нестабильных экологических условий была согласована на имеющихся системных сведениях по изучению факторов антропогенной трансформации в донецком экономическом регионе [23; 24], а также является продолжением ранее полученных оригинальных сведений о тератогенезе растений для промышленно развитого региона и городских агломераций в узловых центрах мониторинговой сети [25].

Были использованы простой и воспроизводимый критерии ранжирования: чем сильнее плод отклоняется от типичного (нормального) двугнездного стручочка капустных (симметрия, полнота развития створок, нормальная форма верхней выемки, отсутствие расщепления-скручивания-асимметрии и грубых деформаций), тем выше предполагаемая сила стрессового воздействия как интегральный эффект среды на морфогенез (рис. 1).

Примеры тератогенеза при высокой пластичности вида

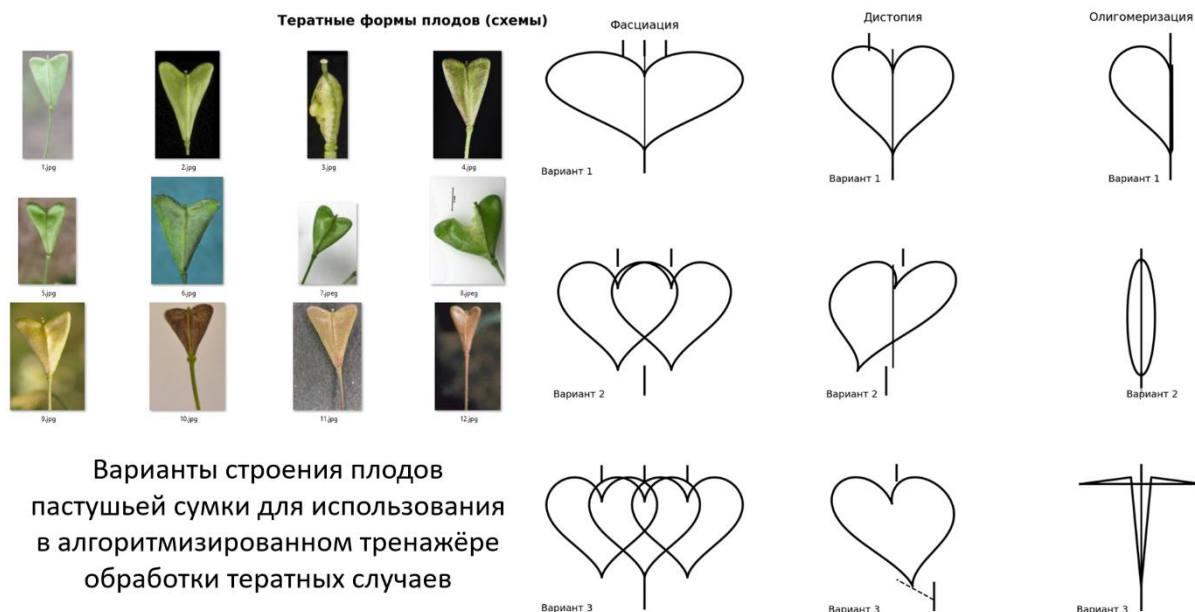


Рис. 1. Этап ранжирования иллюстративного материала в блоке изменённых плодов пастушьей сумки в условиях трансформированных ландшафтов

Ранжированный ряд по силе стрессовых факторов (от слабых к сильным):

6 → 1 → 2 → 4 → 9 → 10 → 11 → 5 → 12 → 7 → 8 → 3

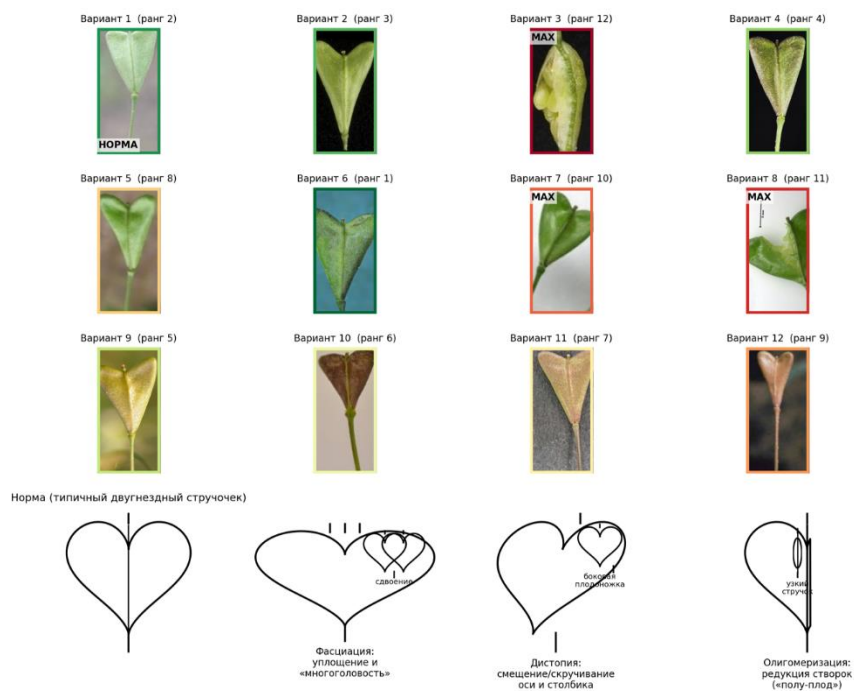
Короткая интерпретация по группам: минимальный-слабый стресс (6, 1, 2, 4): плод хорошо сформирован, двусторонняя симметрия сохранена, створки развиты полно, умеренный стресс (9, 10, 11, 5, 12): заметны сдвиги пропорций (вытянутость-сужение), уменьшение «сердечности» выемки, общая редукция-миниатюризация, сильный стресс (7, 8, 3): выраженная асимметрия, нарушения закладки и расположения осей, расхождение створок и аномальная деформация, уродливые формы.

В алгоритмизированной модели был поставлен вопрос: какой плод можно считать нормой. Норма (эталон морфотипа): вариант 1. Он наиболее учебниковый: симметричный, с типичной верхней выемкой и нормальными пропорциями двугнездного стручочка. Примечание: вариант 6 тоже поставлен в начало ряда как минимально стрессированный (очень полно развит), но «нормой» в смысле типичного морфотипа удобнее считать вариант 1.

Наиболее изменённые плоды (максимальная степень отклонения): вариант 3 – грубая деформация формы (максимум нарушений морфогенеза), вариант 8 – резкое нарушение целостности/расхождение створок (аномальная «раскрытость», нарушение нормальной архитектуры плода), вариант 7 – сильная асимметрия (похоже на редукцию одной стороны и(или) смещение оси; близко к олигомеризации или дистопии).

Изображения (с выделением нормы, рангов и примерами тератогенеза).

Отдельный визуальный ряд: несколько «уродливых» (тератных) форм плодов по трём типам изменений (по 3 варианта на каждую категорию). На рис. 2 ранжированные отклонения выделены цветом с соответствующими комментариями.



**Вариант 3** — грубая деформация формы (максимум нарушений морфогенеза).

**Вариант 8** — резкое нарушение целостности/расхождение створок (аномальная «раскрытость», нарушение нормальной архитектуры плода).

**Вариант 7** — сильная асимметрия (похоже на редукцию одной стороны и/или смещение оси; близко к олигомеризации или дистопии)

Рис. 2. Формирование групп «норма-опыт» в отношении плодов пастушьей сумки из полученного иллюстративного материала по разнообразию морфологии

Морфологическая интерпретация разнообразия семян по фото (рис. 3).

Наиболее близко к норме 4 семени на сером фоне – наиболее однородные по форме и размеру: овально-эллипсоидные, симметричные, «полнотельные», без выраженной деформации. Изображение 4 семени на белом фоне – тоже в пределах нормы: форма ровная, различия минимальные. Скорее «стресс», но не патология формы изображение «тёмно-красные семени» – морфология в целом нормальная (эллипсоидные, полноценные), но сильно более тёмная окраска (по условию признак более стрессовых условий формирования). Это скорее индикатор условий, а не обязательная «патология» семени (предварительный вывод). Патология (морфологические дефекты) – наборы с выраженной разноморфностью: присутствуют клиновидные и треугольные (рис. 3), усечённые, асимметричные семени, местами с «вдавнениями», неровной зоной рубчика, что является функциональным критерием в диагностике семян. Это типично для нарушения нормального развития семени (частичная и полная абортция семязачатка, недоразвитие зародыша и(или) эндосперма, дефект формирования семенной кожуры). Описание «нормального» семени (эталон по структуре). Нормальное семя *Brassicaceae* по представленному эталону: форма: эллипсоидная или овальная, двусторонне симметричная; контур ровный, без «срезов», клиновидности, провалов; семя полностью выполненное (нет признаков сморщивания и коллапса оболочки); зона рубчика (микропиле) локализована на одном полюсе, без грубой деформации; размер: до 1,5 мм по длине (по определённому масштабу).

Самое дефектное семя и в чём его аномалия: как «самое уродливое» здесь логично выбрать клиновидное (треугольное), асимметричное семя (есть выраженные клиновидные формы). Ключевые признаки аномалии: асимметрия (одна сторона более выпуклая или другая «срезана»); клиновидность или треугольность вместо эллипса; признаки невыполненности (семя как будто «не доросло» до нормальной объёмной формы); нередко – деформация в зоне рубчика. Наиболее вероятная биологическая интерпретация: это похоже на нарушение эмбриогенеза и(или) эндоспермогенеза – семя формируется, но развитие «срывается» на промежуточной стадии, либо на частичную

аборцию семязачатка. Механическое повреждение тоже возможно, но при множественности подобных форм в партии чаще подозревают именно сбой развития.

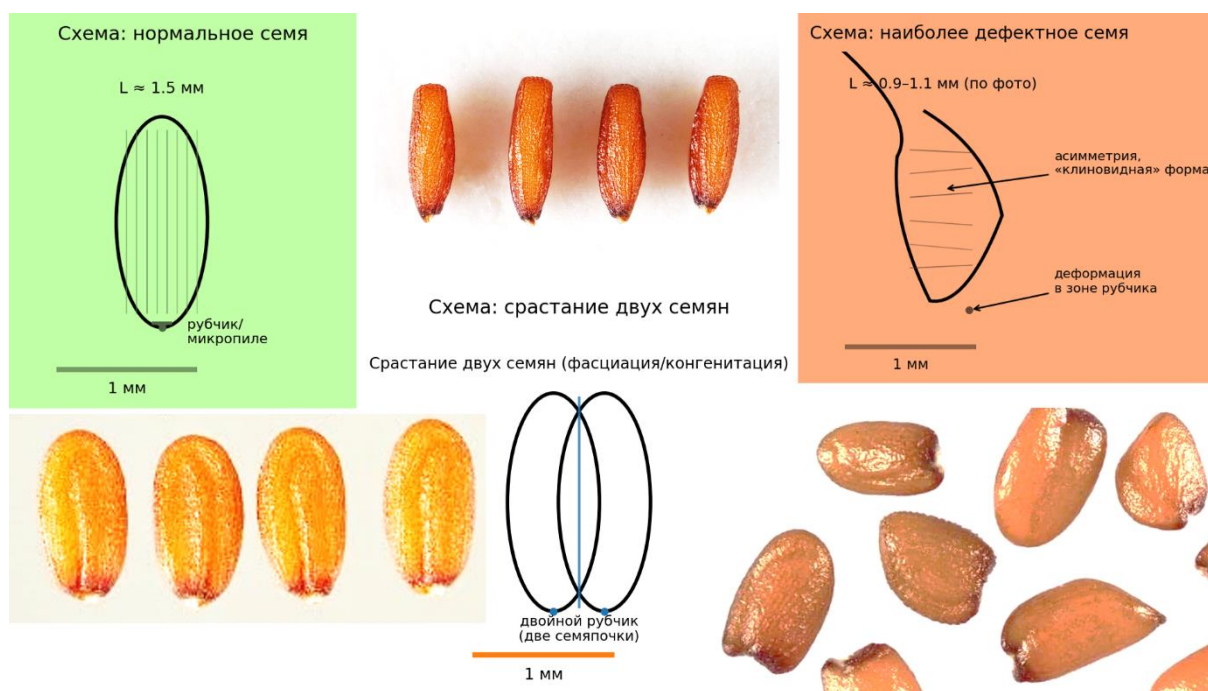


Рис. 3. Морфологический анализ семян пастушьей сумки из разнообразия собранных материалов в разных экологических условиях

В широком смысле это можно считать тератогенезом, поскольку «тератология растений» является частью фитопатологии, можно, если деформация сформировалась в процессе развития (под действием стрессора (токсиканта, мутации, температурного удара и т. п.), а не является результатом послеуборочного повреждения, что по логике больше относится к агрокультурам и не является критерием причинности для сорных видов, собранных для индикаторных целей экологического мониторинга в Донбассе. Корректная формулировка без «перегиба доказательности»: тератологическая (тератогенная) деформация семени вероятна; для уверенности нужно исключить механический дефект и подтвердить нарушение развития (например, вскрытием семени или оценкой зародыша, тестом оценки качества семенного материала в массе, всхожестью).

Следующим этапом детализации анализа послужили варианты эмбрионального строения – зародышевого аппарата тест-вида. Произведено сравнение именно «соседних» рисунков (2 с 1; 3 с 2; 4 с 3). Термины: зародыш (*embryo proper*), подвесок (суспензор), эндосперм, семенная кожура (интегументы – теста). Размер и дифференцировка зародыша: зародыш заметно крупнее и структурно «оформленнее»; вместо маленького зародыша с выраженным подвеском появляется стадия с явными зачатками семядолей (сердцевидный контур зародыша). Это соответствует переходу к «heart stage» у пастушьей сумки. Подвесок относительно хорошо различим и функционально значим (питание и позиционирование раннего зародыша); подвесок обычно редуцируется и становится менее доминирующим по отношению к массе зародыша. Эндосперм и полость семени: по мере роста зародыша – доля эндосперма относительно уменьшается (зародыш начинает активнее занимать объём семени), хотя эндосперм ещё присутствует. Переход от сердцевидной формы к более поздней стадии: зародыш резко увеличен, ось «гипокотиль-радикула» удлинена, а семядоли значительно вытянуты и начинают занимать основную часть внутреннего пространства.

Морфологически это соответствует поздней торпедовидной и стадии сгибающихся семядолей (torpedo – bent cotyledon).

Проведенный анализ гистологических структур включал более 60 образцов окрашенных семян из разных условий произрастания, включая нормальные природные компоненты и трансформированные ландшафты в результате военных событий последних лет на территории Донбасса и близлежащих регионов, испытывающих факторы беллигеративного стресса.

Тканевая специализация: на рис. 4 визуальнo усиливается «колонковая» организация клеток в теле зародыша и семядолях (характерно для более поздних стадий), что отражает рост и дифференцировку.

Схизокотилия/синкотилия: варианты числа семядолей (семядоли – красные клетки)

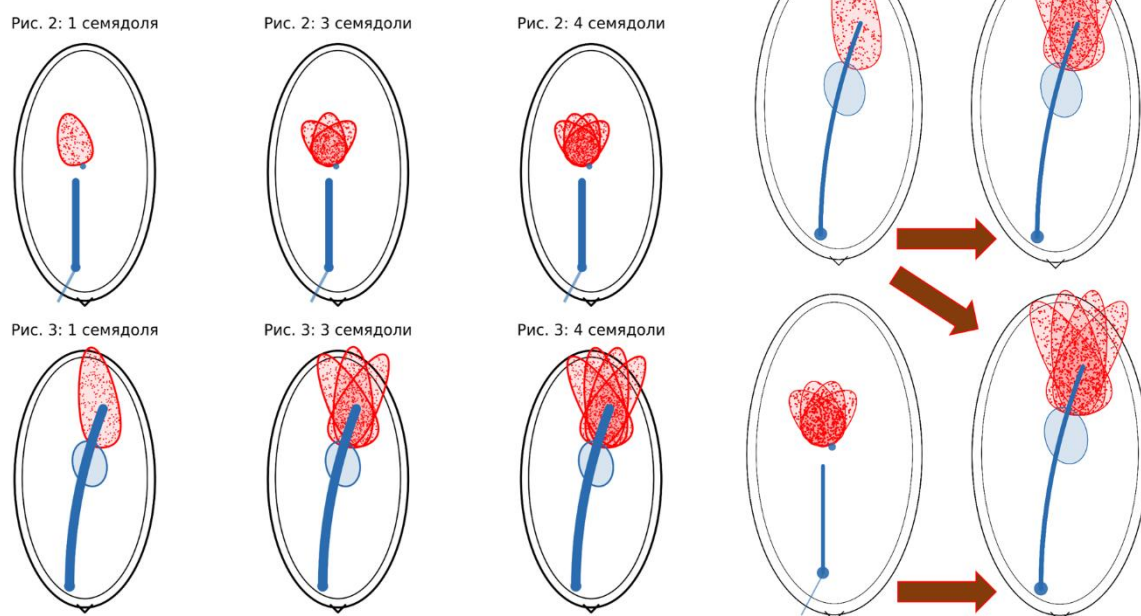


Рис. 4. Структурные варианты зародышевого аппарата по гистологическим критериям.

Схизокотилия или синкотилия: качественные схемы для рисунков семядолей). Подготовлены высокорезкие схемы (рис. 4), где семядоли обозначены красными клетками (красная «клеточная» точечная текстура). Интерпретация: 1 семядоля – вариант синкотилии или псевдомонокотилии (слияние или редукция семядолей в одну структуру). 3–4 семядоли – вариант схизокотилии или плейокотилии (расщепление и увеличение числа семядольных долей). Гистологическое тестирование является прогрессивной частью оценки семенного материала, поскольку требует кропотливой подготовки и отработки методики окрашивания, такой метод редко можно рекомендовать для полномасштабного экологического эксперимента, однако для модельной диагностики этот опыт полезен в оценке факторов окружающей среды, в том числе стрессового происхождения.

На рис. 4 показаны направленности деформации зародышевого аппарата по структуре семядолей, их макроколичеству, системе окрашивания, что позволяет судить об изменениях на тканевом уровне строения растительного организма в условиях специфического и неспецифического стресса. Будет ли такое строение отражаться на качестве семян по их всхожести – этот вопрос нужно проверить в дальнейших исследованиях на следующие вегетационные сезоны и периоды лабораторного наблюдения.

Семенной полиморфизм по внешним признакам коррелирует со строением конформационных тканей для пастушьей сумки описанного разнообразия в

эксперименте по биодиагностике, поэтому вполне является оправданным, если будут отработаны модели строения для экспресс-анализа аномальных структур и выявления стрессовых характеристик местности даже в полевых условиях дифференциации беллигеративных ландшафтов.

Таким образом, для имеющейся базы в строении плодов, семян и зародышевого аппарата растения-индикатора семейства капустных (на примере распространенного вида с широкой экологической амплитудой – пастушьей сумкой) была апробирована система идентификации нестандартных строений указанных органов и систем органов генеративной части растения, имеющего высокую структурную пластичность в техногенных и беллигеративных экотопах. Алгоритм включает ранжирование имеющегося материала в соответствии с экологической шкалой, а также получение схематического изображения основных признаков аномальности (тератности), что также важно для обучающего тренажера в подготовке специалистов-экологов по ботаническим знаниям в классическом университете Донбасса.

*Исследование выполнено в рамках темы «Диагностика и оптимизация беллигеративных экотопов Донбасса методами биомониторинга и фиторемедиации». Регистрационный номер ПТНИ «1025073000026-6-1.6.19» в рамках государственного заказа ДонГУ (FRRE-2026-0030).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспалова С.В. Математическое моделирование в системе экологического фитомониторинга Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2023. – № 1-2. – С. 6-12. – EDN KUQQL.
2. Сафонов А.И. Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций. – Донецк: Издательский дом «ЭДИТ», 2024. – 289 с. – ISBN 978-5-605-24266-6. – EDN QVJSQE.
3. Сафонов А.И. Тератогенные эффекты как индикаторные свойства цветковых растений урбанизированных территорий Донецкой агломерации / А.И. Сафонов, Ю.С. Калинина, А.П. Палагута // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2024. – № 2. – С. 20-30. – DOI 10.5281/zenodo.13949289. – EDN CZPYKY.
4. Сафонов А.И. Тератогенез растений-индикаторов промышленного Донбасса // Разнообразие растительного мира. – 2019. – № 1(1). – С. 4-16. – DOI 10.22281/2686-9713-2019-1-4-16. – EDN IJNXJE.
5. Морфогенетические аномалии бриобионтов в условиях геохимически контрастной среды Донбасса / А.И. Сафонов, А.С. Алемасова, И.И. Зиньковская [и др.] // Геохимия. – 2023. – Т. 68, № 10. – С. 1032-1044. – DOI 10.31857/S0016752523100114. – EDN NURQVW.
6. Сафонов А.И. Аномалии эмбриональных структур растений-индикаторов Донбасса // Разнообразие растительного мира. – 2022. – № 3(14). – С. 5-18. – DOI 10.22281/2686-9713-2022-3-5-18. – EDN GQUFYH.
7. Safonov A.I. Approbation of Botanical Expertise Method in Ecological Monitoring // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – Vol. 10, No. 2. – P. 219-221. – EDN WBLOSD.
8. Сафонов А.И. Структурная разнокачественность эмбриональных структур фитоиндикаторов в Донбассе // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2016. – № 3-4. – С. 23-29. – EDN YUDMKW.
9. Сафонов А.И. Атипичный морфогенез фитоиндикаторов в экологическом мониторинге Донецка // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2024. – № 4. – С. 94-101. – DOI 10.5281/zenodo.14227649. – EDN SDSJHS.
10. Антропова Л.П. Изучение фотосинтетической активности листьев *Tilia cordata* Mill. в условиях антропогенной нагрузки / Л.П. Антропова, С.В. Чуфицкий // Самарский научный вестник. – 2025. – Т. 14, № 3. – С. 15-23. – DOI 10.55355/snvn2025143101. – EDN QJOSLU.
11. Шкиренко А.О. Вибрационно-акустическое зашумление как экологический фактор в городе Донецке // Вестник студенческого научного общества ФГБОУ ВО "Донецкий государственный университет". – 2025. – Т. 1, № 17. – С. 109-115. – EDN QMLFUE.
12. Реуцкая В.В. Вибрации железнодорожного транспорта, как экологическая составляющая в городе Донецке // Вестник студенческого научного общества ФГБОУ ВО "Донецкий государственный университет". – 2025. – Т. 1, № 17. – С. 64-69. – EDN DDVOOC.
13. Зонирование территории городов Центральной России по рискам загрязнения воздушного бассейна / С.А. Епринцев, Н.А. Дьякова, С.В. Шекоян, П.М. Виноградов // Гигиенические, эпидемиологические и экологические аспекты профилактики заболеваемости. – Воронеж: ООО «Цифровая полиграфия», 2025. – С. 277-282. – EDN IAPPS.

14. Механизмы повышения экологической безопасности для населения городов Воронежа, Липецка, Тулы / С.А. Епринцев, О.В. Клепиков, Н.А. Дьякова [и др.] // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. – 2025. – Т. 1, № 10. – С. 199-203. – DOI 10.23885/2500-395X-1-10-199-203. – EDN YKWNVI.
15. Мирненко Н.С. Сравнительный анализ адаптивных особенностей репродуктивной системы *Diplotaxis muralis* (L.) DC. и *Plantago major* L. в условиях урбанизированных территорий Донбасса // Донецкие чтения - 2025: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2025. – С. 115-116. – EDN SUHEJK.
16. Калинина Ю.С. Оптимизация рекреационной зоны на примере сквера «Строитель» г. Донецка / Ю.С. Калинина, Б.А. Габараев // Донецкие чтения - 2025: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. – Донецк: ДонГУ, 2025. – С. 108. – EDN LNREWC.
17. Фирсова Э.В. Оценка уровня загрязнения ягеля солями тяжелых металлов на оленеводческих пастбищах Мурманской области / Э.В. Фирсова, Р.А. Почепко // Ветеринария и кормление. – 2026. – № 7. – С. 71-75. – DOI 10.30917/ТТ-ВК-1814-9588-2025-7-17. – EDN WEKFRN.
18. Морошкина М.В. Оценка взаимосвязи показателей развития обрабатывающей и добывающей промышленности с экологическими параметрами: региональная дифференциация российских регионов / М.В. Морошкина, А.В. Васильева // Экономика, предпринимательство и право. – 2025. – Т. 15, № 10. – С. 7027-7044. – DOI 10.18334/errp.15.10.124006. – EDN WDBLOB.
19. Сафонов Р.А. Физико-географические и геометрические закономерности в палиноиндикации городской среды // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. – Киров: Вятский государственный университет, 2024. – С. 76-80. – EDN JNRWUA.
20. Сафонов Р.А. Научно-технологические перспективы палеонтологического краеведения в Донбассе / Р.А. Сафонов, Ю.С. Калинина // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. – Донецк: ДонНТУ, 2024. – С. 240-241. – EDN JJXAYE.
21. Сафонов Р.А. Корректировка локальных маршрутов для экологического фитомониторинга в Донецке // Вестник студенческого научного общества ФГБОУ ВО "Донецкий государственный университет". – 2025. – Т. 1, № 17. – С. 76-80. – EDN EMKVTZ.
22. Анализ уязвимости древесных растений, произрастающих в условиях урбозкосистем (на примере города Донецка) / В.О. Корниенко, А.О. Шкиренко, В.В. Реуцкая [и др.] // Самарский научный вестник. – 2025. – Т. 14, № 2. – С. 19-29. – DOI 10.55355/snv2025142103. – EDN MUFKAZ.
23. Калинина А.В. Структура ценопопуляций *Ficaria verna* Huds. в условиях урбаносреды Донбасса / А.В. Калинина // Экология родного края: проблемы и пути их решения. – Киров: Вятский государственный университет, Коми научный центр УрО РАН, 2025. – С. 130-134. – EDN VFOARD.
24. Государство, регион и общественность в природоохранной деятельности / В.С. Андреевский, С.В. Арамышев, О.В. Аркадьева [и др.]. – Курск : ЗАО «Университетская книга», 2025. – 269 с. – ISBN 978-5-00261-585-8. – EDN MIXVEY.
25. Братухина Е.А. Примеры тератологических эффектов как индикаторные свойства растений в промышленном Донбассе / Е.А. Братухина, А.А. Рябцев // Вестник студенческого научного общества ФГБОУ ВО "Донецкий государственный университет". – 2025. – Т. 1, № 17. – С. 18-22. – EDN BVRFKT

#### DEVELOPING AN ALGORITHM FOR IDENTIFICATION OF TERATOGENESIS USING AN INDICATOR SPECIES OF THE BRASSICACEAE FAMILY

**Annotation.** Using the existing database on the structure of fruits, seeds, and the embryonic apparatus of an indicator plant of the cabbage family, a system for identifying atypical structures of these organs and organ systems in the generative part of the plant was tested. This plant exhibits high structural plasticity in technogenic and belligerative ecotopes. The algorithm includes ranking the available material according to an ecological scale and generating a schematic representation of the main signs of abnormality (teratism), which is also important for the training simulator for environmental specialists in botanical knowledge at the classical university of Donbass.

**Keywords:** teratogenesis, phytoindication, Donbass, environmental monitoring, belligerative factor, polemostress.

**Ryabtsev A.A., Gabaraev B.A.**

Scientific adviser: Safonov A.I. Ph.D., Head of the Department of Botany and Ecology

Donetsk State University

E-mail: [kf.botan@donnu.ru](mailto:kf.botan@donnu.ru)

УДК 614.71:581.5:911.52 (477.60)

## ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ОБУСЛОВЛЕННОСТЬ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МАССОПЕРЕНОСА АЭРОФИТОПОЛЛЮТАНТОВ

*Сафонов Р.А.*

*Научный руководитель: Калинина Ю.С., аспирант  
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

*Аннотация.* Проведен первичный анализ скопления тополиного пуха в городской застройке центрального района Донецка – студенческого городка Донецкого государственного университета и сопредельных селитебных кварталов. Постановка проблемы заключается в возможности анализа корректности планировки жилых массивов и моделирования массопереноса крупных частиц в воздухе, представляющих опасность для здоровья человека. Большинство учетных площадок во внутренних конфигурациях строений имеют эффект захвата и оседания вредных элементов из загрязнённого воздуха городской среды. *Ключевые слова:* экологический мониторинг, Донецк, тополиный пух, загрязнение воздуха, городская среда.

Вопрос о специфике нахождения тополиного пуха в приземном слое атмосферы находится на стыке научного подхода в экологии, климатологии и аэродинамики городской застройки. Планировка городской застройки [1; 2] напрямую влияет на продуваемость (аэрацию) [3; 4] и, как следствие, на перенос и аккумуляцию тополиного пуха. Пух ведет себя как легкая дисперсная частица, и его движение подчиняется законам газодинамики в сложной геометрии улиц. Территория студенческого городка ДонГУ находится под пристальным вниманием и изучением экологов и ботаников [5; 6]. Пух тополей также является сферой аналитических программ в регионе [7] и продуктом жизнедеятельности неотъемлемых фанерофитов городской застройки в Донецке [8–11]. Представленная работа является продолжением мониторинговых обследований крупных городов Донбасса [12].

Цель работы – на основании имеющихся данных о скоплении тополиного пуха определить специфику аэрации в локальных участках территории, провести условное зонирование местности по сезонному риску в результате накопления вредных эмиссий в приземном слое атмосферы городской застройки Донецка.

Использовали методические приемы изучения городского ландшафта [13; 14], оригинальные сведения об экологических спецификациях в Донбассе [15–17]. Для решения задачи распространения пуха в городской среде рекомендовано использовать методы CFD-моделирования (*Computational Fluid Dynamics*) – вычислительной гидродинамики. Суть методики заключается в решении уравнений Навье-Стокса (описывающих движение воздуха) совместно с уравнениями движения дискретных частиц (*Lagrangian particle tracking*). Эффект «городского каньона»: улицы, окруженные высокими зданиями, работают как каналы. Если ветер дует вдоль улицы, скорость потока растет, и пух пролетает транзитом. Если поперек – образуются вихри. Зоны рециркуляции (застойные зоны): за зданиями (с подветренной стороны) образуются зоны низкого давления и вихри. Именно здесь скорость потока падает, и пух оседает, скапливаясь в большом количестве. Туннельный эффект: в арках и узких проходах между домами скорость ветра резко возрастает (эффект Вентури), выдувая пух в соседние дворы.

Чтобы построить достоверную модель переноса пуха для конкретного перекрестка в Донецке, необходим следующий набор данных для ввода в CFD-программу (например, *ANSYS Fluent*, *OpenFOAM* или *ENVI-met*): цифровая модель местности (*Digital Elevation Model*), высотность зданий: точные размеры зданий на перекрестке и в радиусе 500–1000 метров (для учета влияния соседней застройки). Плотность застройки: расстояния между домами (ширина улиц Щорса и Театрального проспекта), микрорельеф – наличие

заборов, арок, кустарников – они работают как ловушки для пуха, карта зеленых насаждений, точное расположение тополей (*Populus*) в этом районе; биомасса – примерная оценка объема генерации пуха одним деревом (зависит от возраста и вида тополя): метеорологические условия (граничные условия), роза ветров за июнь – преобладающее направление и средняя скорость ветра в Донецке именно в период цветения; влажность, поскольку при высокой влажности или дожде пух намокает, его аэродинамика меняется (он становится тяжелым и падает сразу), поэтому моделируются обычно сухие, ветреные дни.

Существуют специализированные программные комплексы, которые моделируют именно перенос примесей в городе: ENVI-met – это программное обеспечение для моделирования микроклимата. Оно идеально подходит для оценки того, как архитектура, растительность и разные покрытия (асфальт, бетон) влияют на потоки ветра и турбулентность. Оно может показать зоны, где ветер «замирает» (места скопления пуха). ANSYS Fluent или CFX – инженерный софт. Позволяет запустить в виртуальный город тысячи частиц с массой и парусностью тополиной пушинки и визуализировать траекторию каждой из них. Эти модели показывают: 1) пух не летит по прямой, он движется по спирали в турбулентных следах за зданиями; 2) на перекрестках (как Щорса–Театральный) возникают сложные пересечения потоков, которые могут либо выбрасывать пух на проезжую часть, либо забивать им угловые дворы. Важно отметить индикаторное свойство пуха, что это механический фильтр – тополиный пух имеет огромную удельную поверхность и волокнистую структуру; пролетая через город, он работает как «сеть», собирая на себя пыльцу других растений (аллергены); частицы шин и асфальта (PM2.5, PM10); тяжелые металлы из выхлопных газов. Собранные образцы пуха в разных районах (например, на тихой улице и оживленном перекрестке) и проведя химический анализ, можно получить точную карту загрязнения воздуха тяжелыми металлами и канцерогенами. Сам пух относительно чист химически, поэтому всё, что на нем найдено – это загрязнение атмосферы, пух гипоаллергенен; аллергию вызывает не он, а пыльца растений и городская пыль, которую он переносит.

Концентрацию пуха можно рассчитать математически, зная аэродинамику застройки. Для района ул. Щорса и пр. Театрального в Донецке ключевым фактором будет являться ориентация улиц относительно июньской розы ветров. Если улицы расположены перпендикулярно ветру, пух будет скапливаться во дворах; если параллельно – выдуваться. Эту формулировку считали начальной гипотезой для проверки. Для улиц, окружённых зданиями, применяли модели типа OSPM. Они учитывают рециркуляцию (вихрь) в уличном каньоне, из-за чего загрязнители и по аналогии лёгкие частицы могут «зависать» на подветренной стороне [18; 19]. Лагранжевы модели переноса частиц (город-регион и осаждение), если важен перенос «куда уносит облако пуха», использовали: FLEXPART – лагранжева модель переноса-диффузии с сухим и мокрым осаждением [20]. HYSPLIT (NOAA) – гибридная лагранжева модель траекторий-дисперсии, тоже с параметризацией осаждения; для частиц требуется диаметр-плотность, чтобы оценивать скорость оседания, есть опции wet-dry deposition [21]. Микромасштабные 3D модели и CFD и LES для дворов и перекрёстков – ENVI-met – микроклиматическая 3D модель – перенос газов и частиц, включая седиментацию и депозицию на поверхности [22]. Чтобы модель вела себя реалистично, задают эффективный аэродинамический размер и диаметр, плотность (или сразу скорость оседания), коэффициенты депозиции и(или) прилипания к поверхностям и листве, вымывание осадками, (опционально) ресуспензия – повторный подъём пуха порывами и трафиком, в реальности это важно возле дорог. Такие методические приёмы обеспечивают оперирование информацией для успешной оценки параметров городской среды [23; 24].

На рисунке 1 (*картооснова Яндекс.Карты*) продемонстрирована вся учетная площадь эксперимента, в которой наиболее важной информацией является геометрия сооружений и массивы древесной растительности.

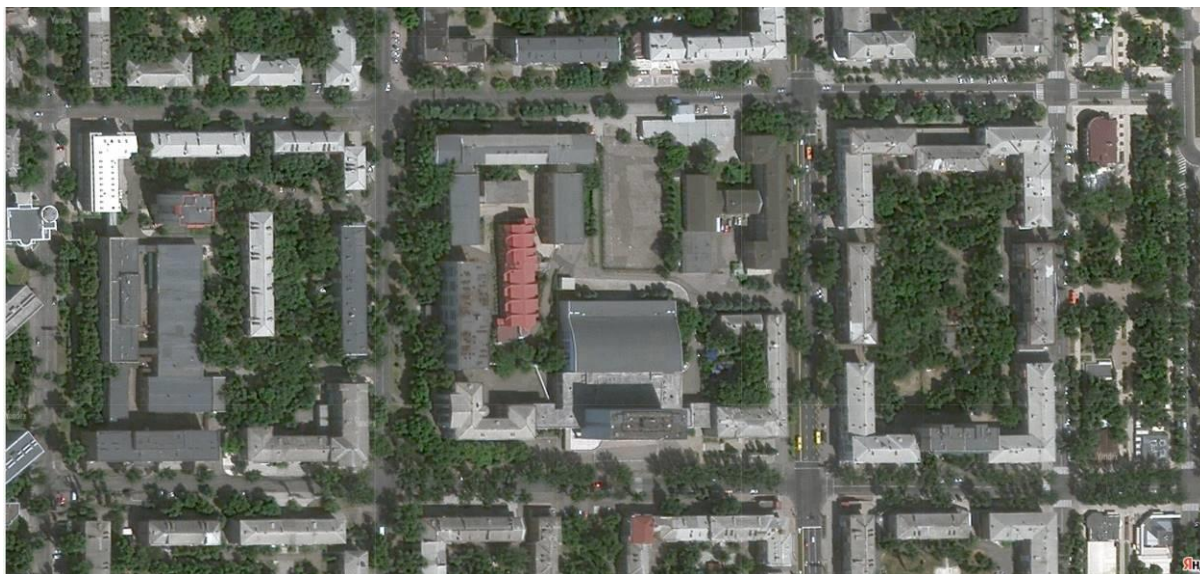


Рис. 1. Вид на участок обследования – в центре студгородок ДонГУ

Накопленные массивы пуха оценивали визуально (рис. 2) для конкретных участков местности по наличию или отсутствию пуха в воздухе в момент обследования. Эксперимент повторяли 5 дней подряд в полдень в первую неделю июня 2025 года.

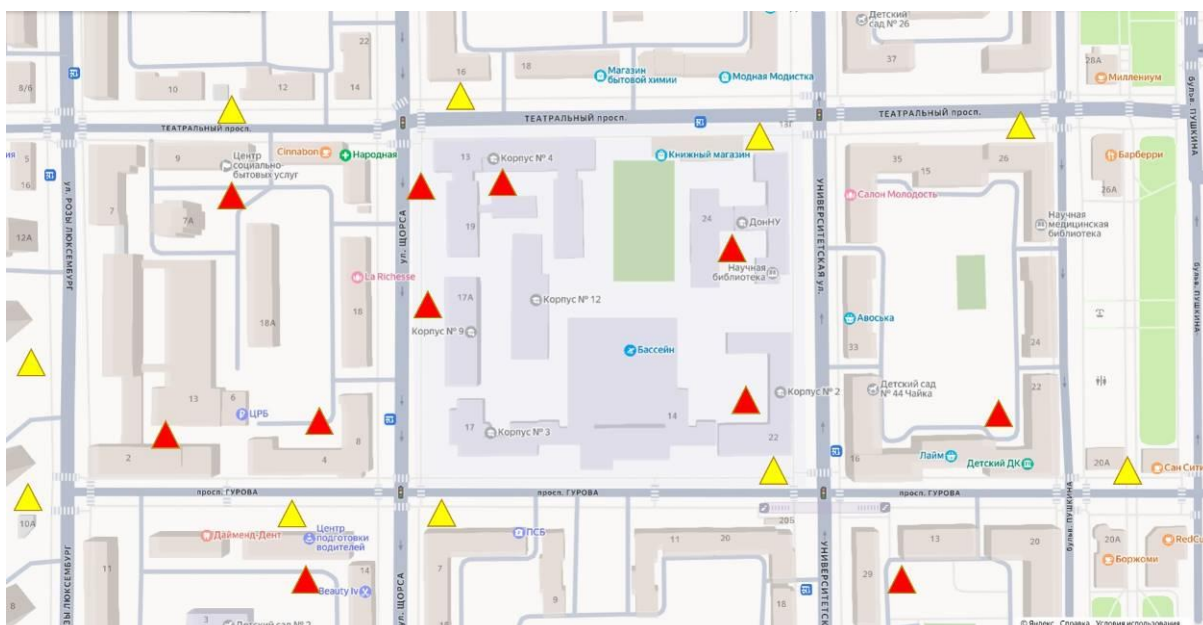


Рис. 2. Специфика скопления тополиного пуха в точках наблюдения: красные треугольники – высокие показатели, жёлтым цветом обозначены места с наименьшим количеством пуха

Пух (семена с волосками) ведёт себя как очень лёгкий аэрозоль, но с особенностями: летит при малом ветре и легко подхватывается любым потоком; оседает, когда скорость воздуха падает, или поток становится «рваным» и завихряется в замкнутых карманах, прилипает и цепляется: за траву, кусты, решётки, шероховатый

асфальт, щели у бордюра, влажные места; скатывается в «сборники»: углы дворов, тупики, зоны у стен, вдоль ограждений, в местах где воздух крутится по кругу. Рабочий вывод: мало пуха не там, где его «не существует», а там, где он не успевает закрепиться – его постоянно сдувает или перемешивает, или сметают потоками.

Полученная разметка (рис. 2) показывает: общая закономерность – по первой карте видно, что жёлтые треугольники (пуха мало) почти все стоят на магистралях (Театральный просп., просп. Гурова), у перекрёстков и открытых участков, на внешнем периметре кварталов, где поток «сквозной» – это зоны, где скорость ветра выше, турбулентность выше, пух не закрепляется и не накапливается, его «переносит дальше», красные треугольники (пуха много) почти все стоят внутри кварталов, кампусов, дворов, в углах и у стен, в полузамкнутых пространствах (П-образные корпуса, внутренние дворы), рядом с зелеными насаждениями, которые и производят пух, и улавливают его.

I. Левый квартал (между ул. Розы Люксембург и ул. Щорса), красные внутри двора (в районе «Центр социально-бытовых услуг» и по нижней части квартала) – там типичная периметральная застройка: здания экранируют ветер, во внутреннем пространстве формируется зона затишья. Воздух туда заходит в меньшем количестве и закручивается: пух попадает и перестаёт иметь шанс улететь. Нижняя часть квартала у проспекта Гурова: пух с проспекта попадает внутрь, но дальше он упирается в стену или бордюр, или угол и складывается. Жёлтые на проспектах вокруг: на Театральном и Гурова поток сквозной, там пух не задерживается; типовой механизм: улица как конвейер и двор как фильтр-накопитель.

II. Центральный большой квартал (кампус и корпуса ДонГУ, между ул. Щорса и Университетской). Тут больше всего красных обозначений, и это подтверждает ранее сформулированную гипотезу: по первой карте видно, что внутри квартала очень много деревьев и при этом сложная геометрия корпусов. Красные точки внутри и по краям корпусов между корпусами возникают щели-струи (ветер ускоряется в проходах), а за ними сразу карманы-рециркуляции (где скорость падает почти до нуля). В таких карманах пух концентрируется в вихре, пока не осядет на ближайшей поверхности и деревья внутри кампуса – они же ломают поток (ветрозащита) и ещё выступают механическим фильтром; рядом жёлтые отметки на Театральном-Гурова: по периметру кампуса магистрали работают как продув: пух либо пролетает дальше, либо перебрасывается внутрь в конкретные входы, а оседает уже внутри, где тихо.

III. Правый квартал (детсад и внутренний двор, П-образная застройка). Красный треугольник стоит прямо в дворовом кармане. Это идеальная ловушка: П-образная форма создаёт полузамкнутый объём, при ветре с любой стороны внутри двора часто формируется замкнутая циркуляция (вихрь крутит внутри); пух заходит и не выходит, потому что выход один и поток там обычно слабее, чем внутри «мешка». Детсадовские дворы часто имеют кусты, ограждения, песок, газон: всё это отлично удерживает пух, а на внешних улицах (где жёлтые) всё наоборот: продувается, перемешивается, выносятся.

IV. Нижние точки южнее просп. Гурова (красные и жёлтые). Там картина обычно такая – жёлтые отметки ближе к открытым участкам проспекта и перекрёсткам, красные внутри дворов, между корпусами, где снова: экран, тишина и углы.

Чем более замкнуто пространство (двор, П-образный корпус, периметральная застройка), тем больше накопление. Замкнутость – это низкая вентиляция и рециркуляция. Магистрали и перекрёстки почти всегда «жёлтые», потому что это зоны максимального продува и перемешивания. Пух накапливается на подветренных сторонах и в углах, особенно там, где поток «обтекает» здание и за ним образуется вихревая тень. Деревья внутри квартала усиливают красные зоны вдвойне: источник, ветрозащита и фильтр. Резкий контраст «улица чистая, двор забит» это нормальная аэродинамика города: улица транспортирует, двор осаждает. Самые стабильные красные

точки это дворы-ловушки (П-образные и периметральные). Точки у проходов-проездов более «ветрозависимы» и могут сдвигаться при смене направления ветра.

Для визуализации концентрирования пуха были использованы разные способы визуализации полученных сведений (рис. 3, 4).

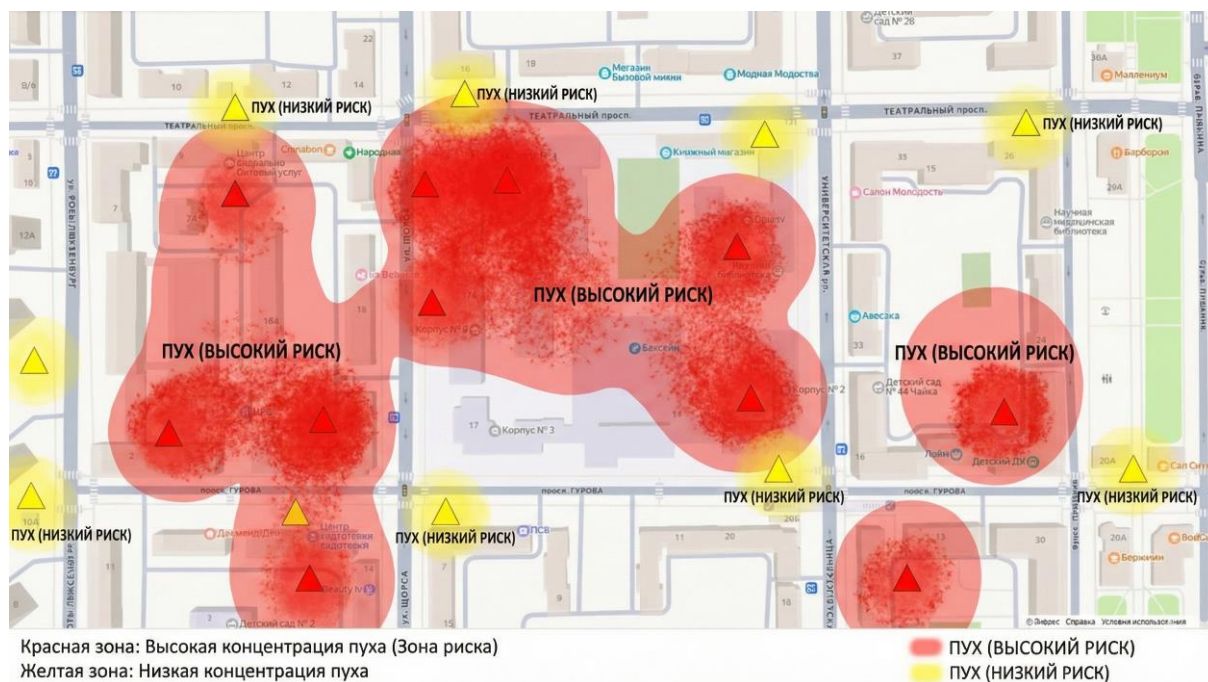


Рис. 3. Визуализация ареально-точечного типа по концентрации тополиного пуха

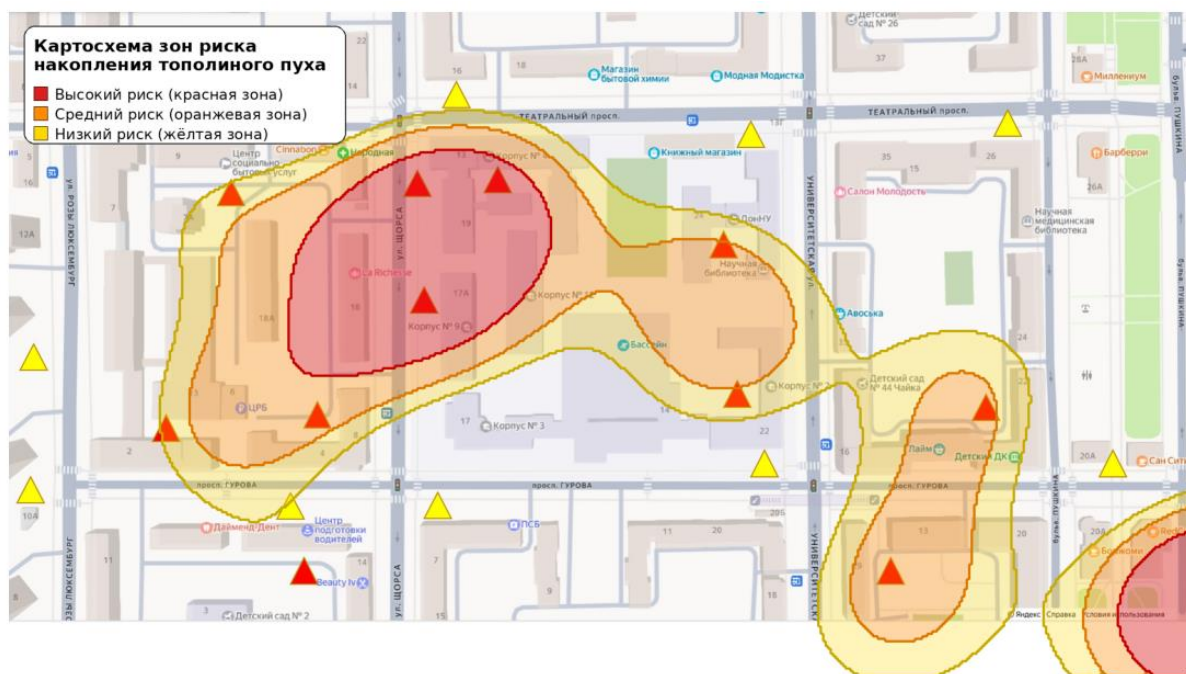


Рис. 4. Ранжированная визуализация по зонам переходного риска (по критерию пуха)

Нами были сформулированы и экспериментально проверены следующие закономерности.

1. Участки, отмеченные жёлтым цветом, – продуваемые места – это перекрёстки, широкие улицы, открытые углы кварталов; высокая скорость и постоянный срыв и перемешивание – пух не задерживается.

2. Участки, отмеченные красными треугольниками, – это аэродинамические карманы (дворы, полузамкнутые пространства, подветренные стороны корпусов, расширения после узких проходов), для них характерны резкое падение скорости и рециркуляция – пух скапливается. Чем больше замкнутость двора и плотность крон, тем выше накопление, даже если источник пуха не прямо внутри.

3. Граница «улица – двор» часто даёт красную зону рядом с входом и проездом, но уже внутри, часть потока «заворачивает» внутрь, а обратно вынести сложнее. Если в период пуха преобладает один сектор ветра, то красные точки чаще оказываются на подветренных (*leeward*) сторонах крупных объёмов и в «концах» дворов по направлению переноса. Визуально многие красные зоны тяготеют ко «внутренним и нижним» частям кварталов – это похоже на эффект подветренного накопления, но точно утверждать направление без розы ветров нельзя.

Обращаем внимание, что обсуждение темы пыльцевой аллергии от тополей не является предметом обсуждения в этой работе, поскольку мужские экземпляры тополей выбрасывают пыльцу на 1-1.5 месяца ранее, чем начинает лететь тополиный пух – семена с относительно длинным халазными выростами. В этот период макроклиматические особенности позволяют нивелировать возможный фактор риска в нашем регионе.

Полученные сведения являются экспериментально первичными, однако позволяют выявить некоторые экологические закономерности для характеристики системы запыления, продумать как правильно и в каких местах производить отбор образцов пуха для последующего ингредиентного анализа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Enhancing urban landscape connectivity through industrial land transformation: Integrating utilization efficiency and habitat isolation assessment / H. Kan, G. Ding, T. Zhou [et al.] // *Journal of Environmental Management*. – 2025. – Vol. 395. – P. 127769. – DOI 10.1016/j.jenvman.2025.127769. – EDN GTIIBH.
2. Ecological network degradation and conservation prioritization analysis of red-crowned crane habitats: a multi-model approach / Sh. Zhang, Ch. Sun, J. Li [et al.] // *Journal of Environmental Management*. – 2025. – Vol. 383. – P. 125458. – DOI 10.1016/j.jenvman.2025.125458. – EDN ZTUUKH.
3. Understanding the effects of lithium exposure on castor bean (*Ricinus communis*) plants, a potential bioindicator of lithium-contaminated areas / F. G. Macedo, E. Dos Santos Vargas, A. É. B. Moreira [et al.] // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2024. – Vol. 31, No. 39. – P. 51991-52000. – DOI 10.1007/s11356-024-34680-1. – EDN MOLSUY.
4. Assessment of Naturalness: The Response of Social Behavior Types of Plants to Anthropogenic Impact / N. Yorkina, I. Goncharenko, O. Lisovets, O. Zhukov // *Ekológia (Bratislava)*. – 2022. – Vol. 41, No. 2. – P. 135-146. – DOI 10.2478/eko-2022-0014. – EDN JVLHOL.
5. Калинина Ю.С. Оценка состояния объектов озеленения студенческого городка ДонГУ // *Донецкие чтения - 2025: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности*. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2025. – С. 105-107. – EDN MZFPDO.
6. Калинина Ю.С. Оптимизация рекреационной зоны на примере сквера «Строитель» г. Донецка / Ю.С. Калинина, Б.А. Габараев // *Донецкие чтения - 2025: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности*. – Донецк: ДонГУ, 2025. – С. 108. – EDN LNREWC.
7. Алемасова А.С. Тяжелые металлы в фитосубстратах – индикаторы антропогенного загрязнения воздуха в промышленном регионе // *Лесной вестник. Forestry Bulletin*. – 2022. – Т. 26, № 6. – С. 5-13. – DOI 10.18698/2542-1468-2022-6-5-13. – EDN XRDXNV.
8. Реуцкая В.В. Устойчивость *Populus L.* в условиях антропогенного загрязнения города Донецка / В.В. Реуцкая, В.О. Корниенко // *Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов*. – Донецк: ДонНТУ, 2025. – С. 200-201. – EDN UNMNLT.
9. Корниенко В.О. Влияние экологических факторов на физико-механические свойства, морфометрию и аллометрию древесных растений урбоэкосистем (на примере города Донецка): специальность 15.15.00: диссертация на соискание ученой степени к.б.н., 2022. – 166 с. – EDN QYUEPJ.

10. Silvicultural and Ecological Characteristics of *Populus bolleana* Lauche as a Key Introduced Species in the Urban Dendroflora of Industrial Cities / V. Kornienko, V. Reuckaya, A. Shkirenko [et al.] // Plants. – 2025. – Vol. 14, No. 13. – DOI 10.3390/plants14132052. – EDN DRDBQF.
11. Корниенко В.О. Деревья *Populus* L. в условиях урбанизированной среды Донецка / В.О. Корниенко, В.В. Реуцкая // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2025. – № 1. – С. 24-34. – DOI 10.5281/zenodo.15005606. – EDN MOGDEG.
12. Сафонов Р.А. Корректировка локальных маршрутов для экологического фитомониторинга в Донецке // Вестник студенческого научного общества ФГБОУ ВО "Донецкий государственный университет". – 2025. – Т. 1, № 17. – С. 76-80. – EDN ЕМКVTZ.
13. Ecological Network Construction in the Central Urban Area of Fuzhou: A Perspective of Green Infrastructure Supply and Demand / Ch. Hong, Ya. Chen, Yu. Cai, W. Pan // Land. – 2026. – Vol. 15, No. 1. – P. 46. – DOI 10.3390/land15010046. – EDN HDOHNC.
14. Dynamic Monitoring and Ecological Zoning Based on Eco-Environmental Quality and Landscape Ecological Risk in Dexing City, China / Y. Chen, B. Hu, J. Tang, Yu. Wang // Land Degradation and Development. – 2025. – P. 1dr.70310. – DOI 10.1002/ldr.70310. – EDN RHF AWJ.
15. Ceratodon purpureus (Hedw.) Brid в оценке техногенного загрязнения (Ni, Zn, Mn, Al, Se, Cs, La, Sm) трансформированных экотопов Донбасса / И.И. Зиньковская, К.Н. Вергель [и др.] // Трансформация экосистем. – 2023. – Т. 6, № 3(21). – С. 22-38. – DOI 10.23859/estr-220726. – EDN GHVAZY.
16. Neutron Activation Analysis of Rare Earth Elements (Sc, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy, Yb) in the Diagnosis of Ecosystems of Donbass / I. Zinicovscaia [et al.] // Physics of Particles and Nuclei Letters. – 2024. – Vol. 21, No. 2. – P. 186-200. – DOI 10.1134/S1547477124020158. – EDN XTYWUI.
17. Nespirnyi, V. The importance of principal component analysis for environmental biodiagnostics of Donbass // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 555. – P. 01007. – DOI 10.1051/e3sconf/202455501007. – EDN EQEGDI.
18. Description of the OSPM model. <https://envs.au.dk/en/research-areas/air-pollution-emissions-and-effects/the-monitoring-program/> Дата обращения 07.02.2026.
19. Sabatino S., Kastner-Klein P., Berkowicz R. The Modelling of Turbulence from Traffic in Urban Dispersion Models – Part I: Theoretical Considerations. Environmental Fluid Mechanics 3, 2003. P. 129–143. <https://doi.org/10.1023/A:1022063608237>
20. The Lagrangian particle dispersion model FLEXPART. <https://www.flexpart.eu/> Дата обращения 07.02.2026.
21. Stein A.F., Draxler R.R., Rolph G.D. et al. NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System. Bull. Amer. Meteor. Soc., 2015. 96, P. 2059–2077, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>
22. ENVI-met Model Architecture. <https://envi-met.info/> Дата обращения 07.02.2026.
23. Zeng L. Modeling the Ecological Network in Mountainous Resource-Based Cities: Morphological Spatial Pattern Analysis Approach // Buildings. – 2025. – Vol. 15, No. 8. – P. 1388. – DOI 10.3390/buildings15081388. – EDN HMRXHG.
24. Wu Zh. Influence of surface coal mining on carbon storage in semi-arid steppe / Zh. Wu, Q. Yu // Scientific Reports. – 2025. – Vol. 15, No. 1. – P. 15981. – DOI 10.1038/s41598-025-01148-2. – EDN JDAVCX.

#### PHYSICAL AND GEOGRAPHICAL CONDITIONING FOR MODELING MASS TRANSFER OF AEROPHYTOPOLLUTANTS

**Annotation.** A preliminary analysis of poplar fluff accumulation in the urban development of Donetsk's central district – the Donetsk State University student campus and adjacent residential areas – was conducted. The objective was to analyze the appropriateness of residential area planning and model the mass transfer of large airborne particles that pose a health hazard. Most of the study sites, located within the interior structures of buildings, capture and deposit harmful elements from urban air pollution.

**Keywords:** environmental monitoring, Donetsk, poplar fluff, air pollution, urban environment.

**Safonov R.A.**

Scientific adviser: Kalinina Yu.S., postgraduate student of the Department of Botany and Ecology  
Donetsk State University

E-mail: [romansafonov05@mail.ru](mailto:romansafonov05@mail.ru)

УДК 581.526.325:574.5

## АНТРОПОГЕННАЯ ЭВТРОФИКАЦИЯ ВОДОЕМОВ СТЕПНОЙ ЗОНЫ: ДИАГНОСТИКА ПО СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ ФИТОПЛАНКТОНА (НА ПРИМЕРЕ АМВРОСИЕВСКОГО М.О.)

*Хохлова О.А.*

*Научный руководитель: Мирненко Э.И., доцент  
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

*Аннотация:* В работе представлены результаты гидробиологического обследования четырех разнотипных водоемов Амвросиевского муниципального округа, проведенного в летне-осенний период 2020-2025 гг. Проведена таксономическая инвентаризация фитопланктона, выполнены расчеты численности, индексов сапробности Пантле-Букка и видового разнообразия Шеннона. Таксономический спектр включает 120 видов из 6 отделов, при доминировании *Heterokontophyta* (50%) и *Chlorophyta* (30,8%). На основе кластерного анализа (метод Варда, евклидово расстояние) водоемы разделены на две группы: с низким (пруды №2, №4) и высоким (пруды №1, №3) уровнем трофности. Выявлена достоверная положительная корреляция между долей цианобактерий и индексом сапробности ( $r_s=0,89$ ;  $p<0,05$ ). Показано, что в пруду с. Мокроеланчик (№3) и городском пруду г. Амвросиевка (№1) наблюдаются процессы антропогенного эвтрофирования, сопровождающиеся «цветением» воды.

*Ключевые слова:* фитопланктон, биоиндикация, антропогенная эвтрофикация, цианобактерии, индекс сапробности, Амвросиевский район.

Водные экосистемы степной зоны характеризуются повышенной уязвимостью к антропогенным воздействиям вследствие замедленного водообмена, высокой минерализации и интенсивного испарения [1,3,5]. В этих условиях классические гидрохимические методы, фиксирующие мгновенные концентрации загрязнителей, не всегда позволяют оценить долгосрочные последствия эвтрофикации. Биоиндикация с использованием фитопланктона, напротив, дает интегральную оценку качества среды, поскольку состав и структура альгоценозов отражают кумулятивный эффект всех действующих факторов [2].

Амвросиевский муниципальный округ относится к числу маловодных и хозяйственно освоенных территорий. Искусственные пруды, созданные здесь в XX веке, сегодня испытывают хроническую антропогенную нагрузку: поступление биогенов с сельскохозяйственных угодий, неорганизованный сброс бытовых стоков, рекреационное использование. Массовое развитие цианобактерий («цветение» воды) становится не только экологической, но и социально-экономической проблемой, ограничивающей водопользование и создающей токсикологические риски [4,6].

Цель работы – определить количественную и качественную характеристику фитопланктона водоемов Амвросиевского района как индикатора их экологического состояния, а также выявить статистически значимые связи между структурой сообщества и уровнем антропогенной нагрузки. Амвросиевский муниципальный округ относится к маловодным территориям степной зоны. Гидрографическая сеть развита слабо, основу составляют искусственные водоемы (пруды и водохранилища), подверженные различным видам антропогенного воздействия (сельскохозяйственному, жилому, промышленному). Низкий коэффициент увлажнения и преобладание антропогенно-трансформированных ландшафтов формируют специфические условия, способствующие аккумуляции загрязняющих веществ и развитию процессов эвтрофикации в водных объектах. В табл. 1 представлен альгологический анализ проб отобранных для идентифицированных водорослей фитопланктона.

Таблица 1. Альгологический анализ проб прудов Амвросиевского муниципального округа.

Водоем	Локализация	Площадь, га	Тип водопользования	Антропогенный фактор
Пруд №1	г. Амвросиевка, б. Сухой Лог	7,4	Рекреация, рыбоводство	Селитебный сток
Пруд №2	с. Ольгинское, р. Средний Еланчик	43,6	Рыборазведение	Рассредоточенный сток с полей
Пруд №3	с. Мокроеланчик	5,3	Водопой скота, орошение	Прямое поступление органики
Пруд №4	с. Мокроеланчик, б. Мокрый Еланчик	32,2	Сельхоз водоснабжение	Смыв удобрений

Пробы фитопланктона – отбирали в период максимальной вегетации 2020-2025 гг с поверхностного горизонта (0,2-0,5 м) в пластиковые контейнеры объемом 1,0 л. Концентрирование проводили осадочным методом. Идентификацию водорослей осуществляли в лабораторных условиях с использованием микроскопа Микмед-5 при увеличении  $\times 400$ ,  $\times 1000$ . Для количественного учета применяли камеру Горяева (объем 0,9 мм<sup>3</sup>). Численность выражали в тысячах клеток на 1 мл (тыс. кл/мл).

Для каждого водоема рассчитывали:

Индекс сапробности Пантле-Букка в модификации Сладечека:

$S = \Sigma(s_i \cdot h_i) / \Sigma h_i$ , где  $s_i$  – индикаторная сапробность вида,  $h_i$  – относительная численность вида.

Индекс видового разнообразия Шеннона:

$H' = -\Sigma p_i \log_2 p_i$ , где  $p_i$  – доля  $i$ -го вида в сообществе.

Коэффициент корреляции Спирмена ( $r_s$ ) для выявления связи между долей цианобактерий и индексом сапробности.

Кластерный анализ методом Варда на основе матрицы евклидовых расстояний по показателям: общая численность, доля *Cyanobacteria*, индекс Шеннона, индекс сапробности.

Сравнение групп водоемов проводили с использованием  $H$ -критерия Краскела–Уоллиса.

В результате проведенных исследований было идентифицировано 120 видов водорослей, относящихся к 6 отделам: *Cyanobacteria*, *Charophyta*, *Euglenophyta*, *Dinoflagellata*, *Heterokontophyta*, *Chlorophyta*. Таксономическая структура представлена 12 классами, 20 порядками, 34 семействами и 57 родами, что свидетельствует о высокой потенциальной экологической емкости изученных водоемов. В табл. 2 представлена таксономическая структура водорослей фитопланктона.

Таблица 2. Таксономическая структура идентифицированных водорослей фитопланктона водных объектов Амвросиевского муниципального округа.

Отделы	Количество				
	классов	порядков	семейств	родов	видов
<i>Cyanobacteria</i>	2	3	6	6	10
<i>Charophyta</i>	1	2	2	3	4
<i>Euglenophyta</i>	1	1	1	3	5
<i>Dinoflagellata</i>	1	1	1	2	4
<i>Heterokontophyta</i>	4	9	14	21	60
<i>Chlorophyta</i>	3	4	10	22	37

Всего	12	20	34	57	120
-------	----	----	----	----	-----

Наибольшим видовым богатством выделяется отдел *Heterokontophyta* (60 видов). Здесь чаще всего встречались следующие виды: *Cyclotella stelligera* Cl. et Grun., *Melosira granulata* (Ehr.) Ralfs, *Diatoma vulgare* Bory, *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehr., *S. acus* Kütz., *Navicula mutica* Kütz., *N. cuspidata* Kütz., *N. viridula* Kütz., *Neidium affine* (Ehr.) Pfitzer, *Pinnularia microstauron* (Ehr.) Cl., *P. viridis* (Nitzsch) Ehr., *P. major* (Kütz.) Rabenh., *P. nobilis* Ehr., *Cymbella turgida* (Greg.) Cl., *C. ventricosa* Kütz.

Второе место по разнообразию видового состава занимает отдел *Chlorophyta* (37 видов). Наиболее часто встречались такие виды: *Chlamydomonas monadina* (Ehr.) Stein, *Pandorina morum* (Müll.) Bory, *Volvox aureus* Ehr., *Oocystis borgei* Snow, *Coelastrum microporum* Nägeli, *Scenedesmus arcuatus* Lemmerm., *Ulothrix zonata* (Weber et Mohr) Kütz.

Третье место занимает отдел *Cyanobacteria* (10 видов), из которых часто встречались следующие виды: *Gloeocapsa turgida* (Kütz.) Hollerb. emend., *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk., *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs.

Меньшим количеством видов представлен отдел *Euglenophyta* (5 видов), из которых наиболее часто встречалась *Euglena polymorpha* Dang.

Наличием в своем составе 4 видов характеризуются отделы *Charophyta* и *Dinoflagellata*. Из них наиболее часто встречались: *Charophyta* – *Cosmarium depressum* (Bailey), *Mougeotia parvula* Hassall; из отдела *Dinophyta* – *Peridinium aciculiferum* Lemmerm.

Количественная характеристика и биоиндикационные индексы. В табл. 3 представлены усредненные показатели для каждого водоема.

Таблица 3. Гидробиологические показатели исследованных водоемов (M ± m)

Показатель	Пруд №2	Пруд №4	Пруд №1	Пруд №3
Общая численность, тыс. кл/мл	12,4 ± 2,1	28,7 ± 3,8	85,3 ± 9,4	142,6 ± 15,2
Доля <i>Cyanobacteria</i> , %	5	12	41	67
Индекс Шеннона (H'), бит/кл	3,42	2,85	1,94	1,21
Индекс сапробности (S)	1,82 ± 0,12	2,14 ± 0,09	2,56 ± 0,15	2,93 ± 0,18

Минимальные значения численности и максимальное разнообразие зафиксированы в пруду №2 (с. Ольгинское). Здесь преобладают диатомовые водоросли родов *Navicula*, *Synedra*, *Cymbella*, чувствительные к органическому загрязнению. Индекс сапробности (1,82) соответствует верхней границе β-мезосапробной зоны, что позволяет классифицировать воду как «умеренно загрязненную».

В пруду №4, расположенном в балке Мокрый Еланчик, наблюдается увеличение общей численности при сохранении относительно высокого разнообразия (H'=2,85). В планктоне отмечены как диатомовые, так и зеленые водоросли, однако доля цианобактерий возрастает до 12%, что указывает на начало эвтрофикационных процессов.

Пруд №1 (г. Амвросиевка) демонстрирует классические признаки антропогенного эвтрофирования. Общая численность достигает 85,3 тыс. кл/мл, индекс Шеннона снижается до 1,94, доля цианобактерий (роды *Microcystis*, *Aphanizomenon*) составляет 41%. Среди диатомовых преобладают виды-индикаторы повышенного содержания органики (*Nitzschia palea*, *Navicula cuspidata*). Индекс сапробности (2,56) соответствует β-α-мезосапробной зоне («загрязненная вода»).

Наиболее неблагоприятная ситуация сложилась в пруду №3 (с. Мокроеланчик). Зарегистрировано «гиперцветение» с доминированием цианобактерий (67%), формирующих поверхностные пленки. Видовое разнообразие минимально (H'=1,21),

индекс сапробности достигает 2,93 ( $\alpha$ -мезосапробная зона, «грязная вода»). Массовое развитие *Microcystis aeruginosa* и *Aphanizomenon flos-aquae* создает предпосылки для накопления цианотоксинов (Mikheev et al., 2022).

Кластерный анализ методом Варда позволил разделить исследованные водоемы на два крупных кластера при уровне евклидова расстояния  $> 5$ .

*Кластер I* (пруды №2, №4) объединяет водоемы с низкой трофностью, высоким разнообразием и незначительной долей цианобактерий. *Кластер II* (пруды №1, №3) включает водоемы, находящиеся в состоянии антропогенного эвтрофирования.

Сравнение кластеров по H-критерию Краскела-Уоллиса подтвердило статистическую значимость различий по всем четырем показателям ( $H=8,25$ ;  $p=0,016$  для индекса сапробности;  $H=7,89$ ;  $p=0,021$  для индекса Шеннона).

Корреляционный анализ Спирмена выявил: сильную положительную связь между долей цианобактерий и индексом сапробности ( $r_s = 0,89$ ;  $p = 0,012$ ); сильную отрицательную связь между долей цианобактерий и индексом Шеннона ( $r_s = -0,94$ ;  $p = 0,005$ ); умеренную положительную связь между общей численностью и индексом сапробности ( $r_s = 0,71$ ;  $p = 0,048$ ).

Таким образом, установлено, что увеличение доли цианобактерий в планктоне является надежным предиктором ухудшения качества воды и снижения устойчивости экосистемы. Полученные коэффициенты корреляции могут служить основой для разработки региональных нормативов биоиндикации.

Анализ факторов антропогенной нагрузки. Сопоставление гидробиологических данных с характером землепользования позволяет выделить ведущие факторы эвтрофикации.

Для пруда №3 (с. Мокроеланчик) основным источником биогенов служит прямой навозный сток с пастбищ и места водопоя. Высокие концентрации азота и фосфора в сочетании с мелководностью (средняя глубина  $< 1,5$  м) и прогревом создают условия для «цветения» на протяжении всего летнего сезона.

Для пруда №1 (г. Амвросиевка) определяющим фактором является поступление неочищенных ливневых стоков с урбанизированной территории. Накопление органических веществ в донных отложениях формирует вторичное загрязнение, поддерживающее высокую численность цианобактерий даже при отсутствии внешнего поступления биогенов.

Пруды №2 и №4, несмотря на наличие сельскохозяйственной нагрузки, сохраняют способность к саморегуляции благодаря большей глубине, наличию высшей водной растительности и, вероятно, более благоприятному гидрологическому режиму.

Проведенное исследование позволяет сформулировать следующие выводы:

1. Фитопланктон водоемов Амвросиевского муниципального округа характеризуется высоким таксономическим разнообразием (120 видов), однако структура сообщества существенно варьирует в зависимости от уровня антропогенной нагрузки.

2. На основе кластерного анализа выделены две группы водоемов: с устойчивым состоянием (пруды №2, №4) и с признаками антропогенного эвтрофирования (пруды №1, №3). Различия между группами статистически значимы ( $p < 0,05$ ).

3. Установлена сильная корреляционная связь между долей цианобактерий и индексом сапробности ( $r_s = 0,89$ ;  $p < 0,05$ ), что обосновывает использование соотношения *Cyanobacteria* / *Bacillariophyta* в качестве оперативного биоиндикационного показателя при мониторинге.

4. Критическое состояние прудов №1 и №3 требует разработки и внедрения природоохранных мероприятий, включающих создание водоохраных зон, регулирование выпаса скота и модернизацию систем ливневой канализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мирненко Э. И. Особенности «цветения» *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs. в альгофлоре Нижнекальмиусского водохранилища // Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы IV Международной научной конференции (Донецк, 31 октября 2019 г.). – Том 2: Химико-биологические науки / под общей редакцией проф. С. В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2019. – 253-255 с.
2. Мирненко Э. И. Влияние некоторых форм азота на развитие фитопланктона прудов водосборного бассейна р. Кальмиус (г. Донецк, ДНР) / Э. И. Мирненко // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2025. – № 1. – С. 35-40. – DOI 10.5281/zenodo.15005656. – EDN MZRVEJ.
3. Мирненко Э. И. Таксономическое разнообразие фитопланктона реки Кальмиус и водохранилищ, расположенных на ней / Э. И. Мирненко // Трансформация экосистем. – 2022. – Т. 5, № 2(16). – С. 63-73. – DOI 10.23859/estr-220204. – EDN KANIXE.
4. Mirnenko E. Ecological monitoring of water bodies: Bioindication, microalgae biodiversity indices / E. Mirnenko // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 555. – P. 02008. – DOI 10.1051/e3sconf/202455502008. – EDN ECGECV.
5. Mirnenko E. I. Content Composition and Dynamics of Photosynthetic Pigments in the Reservoirs of the Kalmius River of the Donetsk People's Republic / E. I. Mirnenko // Moscow University Biological Sciences Bulletin. – 2024. – Vol. 79, No. 4. – P. 267-273. – DOI 10.3103/S009639252560022X. – EDN WWYSHX.
6. Coulson M. Assessing the Impact of Land Use on Eutrophication in the Dorset Lakes // Inquiry at Queen's. – 2025. – Vol. 1. DOI: 10.24908/iqurcp19116.

**ANTHROPOGENIC EUTROPHICATION OF STEPPE ZONE WATER BODIES: DIAGNOSTICS  
BASED ON STRUCTURAL AND FUNCTIONAL PARAMETERS OF PHYTOPLANKTON (CASE  
STUDY OF AMVROSIEVSKY MUNICIPAL DISTRICT)**

**Annotation.** The paper presents the results of a hydrobiological survey of four different types of water bodies in the Amvrosievsky municipal district, conducted in the summer-autumn period of 2020–2025. A taxonomic inventory of phytoplankton was carried out, and calculations of abundance, Pante-Bucc saprobity index, and Shannon species diversity index were performed. It was established that the taxonomic spectrum includes 120 species from 6 divisions, with dominance of Heterokontophyta (50%) and Chlorophyta (30.8%). Based on cluster analysis (Ward's method, Euclidean distance), the water bodies were divided into two groups: with low (ponds No. 2, 4) and high (ponds No. 1, 3) trophic levels. A significant positive correlation was found between the proportion of cyanobacteria and the saprobity index ( $r_s = 0.89$ ;  $p < 0.05$ ). It is shown that in the pond of the village Mokroelanchik (No. 3) and the urban pond of Amvrosievka (No. 1), processes of anthropogenic eutrophication are observed, accompanied by water "blooming".

**Keywords:** phytoplankton, bioindication, anthropogenic eutrophication, cyanobacteria, saprobity index Amvrosievsky district

**Khokhlova O.A.**

Scientific supervisor: E.I. Mirnenko, associate professor

Donetsk State University

E-mail: [hokhlova.ol4ik@mail.ru](mailto:hokhlova.ol4ik@mail.ru)

УДК 581.9 : 58.006 : 502.75 : 712.253 : 57.087 (477.60)

## ГЕРБАРНЫЕ ФОНДЫ ДОНГУ ДЛЯ РЕТРОСПЕКТИВНОГО УЧЕТА И В ВИЗУАЛЬНОМ ЭКВИВАLENTE С ЭЛЕКТРОННЫМИ БАЗАМИ МГУ

Чунаева Н.В.

Научный руководитель: Сафонов А.И., канд. биол. наук, зав. кафедрой  
ФГБОУ ВО «ДонГУ»

*Аннотация.* Выделены некоторые временные тренды в сравнительном анализе 60-х гг. XX века до 2025 г. в коллекционных фондах Донецкого государственного университета. Разница в структуре указывает на возможные изменения условий среды в каждом таком конкретном локалитете с учётом регулярности сборов и наличия статистической разницы при сравнении показателей в разные годы. Возможность проведения визуализационного процесса в сравнении с доступными электронными базами гербария ведущего вуза РФ – МГУ им. М.В. Ломоносова – даёт дополнительные возможности проведения исследовательской работы в рамках задач подписанной дорожной карты между университетами.

*Ключевые слова:* гербарий, фитоиндикация, Донбасс, экологический мониторинг, кафедра ботаники и экологии ДонГУ, полевостресс.

Система накопления знаний о растениях в глобальном историческом аспекте в абсолютном большинстве случаев при проведении научной экспертизы опирается на сведения ботанических гербарных коллекций. До обстрела корпуса биологического факультета ДонГУ в 2022 году такую коллекцию можно было рассматривать в перспективе её вовлечения в общероссийскую информационно-аналитическую базу натуралистических сведений, однако на сегодняшний день (январь 2026 года) проблема законсервированного корпуса остаётся нерешённой, хотя исследовательская работа по изучению коллекционного фонда кафедры ботаники и экологии ДонГУ продолжается в рамках студенческих инициатив при выполнении дипломных и магистерских проектов [1; 2]. В связи с тем, что создание и изучение гербариев является традиционной работой университетов и НИИ РФ [3–6], а также с учетом современной трансформации формы сохранности информации в гербариях при переходе на цифровые платформы [7] считаем эту традицию вполне уместной для сохранения на территории Донецкой Народной Республики. Современные исследования флористического содержания вполне актуальны для Донбасса [8; 9] также в сопряжении с экологическими программами, реализуемыми в Донецком государственном университете [10; 11].

Цель работы – на основании имеющихся сведений о структурных особенностях четырёх модельных видов растений гербарной коллекции ДонГУ и с учетом визуализированных сведений электронных платформ из фонда Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова для *Anemone nemorosa* L. (ветреница дубравная), *Corydalis solida* (L.) Clairv. (хохлатка плотная), *Thymus pallasianus* Heintz & Braun (тимьян Палласа, чабрец Палласа) и *Scutellaria supina* L. (шлемник приземистый) выделить временные тренды возможных трансформаций в связи с меняющимися условиями среды в микроклиматическом аспекте в тенденциях их к ксероморфности и пайноморфности в структурном анализе.

В качестве опорных публикаций и сведений использовали данные региональных источников информации [12–14], аналитические сводки о фиторазнообразии в Донбассе [15; 16], результаты о структурных особенностях фитоиндикаторов или видов, имеющих избирательную индикационную значимость в экологическом мониторинге [17; 18]. Работа актуализируется полученными в 2024 году свидетельствами о регистрации баз данных по растениям техногенных и урбанизированных экосистем Северного Приазовья [19; 20] и актуальными разработками донецких ботаников по проведению специальных наблюдений за растениями в качестве информативных датчиков по меняющимся условиям, в том числе экологического состояния экосистем Донбасса [21–23], а также

для других регионов в рамках сотрудничества [24]. Иллюстративный материал цифрового гербария МГУ был взят по всем модельным видам для сравнительной визуализации из свободных источников [25].

Для детального анализа были выбраны четыре модельных вида 1) *Anemone nemorosa* L. (ветреница дубравная), 2) *Corydalis solida* (L.) Clairv. (хохлатка плотная), 3) *Thymus pallasianus* Heinr. Braun (тимьян Палласа, чабрец Палласа), 4) *Scutellaria supina* L. (шлемник приземистый), экземпляры которых представлены в одинаковых локалитетах за разные годы для формирования временного тренда с возможной интерпретацией связи с эколого-микроклиматическими тенденциями.

Сведения о внешнем виде отдельных коллекционных экземпляров представлены на рис. 1-4, а их детализация по диагностическим признакам различия в крайних состояниях указана в табл. 1-4.



Рис. 1. Представленность *Anemone nemorosa* L. в гербарных коллекциях ДонГУ и МГУ по [25]

Табл. 1. Диагностические признаки во временном тренде *Anemone nemorosa* L. в гербарных коллекциях ДонГУ

Год	Плотность устьиц и контуры околоустьичных клеток в разные годы		Микроскопическое изображение
	Количество устьиц	Характеристика контуров	
1974	380 в 10 п.з. микроскопа	ровные	
1985	384 в 10 п.з. микроскопа	ровные	
1996	383 в 10 п.з. микроскопа	почти ровные	
1997	390 в 10 п.з. микроскопа	извилистые	
2006	402 в 10 п.з. микроскопа	извилистые	
2016	421 в 10 п.з. микроскопа	извилистые	

Устойчивая ксероморфность признаков подтверждена структурным анализом по признакам устричного аппарата в 10 полях зрения микроскопа при оценке видимости в полной резкости изображения и не менее 20 устьиц, что характерно для обора образцов

в центральной части на нижней стороне листовой пластинки. Признак по стенкам оклоустычного аппарата также указывает на возникающие тенденции к ксероморфности вида за 40 лет по накопленным данным гербарной коллекции.

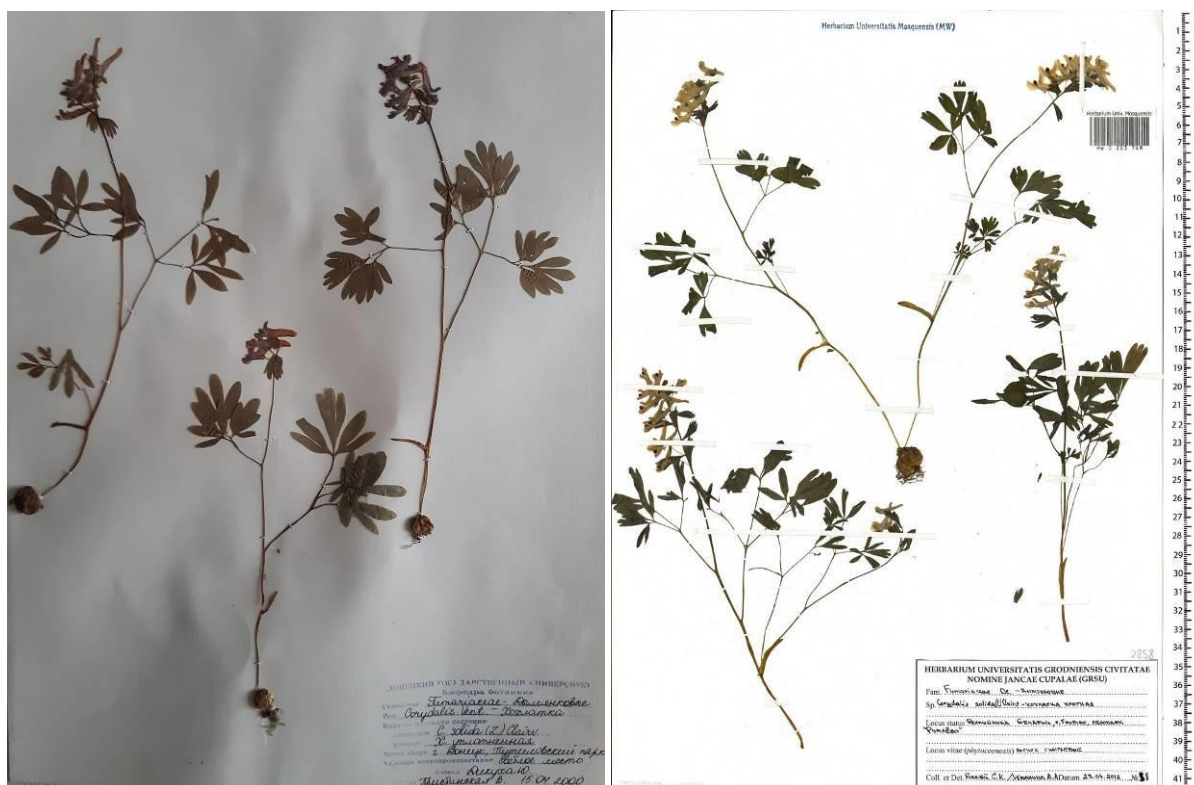




Рис. 2. Представленность *Corydalis solida* (L.) Clairv. в гербарных коллекциях ДонГУ и МГУ по [25]

Табл. 2. Диагностические признаки во временном тренде *Corydalis solida* (L.) Clairv. в гербарных коллекциях ДонГУ

	Членность в сегментировании листового аппарата в разные годы		
	1975	3 X 3, 3 X 2,5	
	1985	3 X 3, 3 X 3, 3 X 3,5	
	1996	3 X 3, 3 X 3,5	
	2005	3 X 3, 3 X 3,5 + 3 X 2	
	2014	3 X 3, 3 X 3,5 + 3 X 3	
	2025	3 X 3, 3 X 2,5 + 3 X 4	

Для вида *Corydalis solida* (L.) Clairv. закономерностей (достоверных сведений) в тренде временного разреза гербарной коллекции установлено не было. Были проанализированы экземпляры с 195 по 2025 год, что составляет полувековой разрез. Однако отличается сгруппированность листового аппарата по 2-3-4-членности и сегментированию самого листа, что стало объектом сравнения (табл. 2) для этого вида. Такие признаки также удобны в полевой диагностике и зарегистрированы в большей степени выраженности для мест (ландшафтов), пострадавших в результате военных событий, обстрелов, то есть для беллигеративных ландшафтов. Такой материал представляет интерес в диагностике факторов войны, а имеющиеся гербарные образцы за 50 и более лет подтверждают, что ранее таких примеров в строении листового аппарата обнаружено не было, это в контексте «контроль – опыт» указывает на

принципиальную разницу в некоторых признаках для современного растительного покрова.



Рис. 3. Представленность *Thymus pallasianus* Heinr.Braun в гербарных коллекциях ДонГУ и МГУ по [25]

Табл. 3. Диагностические признаки во временном тренде *Thymus pallasianus* Heinr.Braun в гербарных коллекциях ДонГУ

	Густота опушения (трихомы) в мутовке листового аппарата, в разные годы		
	1967	35-45 трихом к.т.	
	1975	35-48 трихом к.т.	
	1986	30-49 трихом к.т.	
	1998	42-51 трихом к.т.	
	2008	39-55 трихом к.т.	
2025	42-67 трихом к.т.		


Диагностика внутри семейства для представителей яснотковых, безусловно опирается на систему формирования трихом. При подробном сравнении данных с 1967 по 2025 годы был выделен признак, имеющих различия во временном тренде. Однако этот признак нуждается в перепроверке, поскольку достоверно не выяснено, наблюдаются ли такие отличия (как указано в табл. 3 по густоте опушения в области центральных на стебле мутовок листьев) с вязи со сроком хранения ботанического материала. Другими словами, возможно ли, что количество и структура трихом при долгосрочном хранении могут претерпевать деградативные признаки строения, что может сказаться на

результатах и выводах эксперимента. По имеющимся сведениям подтверждено, что ксероморфные признаки увеличивают своё проявление к современным образцам исследования.



Рис. 4. Представленность *Scutellaria supina* L. в гербарных коллекциях ДонГУ и МГУ по [25]

Табл. 4. Диагностические признаки во временном тренде *Scutellaria supina* L. в гербарных коллекциях ДонГУ

	Специфика жилкования		
		1969	
	1979		
	1988	анастомозы	
	1999	+2-3 порядка	
	2009	густая сеть анастомозов	
	2019	2-го порядка	

Анализ вида *Scutellaria supina* образцов был основан на сравнении признаков жилкования (поскольку возможность полноценного анализа признаков морфологии растений, используемых для ранее описанных видов, отсутствует) именно в гербарных образцах. Жилкование также физиологически и структурно подтверждает, что наблюдается устойчивая тенденция за 50 ти более лет к пайноморфности для этого вида растений в результате, по-видимому, увеличивающегося фактора эколого-токсикологического стресса, характерного для индустриального региона и в условиях появившегося с 2014 года нео-антропогенного фактора – ведения военных действий на территории Донбасса. Анастомозы между жилками разных порядков также свидетельствуют о физиологическом статусе растения, находящегося в разных экологических условиях. При этом, если сохраняется точка сбора (локалитет) и материал собран во временном тренде, как это сделано для описанных модельных видов растений

в этой работе, то можно констатировать наличие устойчивой тенденции к факторам среды, которые в климатологии указывают на более засушливые и жаркие условия за последние 50 лет наблюдений.

Используя гербарную коллекцию аборигенных видов, нами была проделана работа по ретроспективному анализу доступных признаков для структурного свидетельствования меняющихся факторов среды. Безусловно, что собранные в одинаковых местах одни и те же виды растений, находятся в динамической связи с факторами окружения, что использовано в контексте проводимого экологического фитомониторинга в Донбассе.

*Исследование выполнено в рамках молодежной лаборатории «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чунаева Н.В. Гербарий кафедры ботаники и экологии ДонГУ как источник климатических данных в Донбассе с 1965 года // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет". - 2024. - Т. 1, № 16. - С. 170-174. - EDN KGZAPH.
2. Чунаева Н.В. Структурная организация гербарных экземпляров при идентификации микроклиматических данных в Донбассе // Вестник студенческого научного общества ФГБОУ ВО "Донецкий государственный университет". - 2025. - Т. 1, № 17. - С. 92-96. - EDN IMXQYI.
3. Ганнибал Б.К., Корчагина И.А. Гербарий факультета географии и геоэкологии СПбГУ (современное состояние и история) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. - 2012. - № 3. - С. 144-147. - EDN PCIXJH.
4. Малов Д.Н. Гербарий группы фитоценологии Института экологии Волжского бассейна РАН (TLT) // Фиторазнообразие Восточной Европы. - 2021. - Т. 15, № 4. - С. 37-90. - DOI 10.24412/2072-8816-2021-15-4-37-90. - EDN ORQMSW.
5. Григорьевская А.Я., Федотов В.И., Владимиров Д.Р., Субботин А.С., Мирошникова А.А. Гербарий сосудистых растений факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского университета (VORG) // Ботанический журнал. - 2020. - Т. 105, № 2. - С. 196-200. - DOI 10.31857/S0006813620020040. - EDN JQLRNU.
6. Серегин А.П., Пашкина В.Н., Поспелов И.Н. Геоданные гербария МГУ: структура данных и методика геопривязки // Ботанический журнал. - 2023. - Т. 108, № 5. - С. 491-505. - DOI 10.31857/S0006813623050083. - EDN YZKILC.
7. Seregin A.P. Georeferencing of the Moscow university herbarium (MW) dataset is completed // Taxon. - 2025. - Vol. 74, No. 6. - P. 1641-1643. - DOI 10.1002/tax.70067. - EDN HTAPBG.
8. Пирко И.Ф., Корниенко В.О. Ресурсы флоры Юга Восточно-Европейской равнины. Аборигенные виды порядка Злакоцветные (*Poales small*) для озеленения городов Донецко-Макеевской агломерации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. - 2024. - № 3. - С. 24-37. - DOI 10.5281/zenodo.14532037. - EDN JJBGYH.
9. Пирко И.Ф., Корниенко В.О. Ресурсы флоры юга Восточно-Европейской равнины. Аборигенные виды злаков для придорожного озеленения Донецко-Макеевской агломерации // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. - 2024. - № 3. - С. 65-78. - DOI 10.5281/zenodo.13758407. - EDN NZBGNN.
10. Korniyenko V.O., Kalaev V.N. Impact of Natural Climate Factors on Mechanical Stability and Failure Rate in Silver Birch Trees in the City of Donetsk // Contemporary Problems of Ecology. - 2022. - Vol. 15, No. 7. - P. 806-816. - DOI 10.1134/s1995425522070150. - EDN EUVZMY.
11. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025623667 Российская Федерация. Эколого-биологические особенности и реакция древесно-кустарниковых интродуцентов в зеленых насаждениях городов Донбасса на климатотехногенный прессинг : заявл. 19.08.2025 : опубл. 05.09.2025 / В.О. Корниенко, И.Ф. Пирко, А.О. Шкиренко ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донецкий государственный университет». – EDN IVJEIV.
12. Экспозиционный материал кафедры ботаники и экологии ДонГУ для представления ДНР на Форуме ВДНХ «Россия» в 2024 году / А.И. Сафонов, Э.И. Мирненко, Н.С. Мирненко [и др.] // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. - 2024. - № 1. - С. 27-38. - EDN NSZYBT.
13. Демьяненко Т.В. Перспективы создания электронного гербария в Донецком государственном университете // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. - 2023. - № 1. - С. 91-97. - EDN EFUIIB.

14. Сафонов А.И. Экспозиции раритетных растений на кафедре ботаники и экологии Донецкого государственного университета // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. - 2023. - № 4. - С. 18-33. - EDN QOCBET.
15. Аспекты изучения биоразнообразия в Центральном Донбассе: инвентаризация, оценка природных сред, регистрация антропогенных трансформаций / С.В. Беспалова, О.С. Горещкий, М.В. Рева [и др.] // Степная Евразия - устойчивое развитие. - Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2022. - С. 179-181. - EDN LUJGKG.
16. Сафонов А.И. Фитоэмбриональный скрининг в экологическом мониторинге Донбасса // Зеленый журнал - Бюллетень ботанического сада Тверского государственного университета. - 2017. - № 3. - С. 5-12. - EDN UYHXGO.
17. Сафонов А.И. Структурная разнокачественность эмбриональных структур фитоиндикаторов в Донбассе // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. - 2016. - № 3-4. - С. 23-29. - EDN YUDMKW.
18. Safonov A. I. Approbation of Botanical Expertise Method in Ecological Monitoring // Геополитика и экогеодинамика регионов. - 2014. - Vol. 10, No. 2. - P. 219-221. - EDN WBLOSD.
19. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025625320 Российская Федерация. Видовой состав растений-индикаторов техногенных экотопов Донбасса : заявл. 10.11.2025 : опубл. 19.11.2025 / А. И. Сафонов, А. В. Калинина ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донецкий государственный университет». - EDN UMFUEZ.
20. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025625306 Российская Федерация. Список видов цветочно-декоративных растений, используемых в ландшафтном дизайне Донецко-Макеевской агломерации : заявл. 10.11.2025 : опубл. 19.11.2025 / А.И. Сафонов, Ю.С. Калинина ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донецкий государственный университет». - EDN UUGNSA.
21. Глухов А. З. Экомониторинг в контексте информационно-аналитической ботаники // Донецкие чтения - 2025: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. - Донецк: Донецкий национальный университет, 2025. - С. 66-67. - EDN TXNNAC.
22. Сафонов А.И. Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций. - Донецк: Издательский дом «ЭДИТ», 2024. - 289 с. - ISBN 978-5-605-24266-6. - EDN QVJSQE.
23. Сафонов А.И. Сорно-рудеральная фракция урбанофлоры Донецкой агломерации как показатель трансформации локальных экосистем // Трансформация экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов. - Киров: ВятГУ, 2019. - С. 13-16. - EDN UTXUDT.
24. Pleubergenova G.S. Floristic finds in the Northern Priishimye, Kazakhstan // Bulletin of the M. Kozybayev NKU. - 2024. - No. 3(63). - P. 34-40. - DOI 10.54596/2958-0048-2024-3-34-40. - EDN OTTMWG.
25. Серегин А.П. (ред.) Цифровой гербарий МГУ: Электронный ресурс. - М.: МГУ, 2026. - Режим доступа: <https://plant.depo.msu.ru/> (дата обращения 05.01.2026).

#### DONGU HERBARIAN FUNDS FOR RETROSPECTIVE ACCOUNTING AND IN VISUAL EQUIVALENT WITH ELECTRONIC DATABASES OF MSU

**Annotation.** Several temporal trends are highlighted in a comparative analysis of the collections of Donetsk State University from the 1960s to 2025. The differences in structure indicate possible changes in environmental conditions in each specific location, taking into account the regularity of collections and the statistical differences when comparing indicators across years. The ability to visualize the process against the available electronic collections of the herbarium of Russia's leading university, Lomonosov Moscow State University, offers additional opportunities for research within the framework of the signed roadmap between the universities.

**Keywords:** herbarium, phytoindication, Donbass, environmental monitoring, Department of Botany and Ecology of DonSU, polemostress.

**Chunaeva N.V.**

Scientific adviser: Safonov A.I. Ph.D., Head of the Department of Botany and Ecology

Donetsk State University

E-mail: [kf.botan@donnu.ru](mailto:kf.botan@donnu.ru)

# Физико-технические и математические науки

УДК 531.787.611.2

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ СИСТЕМЫ: МИКРОМАНОМЕТР МКВ-250 – ТРУБКА ПИТО – ПРАНДТЛЯ

*Александрова В.В., Бураков Д.В., Погоржельская А.А., Половникова В.А.  
Научные руководители: Пометун Е.Д. канд. техн. наук, зав. кафедрой,  
Лебедев В.Н. старший преподаватель  
ФГБОУ ВО «ДонГУ».*

*Аннотация.* Субъективный выбор оператором времени установления дифференциального давления в микроманометре МКВ – 250, подключенного к трубке Пито – Прандтля, снижает воспроизводимость и точность измерений. В работе представлена методика экспериментального определения постоянной времени измерительной системы в режиме сброса давления. Получено соотношение, связывающее динамическую погрешность с временем экспоненциального спада показаний. Описана процедура измерений и обработки данных. Результаты работы позволяют формализовать процесс измерений, обеспечивая достижение паспортной точности прибора.

*Ключевые слова:* микроманометр МКВ-250, постоянная времени, динамическая характеристика, время установления показаний, методика измерений.

### **Введение.**

Микроманометр компенсационный жидкостный МКВ-250 остается одним из основных прецизионных средств измерения малых дифференциальных давлений, начиная от 0,1 Па. Благодаря высокой надежности и точности измерений, основанной на компенсационном методе, прибор широко используется в метрологии, экологическом мониторинге и аэродинамических исследованиях в качестве образцового средства [1, 2].

В современных аэродинамических и теплофизических экспериментах измерение малых дифференциальных давлений является одной из ключевых задач, напрямую влияющих на точность определения скорости потока, расхода и коэффициентов сопротивления. Особую роль такие измерения играют при исследованиях низкоскоростных течений, где величины динамического давления малы, а относительное влияние погрешностей существенно возрастает.

В этих условиях компенсационные жидкостные микроманометры, в частности МКВ-250, сохраняют актуальность, несмотря на широкое распространение электронных датчиков давления. Это обусловлено их высокой долговременной стабильностью, отсутствием дрейфа нуля и возможностью использования в качестве эталонных средств при поверке и калибровке измерительных систем.

Несмотря на подробное описание технических параметров, в руководствах по эксплуатации МКВ-250 отсутствуют данные о динамических характеристиках системы измерения дифференциального давления с помощью напорных трубок [3]. На практике это время может достигать десятков секунд. В результате оператор вынужден выбирать интервал ожидания субъективно, что вносит неконтролируемую погрешность и снижает воспроизводимость результатов.

Целью работы является разработка и апробация методики экспериментального определения постоянной времени системы, на основе микроманометра МКВ-250 и трубки Пито - Прандтля. Установление зависимости постоянной времени от величины

дифференциального давления позволит формализовать процедуру измерений и гарантировать соблюдение условий, при которых паспортная точность прибора достигается за минимально необходимое время.

### 1. Конструкция и принцип работы МКВ-250.

Принцип работы МКВ-250 основан на уравнивании измеряемого дифференциального давления весом столба жидкости. Прибор реализует метод компенсации с визуальной индикацией момента равновесия. Конструктивно прибор содержит два сообщающихся резервуара, заполненных дистиллированной водой, обозначенных на схеме 01.02.00 и 01.03.00 (рисунок 1) [4]:

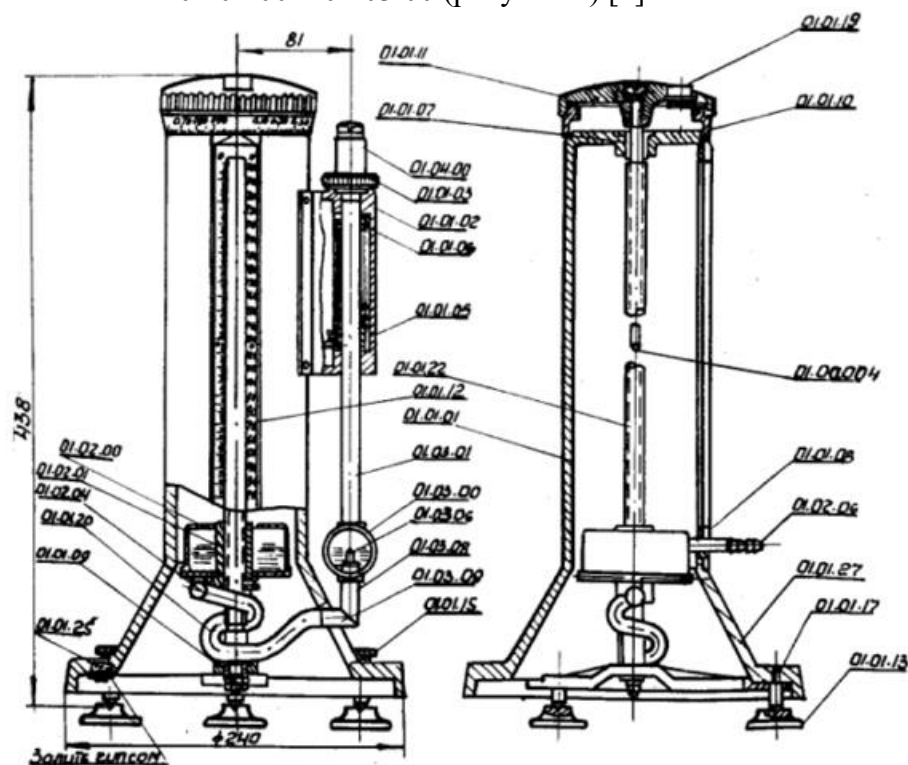


Рисунок 1. Конструкция микроманометра МКВ-250

Подвижный резервуар (основной) закреплён на стойке с микрометрическим винтом 01.00.004. Вращение винта позволяет плавно изменять уровень жидкости в неподвижном резервуаре (измерительной камере). Внутри этой камеры неподвижно закреплён конический указатель (конус) 01.03.04 остриём вверх. Камера оснащена оптической системой (линза, зеркала), которая формирует в окне наблюдения два совмещённых изображения: границы раздела воздух–жидкость (мениска) и острия конуса.

При приложении давления мениск в измерительной камере смещается, и два изображения в поле зрения расходятся. Оператор вращая микрометрический винт, перемещает подвижный резервуар до тех пор, пока мениск не коснётся острия конуса. В этот момент давление столба жидкости точно компенсирует измеряемое давление  $P$ . Высота столба  $h$  (мм), соответствующая положению равновесия, является мерой измеряемого давления:

$$P = \rho \cdot g \cdot h. \quad (1)$$

Полное показание складывается из целого числа миллиметров, отсчитываемого по шкале на стойке микрометрического винта, дробной части миллиметра, определяемой по лимбу большого диаметра. Лимб имеет две круговые шкалы: 0–1 мм (первая половина оборота) и 1–2 мм (вторая половина оборота). Цена наименьшего деления лимба составляет 0,01 мм, что соответствует изменению давления примерно на 0,1 Па.

В схеме измерения динамического давления использовалась трубка Пито – Прандтля, относящаяся к лабораторному (прецизионному) классу. Такие трубки имеют диаметр приёмного отверстия 0,2–0,5 мм. Их применяют в научных исследованиях, верификации численных моделей и метрологических работах, когда критичны возмущения потока и высокая пространственная разрешающая способность. Отверстия трубок создают значительное гидравлическое сопротивление перетоку жидкости, эффективно гася пульсации давления, но одновременно обуславливают инерционность прибора – медленное установление уровня после изменения давления. Эта инерционность характеризуется постоянной времени  $\tau$ .

### 2. Методика измерений.

Динамика системы при скачкообразном изменении давления описывается моделью апериодического звена первого порядка. Для эксперимента был реализован режим сброса давления. Пусть в начальный момент дифференциальное давление равно  $P_1$  и система находится в равновесии с показанием по высоте  $h_1$ . В момент времени  $t = 0$  давление  $P = P_1$  сбрасывается до нуля, тогда процесс релаксации системы к новому состоянию описывается дифференциальным уравнением [5]:

$$\tau \frac{dP}{dt} + P = 0, \quad (2)$$

где  $\tau$  – постоянная времени.

Решение уравнения (2) имеет вид экспоненциального спада:

$$P(t) = P_1 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (3)$$

Учитывая пропорциональность (1) между давлением  $P$  и высотой  $h$ , решение (3) можно переписать в виде:

$$h(t) = h_1 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (4)$$

где  $h(t)$  – текущее показание прибора (высота столба) в момент времени  $t$ .

Из формулы (4) вытекает практический способ определения  $\tau$ : постоянная времени равна промежутку, за который показание уменьшается в  $e \approx 2,718$  раз. На практике фиксируют время  $t_k$ , за которое отношение  $h(t)/h_1$  становится равным  $1/e \approx 0,3679$ :

$$h(\tau) = 0,3679 \cdot h_1. \quad (5)$$

Перед выполнением измерений необходимо выполнить ряд подготовительных операций согласно ГОСТ 8.302–78 [1]. Микроманометр устанавливается на массивное основание. С помощью двух регулировочных винтов устанавливается горизонтальное положение, контроль положения ведется по уровню, расположенному на основании прибора. Проверяется начальное схождение конусов. В случае необходимости выполняется точная настройка. После этого микроманометр готов к работе.

### 3. Экспериментальная часть.

Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 2.

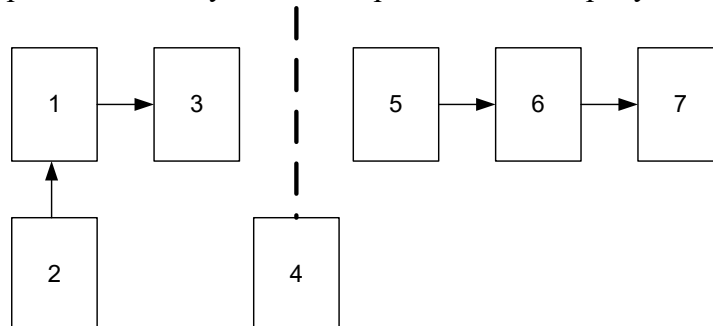


Рисунок 2. Схема экспериментальной установки: 1 – замкнутая аэродинамическая труба; 2 – частотный инвертор; 3 – конфузор; 4 – подвижная заслонка; 5 – трубка Пито – Прандтля; 6 – МКВ-250; 7 – система визуализации

Установка работает следующим образом. С помощью частотного инвертора 2 устанавливается частота вращения лопастей вентилятора и, соответственно, скорость потока воздуха в аэродинамической трубе 1. Трубка Пито – Прандтля 5 закрепляется непосредственно за конфузуром 3. Перекрытие воздушного потока выполняется подвижной заслонкой 4. Дифференциальное давление подается на микроманометр 6 и оптическую систему 7.

Выполняются следующие операции. С помощью инвертора устанавливается определенная скорость воздушного потока в аэродинамической трубе, на входе микроманометра возникает давление  $P_1$ . С помощью микрометрического винта и лимба МКВ-250, давление компенсируется и фиксируется равновесное показание  $h_1$  (в мм). Вычисляется значение  $h_2 \approx 0,3679 h_1$ . Устанавливается высота уровня  $h_2$ . С помощью подвижной заслонки поток перекрывается, при этом давление сбрасывается до атмосферного. Момент сброса ( $t = 0$ ) фиксируется по секундомеру. Отслеживается движение уровня и фиксируется время  $t$ , за которое показание уменьшается до значения  $h_2$ . Измерения повторяются в диапазоне дифференциального давления от 0,5 Па до 340 Па. Весь диапазон разделен по частотам (давлению): 10 Гц (0,5 Па); 20 Гц (2,9 Па); 30 Гц (76,5 Па); 40 Гц (130 Па); 50 Гц (200 Па) и 60 Гц (340 Па). В каждой точке выполняется не менее 5 измерений и вычисляется среднее значение.

По результатам измерений не было выявлено зависимости постоянной времени от величины давления  $P_1$  и от амплитуды относительного изменения давления в диапазоне от 10% до 100%. Для оценки погрешности измерения  $\tau$  было выполнено 30 измерений при дифференциальном давлении 130 Па (частота 40 Гц). Вычисление доверительного интервала выполнялось в соответствии с рекомендациями [6]. Полученное значение  $\tau = 12,5 \pm 0,5$  с. Решая уравнение (4) относительно времени при заданной погрешности  $X$ , получаем:

$$t = -\tau \ln(X). \quad (6)$$

При подстановке постоянной времени  $\sim 13$  с и заданной точности  $X \sim 0,005$  в уравнение 6, определяем, что время установления показаний должно составлять 69 с.

#### **Выводы.**

Постоянная времени системы измерения дифференциального давления по схеме МКВ-250 – трубка Пито-Прандтля может оказывать существенное влияние на воспроизводимость и точность измерений. Выполненные измерения показали, что постоянная времени для прецизионных трубок Пито - Прандтля, изготовленных ВНИИМ им. Менделеева, равна  $12,5 \pm 0,5$  с и в диапазоне от 0,5 Па до 340 Па не зависит от величины дифференциального давления. Полученные результаты могут быть использованы при разработке регламентов проведения лабораторных и научных экспериментов с применением микроманометров МКВ-250, а также при обучении студентов методам высокоточных измерений малых давлений. Предложенный подход не требует дополнительного оборудования и может быть реализован в условиях стандартной учебной лаборатории.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. ГОСТ 8.302–78. Микроманометры жидкостные компенсационные с микрометрическим винтом типа МКВ-250. — Введ. 1979-01-01. — М.: Изд-во стандартов, 1978. — 12 с.
2. Повх, И. Л. Аэродинамический эксперимент в машиностроении: учеб. пособие. — 3-е изд., доп. и испр. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1974. — 480 с.
3. Инструкция по эксплуатации МКВ-250 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://alfapascal.ru/\\_pictures/pdf/Users-manual-MKV.pdf](https://alfapascal.ru/_pictures/pdf/Users-manual-MKV.pdf) (дата обращения: 17.01.2026).
4. Описание МКВ-250 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://dzen.ru/a/YKTyNL7qggRph0Oz> (дата обращения: 17.01.2026).
5. Киясов, С. Н., Шурыгин В. В. Дифференциальные уравнения. Основы теории, методы решения задач: учеб. пособие. — Казань: Казанский федеральный университет, 2011. — 112 с.

6. Захаров, И. П. Обработка результатов измерений: учеб. пособие. — Харьков: Изд-во НУВД, 2001. — 126 с.

**EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE TIME CONSTANT OF THE SYSTEM:  
MICROMANOMETER MKB-250 – PITOT – PRANDTLE TUBE**

**Annotation.** The operator's subjective choice of the time for establishing the differential pressure in the MKB-250 micromanometer connected to the Pitot-Prandtl tube reduces the reproducibility and accuracy of measurements. This paper presents a method for experimentally determining the time constant of the measurement system in the pressure release mode. A relationship has been obtained that relates the dynamic error to the time of exponential decay of the readings. The measurement and data processing procedure has been described. The results of this work allow for the formalization of the measurement process, ensuring that the instrument meets its stated accuracy.

**Keywords:** micromanometer MKB-250, time constant, dynamic characteristic, settling time, measurement method.

**Aleksandrova V. V., Burakov D. V., Pogorzhelskaya A. A., Polovnikova V. A.**

Scientific advisers: E.D. Pometun, Ph.D, associate professor; V.N. Lebedev, Senior Lecturer

Donetsk State University

[v.alexandrova8@mail.ru](mailto:v.alexandrova8@mail.ru), [vitto7772@mail.ru](mailto:vitto7772@mail.ru), [alinapogorzhelskaya@mail.ru](mailto:alinapogorzhelskaya@mail.ru), [polovnikova.valeria06@mail.ru](mailto:polovnikova.valeria06@mail.ru)

УДК 531.787.611.2

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ ТЕРМИСТОРА ОТ СКОРОСТИ ПОТОКА В УСЛОВИЯХ ВЫНУЖДЕННОЙ КОНВЕКЦИИ

*Александрова В.В., Красноштан А.В., Платошина В.С.*  
*Научный руководитель: Пометун Е.Д. канд. техн. наук, зав. кафедрой*  
*ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

*Аннотация.* В статье рассматривается проблема влияния внешних условий на динамические характеристики первичных преобразователей температуры. Актуальность работы обусловлена необходимостью учета изменения инерционности датчиков в нестационарных потоках для повышения точности измерений. Целью исследования является экспериментальное определение зависимости постоянной времени НТС-термистора от скорости воздушного потока в условиях вынужденной конвекции. В работе использован косвенный метод формирования ступенчатого испытательного сигнала на базе малого аэродинамического стенда. Получены экспериментальные зависимости, выполнена оценка погрешностей. Установлено, что увеличение скорости обтекания датчика приводит к существенному снижению его постоянной времени, что подтверждает необходимость коррекции динамической погрешности в реальных условиях эксплуатации.

*Ключевые слова:* термистор, постоянная времени, динамические характеристики, вынужденная конвекция, скорость потока, термометр сопротивления, ступенчатое воздействие.

### **Введение.**

Современные системы управления технологическими процессами и научные исследования нестационарных газовых потоков предъявляют высокие требования к точности и быстродействию средств измерений. Одними из наиболее инерционных звеньев в измерительных каналах являются первичные преобразователи (датчики). Получение достоверной информации о быстроизменяющихся параметрах среды, таких как температура, невозможно без учета динамических характеристик датчика, среди которых ключевой является постоянная времени.

В технической документации производители часто приводят значения динамических характеристик для стандартизированных условий (например, в неподвижной среде, при скорости потока, равной нулю). Однако быстродействие датчика существенно зависит от внешних условий, в частности от интенсивности теплообмена с окружающей средой. В условиях вынужденной конвекции, когда скорость потока изменяется, игнорирование зависимости постоянной времени от скорости может привести к значительным динамическим погрешностям.

Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию зависимости постоянной времени НТС-термистора от скорости воздушного потока, что является актуальной задачей для метрологического обеспечения измерений в энергетике, авиастроении и климатической технике.

### **Основная часть.**

Термисторы (терморезисторы) являются полупроводниковыми приборами, сопротивление которых сильно зависит от температуры. Их динамические свойства, как правило, описывают передаточной функцией апериодического звена первого порядка. В этом случае процесс изменения температуры датчика (а значит, и его сопротивления) при скачкообразном изменении температуры среды описывается экспоненциальным законом. Основным параметром, характеризующим инерционность, является постоянная времени ( $\tau$ ) - время, в течение которого датчик достигает 63,2% от величины установившегося значения после ступенчатого воздействия.

В условиях вынужденной конвекции интенсивность теплоотдачи от датчика к среде возрастает с увеличением скорости потока. Согласно теории теплообмена,

коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  зависит от скорости потока (например, в степенной зависимости). Постоянная времени термистора обратно пропорциональна коэффициенту теплоотдачи:

$$\tau = \frac{\rho \cdot c \cdot V}{\alpha \cdot A}, \quad (1)$$

где  $\rho$  - плотность материала датчика,  $c$  - удельная теплоемкость,  $V$  - объем,  $A$  - площадь поверхности теплообмена.

Т.о., с ростом скорости потока (и, соответственно,  $\alpha$ ) постоянная времени должна уменьшаться.

Объектом исследования в данной работе является термометр сопротивления на основе **NTC-термистора Epcos G550**. Данный тип термистора выбран ввиду его широкого распространения в измерительной практике благодаря высокой чувствительности и компактным размерам. Градуировочная характеристика термистора и погрешность ее аппроксимации были установлены на предварительном этапе исследований (рис.1). Предметом исследования выступает зависимость динамических характеристик (постоянной времени) данного термистора от скорости обтекающего его воздушного потока.

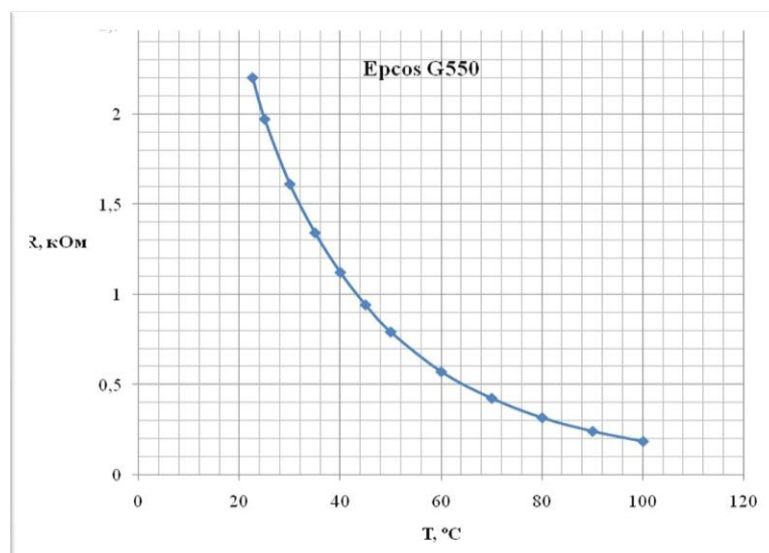


Рисунок 1. Градуировочная характеристика термистора **Epcos G550**

При проведении исследований и обработке результатов руководствовались следующими нормативными документами:

- МИ 2090-90 «Определение динамических характеристик аналоговых СИ с сосредоточенными параметрами» [1].

- ГОСТ 8.009 -72 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений» [2].

Исследование динамических характеристик проводилось в лабораторных условиях с использованием автоматизированного малого аэродинамического стенда (рис. 2). Основным элементом стенда является малая аэродинамическая труба, позволяющая создавать стабилизированный воздушный поток с регулируемой скоростью [3].



Рисунок 2. Внешний вид автоматизированного малого аэродинамического стенда

Для определения постоянной времени использовался косвенный метод формирования ступенчатого испытательного сигнала. Термистор Ersos G550 размещался в рабочей части аэродинамической трубы и подключался к электронной схеме, позволяющей коммутировать режимы работы. Суть метода заключалась в быстром переключении термистора из режима «термоанемометр» (саморазогрев датчика током выше температуры среды) в режим «термометр» (измерение сопротивления малым током). В момент переключения датчик, имеющий температуру выше температуры потока, начинает охлаждаться. Процесс охлаждения (переходная характеристика) регистрировался измерительной системой и отображался в программном обеспечении стенда.

Для каждой фиксированной скорости потока проводилась серия экспериментов. Полученные кривые охлаждения обрабатывались с использованием методов статистического анализа для выделения постоянной времени. Эксперименты повторялись для диапазона скоростей от 0 до 10 м/с.

В результате проведенных экспериментов были получены зависимости постоянной времени термистора Ersos G550 от скорости воздушного потока [4].

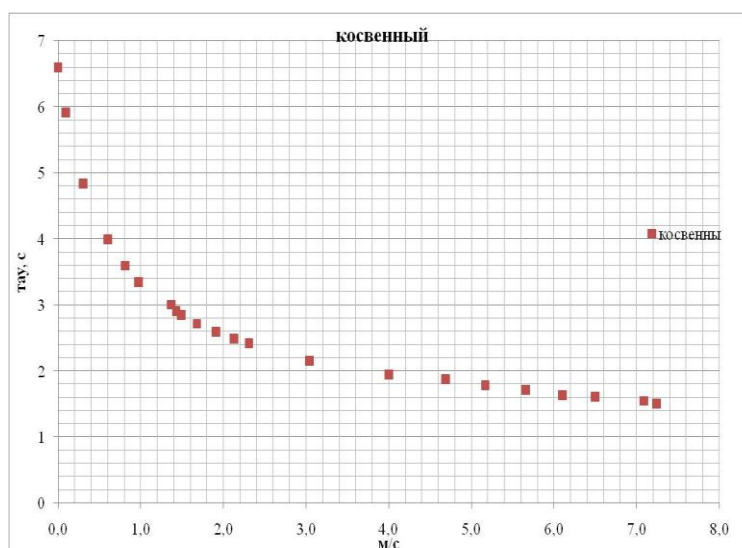


Рисунок 2. Зависимость термистора G550, в режиме термометра, полученные косвенным способом

На рисунке 2 представлен график экспериментальной зависимости  $\tau = f(V)$ . Анализ полученных данных показывает, что с увеличением скорости потока постоянная времени монотонно убывает. В неподвижном воздухе (скорость близка к 0) инерционность максимальна. При увеличении скорости до 5 м/с наблюдается резкое падение постоянной времени, что объясняется переходом от режима естественной конвекции к режиму вынужденной. В диапазоне скоростей от 5 до 10 м/с темп снижения постоянной времени уменьшается, что коррелирует с теоретическими представлениями о зависимости коэффициента теплоотдачи от скорости.

Полученная зависимость носит нелинейный характер. Это подтверждает тезис о том, что использование фиксированного паспортного значения постоянной времени (измеренного обычно в спокойном воздухе или воде) для расчета динамической погрешности в условиях реального потока неправомерно. Игнорирование данной зависимости может привести к занижению оценки быстродействия системы и, как следствие, к неверной интерпретации результатов измерения пульсаций температуры.

Оценка погрешностей является неотъемлемой частью эксперимента. Все источники погрешностей были разделены на две группы: инструментальные и методические [5].

К **инструментальным** погрешностям отнесены:

- основная приведенная погрешность образцовых измерителей скорости потока (МКВ-250, трубка Пито-Прандтля, АИСТ-5).
- погрешность образцового термометра (на основе термистора Epcos S869) и вторичного измерительного тракта.

К **методическим** погрешностям отнесены:

- погрешность, обусловленная неидеальностью воспроизведения ступенчатого испытательного сигнала (конечное время переключения).
- погрешность аппроксимации реальной переходной характеристики дифференциальным уравнением первого порядка, так как реальный термистор может обладать распределенными параметрами.
- погрешность, связанная с влиянием излучения и естественной конвекции при малых скоростях потока.

В ходе работы была выполнена оценка составляющих погрешности определения переходной характеристики, включая расчет динамической погрешности. Суммарная погрешность экспериментального определения постоянной времени составила  $\delta = 2,1 \%$ .

**Выводы:**

Полученные результаты подтверждают необходимость учета зависимости динамических характеристик от внешних условий (скорости потока) при проектировании измерительных систем для нестационарных процессов. Рекомендуется при поверке и калибровке быстродействующих термометров указывать условия испытаний и приводить зависимость постоянной времени от скорости обтекания. Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку математической модели для коррекции динамической погрешности в реальном времени на основе текущих показаний скорости потока.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Определение динамических характеристик аналоговых СИ с сосредоточенными параметрами: МИ 2090-90 [Введ. 01.01.90.]. – М. Из-во стандартов, 1990.- 34 с.
2. ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений: ГОСТ 8.009 – 84 – Взамен ГОСТ 8.009 – 72. – [Введ. 01. 01.86.]. – М.: Стандартиформ, 2006. – 26 с.
3. Пометун, Е. Д. Экспериментальное исследование динамических характеристик термометра на основе NTC - термистора / Е. Д. Пометун, В. Е. Силенко // Научно-технический прогресс: актуальные и перспективные направления будущего: Сборник материалов V Международной научно-практической

конференции, Кемерово, 07 апреля 2017 года / Западно-Сибирский научный центр. Том II. – Кемерово: Общество с ограниченной ответственностью "Западно-Сибирский научный центр", 2017. – С. 193-197. – EDN YPRADZ.

4. Пометун, Е. Д. Оптимизация определения градуировочной характеристики NTC-термистора при автоматизации измерений нестационарной температуры / Е. Д. Пометун, А. А. Беззуб // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2020. – № 3. – С. 61-65. – EDN MIVMFW.

5. Исследование динамических характеристик термометра на основе NTC - термистора / Е. Д. Пометун, В. В. Белоусов, Н. И. Болонов, В. Н. Лебедев // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2019. – № 1. – С. 3-8. – EDN OTXXRG.

**EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE TIME CONSTANT OF THE SYSTEM:  
MICROMANOMETER MKB-250 – PITOT – PRANDTLE TUBE**

**Annotation.** The article discusses the problem of the influence of external conditions on the dynamic characteristics of primary temperature transducers. The relevance of the work is due to the need to take into account the change in the inertia of sensors in non-stationary flows in order to improve the accuracy of measurements. The aim of the study is to experimentally determine the dependence of the time constant of an NTC thermistor on the air flow velocity under conditions of forced convection. The study uses an indirect method of generating a step-by-step test signal using a small aerodynamic bench. Experimental dependencies have been obtained, and the errors have been estimated. It has been established that an increase in the sensor's flow velocity leads to a significant decrease in its time constant, which confirms the need to correct the dynamic error in real operating conditions.

**Keywords:** thermistor, time constant, dynamic characteristics, forced convection, flow rate, resistance thermometer, stepwise exposure.

**Aleksandrova V. V., Krasnoshtan A.V., Platoshina V.S.**

Scientific advisers: E.D. Pometun, Ph.D, associate professor;

Donetsk State University

[v.alexandrova8@mail.ru](mailto:v.alexandrova8@mail.ru)

## ОБЗОР МЕТОДОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ССЫЛОК ИЗ PDF-ДОКУМЕНТОВ И ИНТЕГРАЦИИ В MICROSOFT WORD ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СПИСКОВ ЛИТЕРАТУРЫ ПО ГОСТ

*Балагуров Д.С., Белозеров М.А.*

*Научный руководитель: Бондаренко В.В., старший преподаватель  
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

*Аннотация:* В статье представлен обзор современных методов автоматического извлечения библиографических ссылок из PDF-документов и их интеграции в Microsoft Word для формирования корректного списка литературы в соответствии с обновлёнными стандартами ГОСТ. Рассмотрены существующие алгоритмы анализа PDF, выделения и классификации ссылок, методы нормализации данных и их автоматического форматирования в Word. Особое внимание уделено перспективам объединения этих технологий для ускорения подготовки научных документов и минимизации ошибок при оформлении библиографии.

*Ключевые слова:* PDF, извлечение ссылок, Microsoft Word, список литературы, ГОСТ, автоматизация библиографии, настройка Word, библиографические записи, машинное обучение, обработка естественного языка.

**Введение.** Подготовка научных и учебных документов требует точного соблюдения правил оформления библиографии. Часто источники хранятся в PDF-документах, что делает процесс ручного переноса ссылок трудоёмким и подверженным ошибкам. В то же время Microsoft Word остаётся стандартным инструментом для написания и форматирования текстов. Объединение технологий автоматического извлечения ссылок из PDF и инструментов Word для формирования списков литературы по ГОСТ позволяет повысить точность и скорость подготовки документов.

**Методы автоматического извлечения ссылок из PDF.** Автоматическое извлечение ссылок из PDF-документов состоит из нескольких этапов [1]: распознавание текста, выделение элементов библиографических записей, классификация источников и нормализация данных. Ниже подробно рассматриваются основные методы и подходы.

1. Распознавание текста (Text Extraction). В зависимости от типа исходного файла используются методы анализа текстовых потоков PDF либо оптическое распознавание символов (OCR) для сканированных документов. Качество распознавания текста является критически важным, поскольку ошибки на данном этапе приводят к снижению точности последующего анализа библиографических ссылок.

Для количественной оценки качества распознавания используется показатель точности, вычисляемый по формуле:

$$Accuracy_{text} = \frac{N_{correct}}{N_{total}} \times 100\% \quad (1)$$

где

$N_{correct}$  — количество корректно распознанных символов,

$N_{total}$  — общее количество символов в документе.

2. Метод выделения элементов библиографической записи. Полученный структурированный текст далее анализируется с целью выделения библиографических ссылок и их отдельных элементов, таких как автор, год публикации, название работы, источник и страницы. Для этого применяются регулярные выражения, методы сегментации текста с учётом форматирования, а также алгоритмы машинного обучения, позволяющие обрабатывать сложные и неструктурированные записи [2]. Для систематизации подходов к работе с библиографическими ссылками и их дальнейшей автоматизации целесообразно рассмотреть классификацию ссылок по ряду признаков.

Такая классификация позволяет учитывать особенности источников, способы их использования в тексте документа и требования к оформлению списка литературы. На рисунке 1 представлена обобщённая схема классификации библиографических ссылок, отражающая основные критерии их разграничения, включая объект описания, полноту библиографических сведений, место расположения ссылки в документе, количество ссылок на один и тот же источник, число одновременно отображаемых документов, а также особенности библиографического оформления.

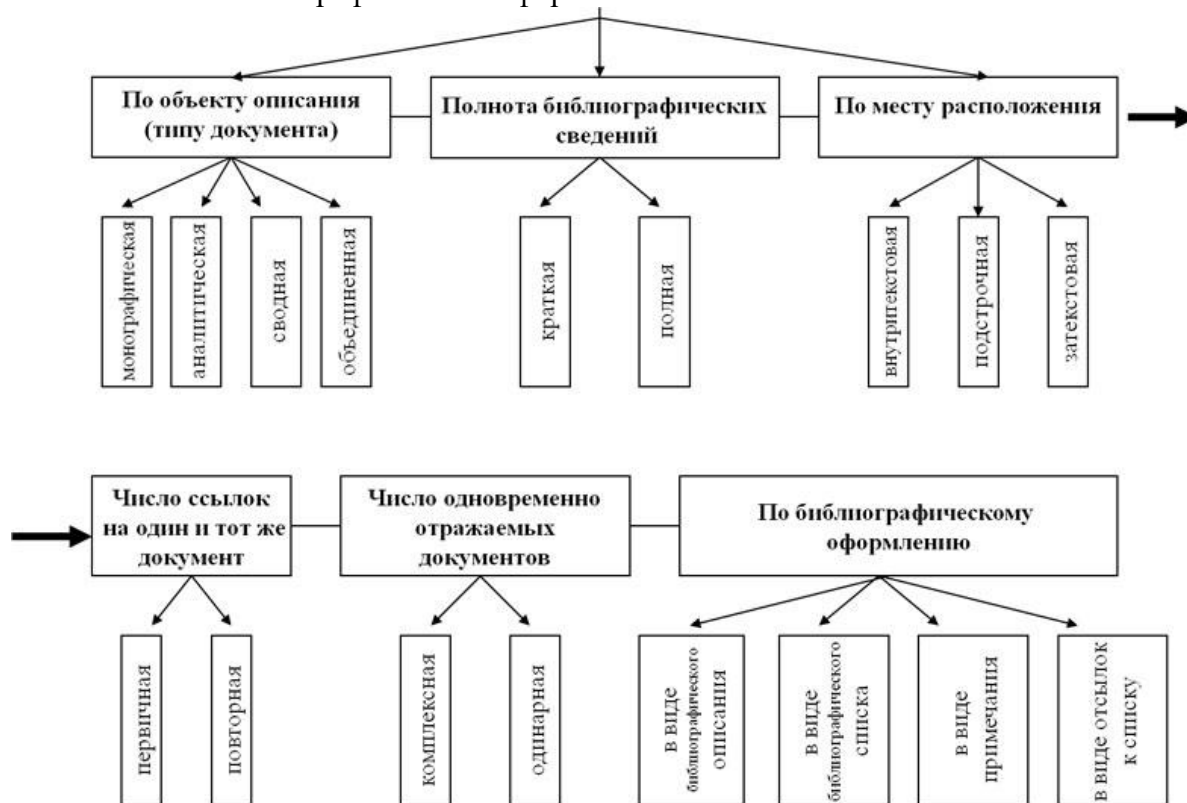


Рис.1. Классификация библиографических ссылок

3. Метод классификации источников. После выделения элементов библиографической записи выполняется классификация источников, необходимая для корректного оформления списка литературы по ГОСТ. Тип источника определяется на основе наличия характерных атрибутов [3]. Если указаны издательство и количество страниц, источник классифицируется как книга; при наличии сведений о журнале, томе и номере — как статья; при наличии URL или DOI — как интернет-ресурс. В остальных случаях источник относится к неопределённой категории.

Классификация источников позволяет автоматически выбирать корректный шаблон оформления библиографической записи и снижает вероятность ошибок при формировании списка литературы.

4. Метод нормализации библиографических данных. Следующим этапом является нормализация данных, направленная на приведение всех элементов библиографической записи к унифицированному виду, соответствующему требованиям ГОСТ. На этом этапе выполняется форматирование имён авторов, корректировка регистра, удаление лишних пробелов, проверка структуры записи и полноты обязательных полей.

Нормализация обеспечивает единообразие библиографических данных и их корректную последующую обработку в текстовом редакторе.

5. Метод интеграции библиографических данных с Microsoft Word. Нормализованные библиографические данные передаются в Microsoft Word с использованием надстроек, VBA-макросов или API Office [4]. Это обеспечивает автоматическое формирование и обновление списка литературы с учётом актуальных требований ГОСТ и версий текстового редактора.

Для наглядного представления процесса автоматической передачи и обработки библиографических данных в текстовом редакторе Microsoft Word целесообразно использовать обобщённую архитектурную схему интеграции. Такая схема позволяет отразить основные этапы взаимодействия между источником данных, модулем обработки библиографической информации и инструментами форматирования списка литературы. На рисунке 2 представлена схема интеграции извлечённых библиографических данных в Microsoft Word, иллюстрирующая последовательность преобразования данных от момента их получения до формирования итогового списка литературы в соответствии с требованиями ГОСТ.

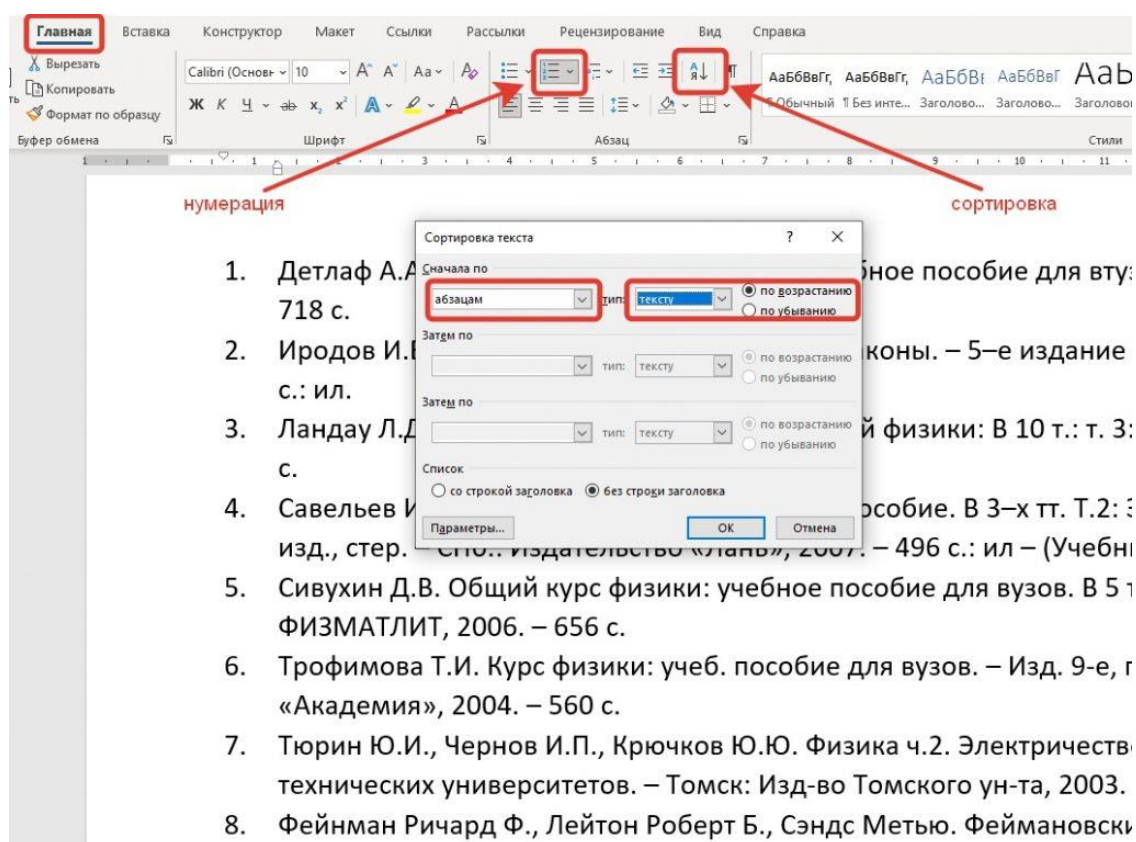


Рис.2. Схема интеграции извлечённых библиографических данных в Microsoft Word

Для более детального анализа особенностей оформления и использования библиографических ссылок в текстовых документах необходимо учитывать их классификацию по различным признакам [5]. Такая классификация позволяет формализовать правила обработки ссылок и использовать их при разработке автоматизированных средств поддержки библиографии. На рисунке 3 представлена схема классификации библиографических ссылок, отражающая основные варианты их разграничения по объекту описания, полноте библиографических сведений, месту расположения в документе, количеству ссылок на один источник, числу одновременно отображаемых документов, а также по способу библиографического оформления.



которого выделяются основные элементы библиографической записи. На основе полученных данных проводится классификация источников для выбора корректного шаблона оформления. Следующим этапом является нормализация библиографических данных, обеспечивающая их приведение к требованиям ГОСТ. Завершающим этапом выступает интеграция с Microsoft Word, в рамках которой формируется и автоматически обновляется список литературы.

Таблица 1. Сравнение существующих решений для формирования библиографии

Решение	Работа с PDF	Автоматическое извлечение ссылок	Интеграция с Word	Поддержка ГОСТ	Основные ограничения
EndNote	Да	Частично	Да	Ограниченная	Требуется ручная корректировка ГОСТ
Mendeley	Да	Частично	Ограниченная	Ограниченная	Нет актуальных шаблонов ГОСТ
Zotero	Да	Частично	Ограниченная	Ограниченная	Ручное форматирование списка
Встроенные средства Word	Нет	Нет	Да	Ограниченная	Отсутствие извлечения из PDF
Научные прототипы	Да	Да	Да	Да	Требуют дальнейшей доработки

Перспективы развития таких технологий связаны с интеграцией облачных библиотек и DOI-сервисов для актуализации метаданных источников, применением методов искусственного интеллекта и обработки естественного языка для анализа сложных и неструктурированных ссылок, а также созданием универсальных надстроек для Microsoft Word, обеспечивающих автоматическое обновление формата библиографии при изменении требований ГОСТ и выпуске новых версий редактора.

**Результаты.** В результате проведённого исследования и анализа существующих подходов была сформирована концепция универсальной технологии автоматической поддержки списка литературы в документах Microsoft Word на основе автоматического извлечения ссылок из PDF-документов. Определена последовательность ключевых этапов обработки библиографических данных, включающая извлечение текста, парсинг библиографических ссылок, классификацию источников, нормализацию данных в соответствии с требованиями ГОСТ и интеграцию с текстовым редактором.

Проведённый обзор программных средств показал, что широко используемые менеджеры библиографии обеспечивают удобную работу с PDF-документами, однако не в полной мере поддерживают актуальные версии ГОСТ и требуют ручной корректировки форматирования. Встроенные средства Microsoft Word обладают ограниченным функционалом и не обеспечивают автоматического извлечения библиографических данных. Наиболее перспективными являются научные разработки и прототипы, сочетающие алгоритмы анализа PDF и глубокую интеграцию с Word.

На основе полученных результатов обоснована целесообразность комбинированного подхода, объединяющего методы автоматического извлечения

ссылок из PDF и средства автоматизированного форматирования библиографии в Word. Реализация предложенной технологии позволяет снизить трудоёмкость подготовки научных документов, уменьшить количество ошибок при оформлении списка литературы и обеспечить соответствие актуальным нормативным требованиям.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жданов А.А. Рекомендательные системы: методы и алгоритмы персонализации информации / А.А. Жданов // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2019. – № 4. – С. 15–26.
2. Котельников С.А. Методы интеллектуального анализа данных в рекомендательных системах / С.А. Котельников, Е.В. Смирнова // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2020. – № 7. – С. 3–11.
3. Ricci F. Recommender Systems Handbook / F. Ricci, L. Rokach, B. Shapira. – New York : Springer, 2015. – 1003 p.
4. Sarwar B. Item-based Collaborative Filtering Recommendation Algorithms / B. Sarwar, G. Karypis, J. Konstan, J. Riedl // Proceedings of the 10th International World Wide Web Conference. – 2001. – P. 285–295.
5. Панкратов Д.В. Персонализация информационных сервисов на основе анализа пользовательских предпочтений / Д.В. Панкратов // Программные продукты и системы. – 2021. – № 2. – С. 45–53.

#### AN OVERVIEW OF METHODS FOR AUTOMATICALLY EXTRACTING LINKS FROM PDF DOCUMENTS AND INTEGRATING THEM INTO MICROSOFT WORD TO GENERATE GOST LITERATURE LISTS

**Annotation.** The article provides an overview of modern methods for automatically extracting bibliographic references from PDF documents and integrating them into Microsoft Word to generate a correct list of references in accordance with updated GOST standards. The existing algorithms of PDF analysis, selection and classification of links, methods of data normalization and automatic formatting in Word are considered. Special attention is paid to the prospects of combining these technologies to speed up the preparation of scientific documents and minimize errors in the design of the bibliography.

**Keywords:** recommendation system, deep neural networks.

**Balagurov D.S.**

E-mail: [nikita.retina@gmail.com](mailto:nikita.retina@gmail.com)

Scientific adviser: Bondarenko V.V., Senior Lecturer at the Department of Computer Technology, Donetsk State University.

E-mail: [vk.bondarenko@donnu.ru](mailto:vk.bondarenko@donnu.ru)

УДК 65.658.5.012.7

## РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ВНЕДРЕНИЮ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ДЛЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

*Бурлай С.С.*

*Научный руководитель: Быковская Н.В. канд. техн. наук, доцент  
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

*Аннотация.* В статье рассмотрены вопросы разработки рекомендаций по внедрению системы управления качеством атмосферного воздуха для урбанизированных территорий. Существующая ныне схема управления качеством атмосферного воздуха малоэффективна, плохо координируется, не позволяет решать масштабные задачи. Проведен анализ структуры управления качеством атмосферного воздуха на территории г. Донецка и в РФ, определены ее недостатки, и обоснованы пути совершенствования этой системы.

*Ключевые слова:* качество атмосферного воздуха; система управления качеством атмосферного воздуха; стационарные пункты наблюдения

### **Введение.**

Воздух, которым мы дышим, является фундаментальной частью окружающей среды и жизненно необходим для существования человека, флоры и фауны. Для такого индустриального гиганта, как Донецк, чистота атмосферы – это один из главных индикаторов благополучия и комфорта горожан. К сожалению, данные государственного мониторинга за 2022 год выявили серьезные проблемы: среднегодовые концентрации пыли, диоксида азота и аммиака значительно превышали допустимые нормы (в 2,5, 3,3 и 1,8 раза соответственно).

Текущая система контроля и управления качеством воздуха демонстрирует низкую эффективность, страдает от плохой координации и не способна решать комплексные проблемы. Повышение ее результативности имеет огромное значение для улучшения экологической ситуации в нашем регионе.

### **Основная часть.**

Промышленное развитие неизбежно усиливает техногенную нагрузку на природную среду и нарушает экологический баланс [13], а развитие промышленности, рост городов, увеличение количества транспорта, активное освоение околоземного пространства приводят к изменению газового состава атмосферы и нарушению её природного баланса.

Качество городской экосистемы и степень загрязнения атмосферы напрямую зависит от массы и химического состава промышленных выбросов, расположения и технологических параметров источников загрязнения, характеристик автотранспортных потоков, а также от природных условий и режима метеорологических условий, определяющих перенос, рассеивание и трансформацию выбрасываемых веществ.

Практически все предприятия, выпускающие тот или иной вид продукции, взаимодействует с экосистемами, вызывая при этом их деградацию. Улучшения ситуации можно достичь при условии гармонизации отношений природных и технических комплексов и компонентов путем создания и эксплуатации эколого-экономической системы. Такая система представляет собой совокупность технических устройств и взаимодействующих с ними элементов природной среды, которые в ходе совместного функционирования обеспечивают, с одной стороны, высокие производственные показатели, а с другой – поддержания в зоне своего влияния благоприятной экологической обстановки, а также максимально возможное сохранение и воспроизводство естественных ресурсов.

Современная система управления качеством атмосферного воздуха в российских городах базируется на агрегированных расчетах промышленных и автотранспортных выбросов. Эти расчеты являются основой для нормативного регулирования характеристик источников загрязнения атмосферы (ИЗА) и для оценки текущего состояния качества воздуха, сопоставляя его с реальными параметрами выбросов загрязняющих веществ (ЗВ). Развитие этих расчетных методик привело к формированию систем расчетного мониторинга [12]. Для выполнения расчетов применяются программные комплексы, разработанные в соответствии с нормативной методикой ОНД-86 [9], а информация о выбросах централизованно хранится в оперативных компьютерных банках данных. Обзор показал, что вопрос оценки и управления качеством атмосферного воздуха освещается крайне недостаточно.

В рамках эколого-экономической системы необходимо предусмотреть специализированный управляющий модуль. Его функция заключается в мониторинге динамики природных систем, анализе потенциальных неблагоприятных воздействий и последующей передаче директив производственным объектам. В контексте управления, в частности в Донецком регионе, в качестве исполнительного или координирующего блока могут выступать как органы государственной власти, так и специализированные ведомства. Среди последних можно выделить службу охраны окружающей среды, Центр мониторинга окружающей среды ФГБУ «УГМС» по ДНР, а также Гидрометеорологический центр, функционирующий под эгидой Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий ДНР.

Эффективная система мониторинга загрязнения воздуха – это первостепенная задача, позволяющая непрерывно собирать данные о состоянии атмосферы и сопутствующих метеорологических условиях. Эти сведения служат основой для природоохранных ведомств, предоставляя им инструменты для:

- оперативного контроля и регулирования хозяйственной деятельности, приводящей к загрязнению воздуха;
- оценки действенности мер по нормированию выбросов;
- анализа соблюдения предприятиями установленных лимитов выбросов.

Рассмотрим краткую характеристику *механизма управления качеством* атмосферного воздуха на исследуемой территории (г. Донецке).

Для крупного промышленного центра, которым является город Донецк, качество атмосферного воздуха представляет один из важнейших показателей уровня и условий жизни населения.

Так мониторинговые наблюдения качества атмосферного воздуха в городе Донецке осуществляет Центр мониторинга окружающей среды ФГБУ «УГМС» по ДНР. Так, например отбор проб для химического анализа в октябре 2023 г. проводился на 4-х стационарных постах наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха (ПНЗ).

На рисунках 1 - 4 представлены результаты государственного мониторинга атмосферного воздуха в Донецке. Эти изображения визуализируют изменения среднегодовых концентраций загрязняющих веществ, зафиксированные на стационарных пунктах наблюдений и предоставленные Гидрометеорологическим центром МЧС ДНР.

В данной работе представлены результаты мониторинга качества атмосферного воздуха в Донецке, выполненного Центром мониторинга окружающей среды ФГБУ «УГМС» по ДНР. В октябре 2023 года отбор проб для химического анализа осуществлялся на четырех стационарных постах наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха (ПНЗ).

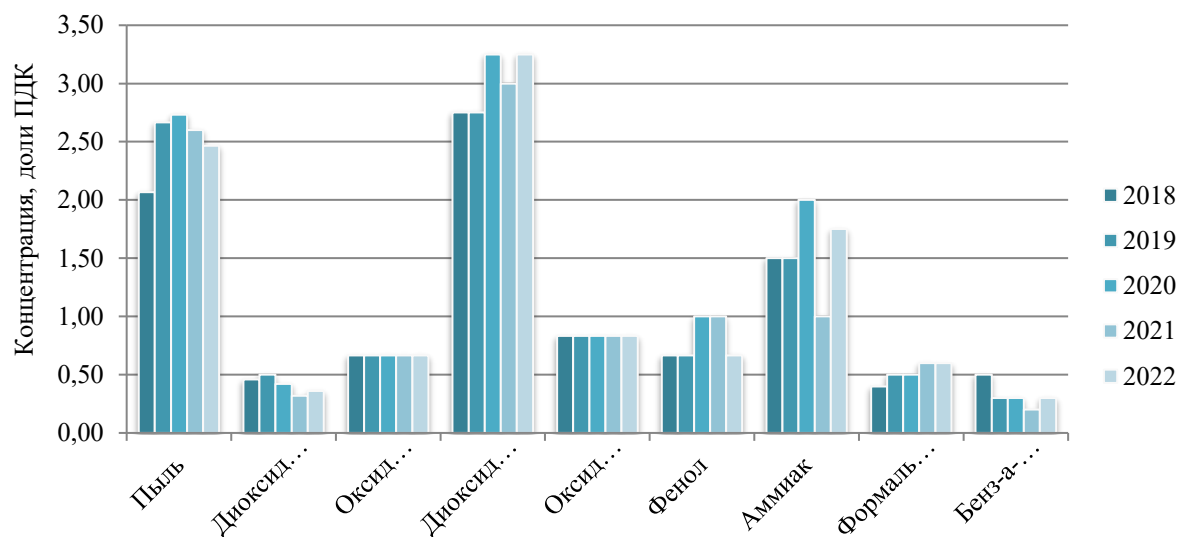


Рисунок 1. Изменение среднего уровня загрязнения атмосферного воздуха (в долях ПДК) за период 2018-2022 гг. по городу Донецк

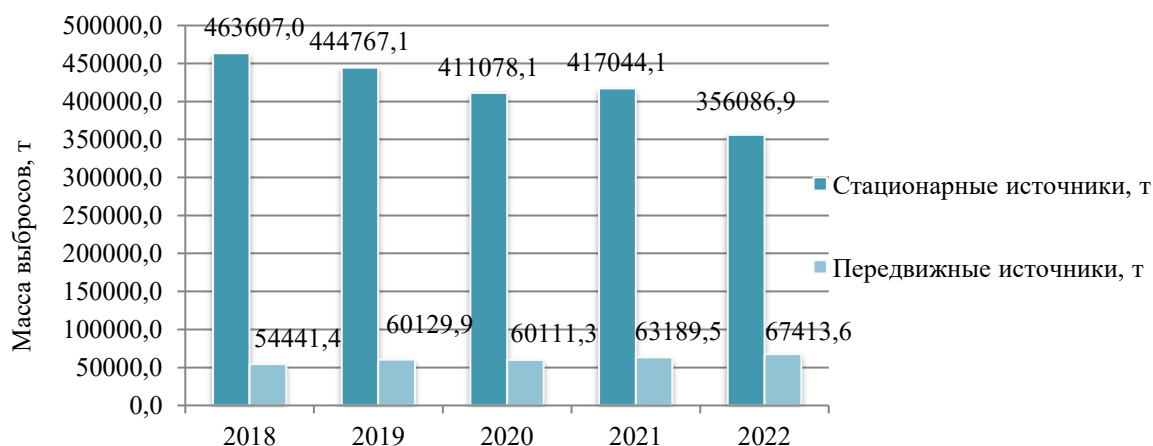


Рисунок 2. Динамика выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух ДНР за 2018-2022 год (без учета выбросов диоксида углерода)

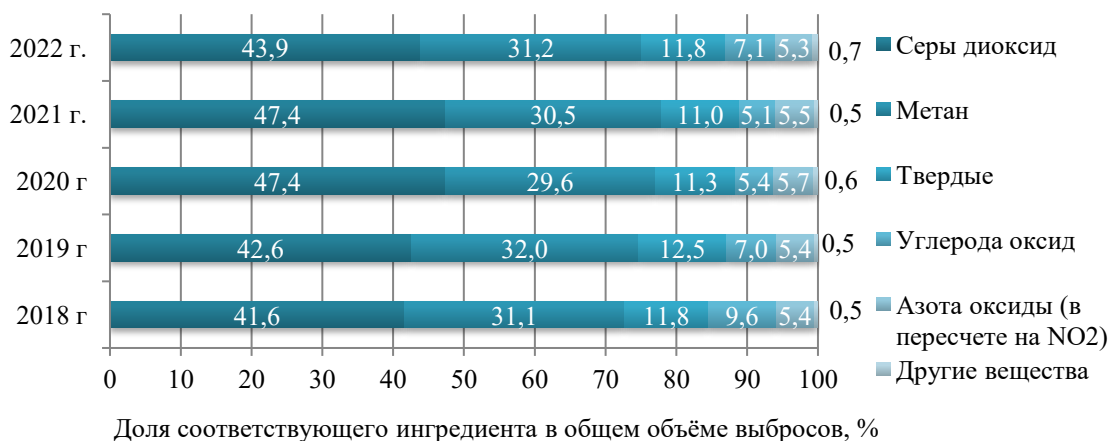


Рисунок 3. Структура выбросов основных загрязняющих веществ в атмосферный воздух (%) в Донецкой Народной Республике за 2018-2022 годы

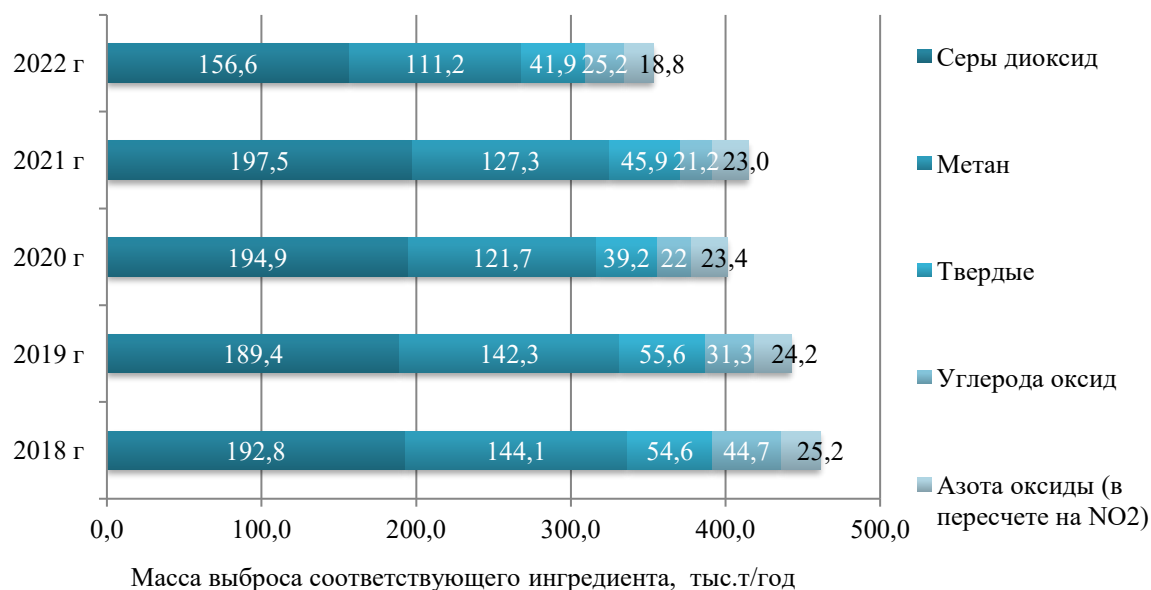


Рисунок 4. Динамика выбросов основных загрязняющих веществ в атмосферный воздух в Донецкой Народной Республике за 2018-2022 год

Воздух в Донецке в 2022 году был сильно загрязнен, о чем свидетельствует индекс КИЗА<sub>5</sub>, достигший 9,02 единиц. Особую тревогу вызывают аммиак, диоксид азота и пыль, чьи среднемесячные концентрации превышали предельно допустимые нормы в 3,3, 3,0 и 2,1 раза соответственно.

Максимальные разовые выбросы этих веществ также были выше безопасных уровней, причем случаи таких превышений были достаточно частыми (11% для аммиака, 8% для диоксида азота и 5% для пыли). Наиболее критическая ситуация с диоксидом азота и пылью наблюдалась на всех постах, достигая пиковых значений в 4,0 и 2,3 ПДК на посту №9. Аммиак также повсеместно превышал нормы, с максимальным значением в 3,5 ПДК на постах №7 и №9.

По всем стационарным постам наблюдения, среднемесячные уровни диоксида серы, оксида углерода, фенола, формальдегида и бенз(а)пирена оставались в пределах допустимых норм (ПДКс.с.)

Согласно данным метеорологических станций Донецкой Народной Республики за 2022 год, естественный радиационный фон колебался в пределах 9-16 мкР/ч (0,07-0,14 мкЗв/ч). Ни одного случая превышения допустимого уровня радиации (до 30 мкР/ч) на территории ДНР зафиксировано не было. Кроме того, наблюдалось снижение уровней пыли, диоксида серы, диоксида азота и аммиака

В январе 2023 года отбор проб для химического анализа проводился на четырех стационарных пунктах мониторинга загрязнения воздуха (ПНЗ). Экстремально высокие и высокие уровни загрязнения атмосферы не были зафиксированы. Отмечены превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) по загрязняющим веществам: диоксид азота был зафиксирован в 1,4 раза выше ПДКм.р., пыль – в 1,2 раза, а аммиак – в 1,1 раза. Частота возникновения таких превышений составила 4% для диоксида азота, 5% для пыли и менее 1% для аммиака.

По результатам мониторинга, среднемесячные уровни диоксида азота и пыли на всех контрольных точках превысили установленные предельно допустимые концентрации (ПДКс.с.). Наиболее значительное превышение диоксида азота зафиксировано на посту № 7, где его концентрация достигла 3,8 ПДКс.с. Для пыли максимальное превышение составило 2,3 ПДКс.с. на посту № 9. Аналогичная ситуация наблюдается с аммиаком: его среднемесячные концентрации также

превысили ПДКс.с. на всех постах, с максимальным значением в 2,0 ПДКс.с. на посту № 14.

Среднемесячные концентрации диоксида серы, оксида углерода, фенола, формальдегида и бенз/а/пирена не превысили значений ПДКс.с. ни на одном из постов.

По сравнению с предыдущим месяцем (2022 года) незначительно увеличилось содержание диоксида серы (в 1,3 раза, не превысив значения ПДКс.с.) и пыли (в 1,1 раза, превысив значения ПДКс.с.). Содержание оксида углерода, диоксида азота, фенола, аммиака и формальдегида осталось на прежнем уровне.

По сравнению с аналогичным периодом 2022 года увеличилось содержание аммиака (в 2,3 раза, превысив значения ПДКс.с.), фенола (в 1,5 раза, не превысив значения ПДКс.с.), диоксида азота (в 1,2 раза, превысив значения ПДКс.с.) и пыли (в 1,1 раза, превысив значения ПДКс.с.). Снизилось содержание диоксида серы. Содержание оксида углерода и формальдегида осталось на прежнем уровне.

Среднемесячные концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в долях ПДКс.с. в исследуемом периоде представлены в таблице 1.

Таблица 1. Среднемесячные концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в долях ПДКс.с.

Загрязняющие вещества	Среднемесячные концентрации, доли ПДКс.с.						
	Район города, № ПНЗ				В среднем по городу		
	Буденовский, ПНЗ №5	Киевский, ПНЗ №7	Ворошиловский, ПНЗ № 9	Кировский ПНЗ №14	январь 2023	декабрь 2022	январь 2022
Пыль	1,9	2,1	2,3	2,0	2,1	1,9	1,9
Диоксид серы	0,6	0,4	0,4	0,2	0,4	0,3	0,5
Оксид углерода	0,3	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Диоксид азота	3,0	3,8	3,5	2,8	3,3	3,3	2,8
Фенол	-	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2
Аммиак	-	1,8	1,5	2,0	1,8	1,8	0,8
Формальдегид	0,3	0,4	0,4	-	0,4	0,4	0,4

Однако, снижение некоторых показателей можно объяснить уничтожением и закрытием многих промышленных предприятий региона, ну а повышение – военными действиями.

Ввиду повсеместного свертывания производства валовое количество загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу на территории г. Донецка, снизилось, однако не за счет выполнения природоохранных мероприятий (то есть снижения удельных выбросов в секунду), внедрения передовых технологий или совершенствования производства, а за счет спада производства как следствия общего экономического кризиса. Ситуация осложняется быстрым моральным старением существующего производственного оборудования и потерей квалифицированных кадров, занимающихся охраной окружающей среды, нежеланием природопользователей оперативно решать экологические проблемы. Ситуация неутешительная и требует управления.

Для улучшения качества воздушного бассейна г. Донецка предложены следующие управленческие решения:

1. Устранение несанкционированных выбросов вредных веществ в атмосферный воздух путём введения жестких мер по контролю за промышленными атмосферными выбросами на предприятиях в г. Донецке.

2. Снижение выбросов от автотранспорта путём перевода общественного транспорта на газомоторное топливо.

3. Усиление контроля за проведением ТО автотранспорта.

4. Из-за недостаточности зелёных зон в городе растёт необходимость устраивать парки вместо аварийных зданий, подлежащих сносу.

5. Совершенствование механизма управления качеством воздуха должно сочетать экологические ограничения и стимулирование с учетом социальной значимости источников при строгом государственном контроле.

6. При комплексном решении проблемы сохранения надлежащего качества воздуха приоритет должен отдаваться наименее инерционной системе управления, координирующей действия всех заинтересованных сторон и более полно использующей функции органов местного самоуправления.

#### **Выводы.**

1. Обзор современных научных источников показал, что вопрос оценки и управления качеством атмосферного воздуха освещается крайне недостаточно. Загрязнение воздуха – это комплексная проблема, которая требует комплексного решения.

2. В эколого-экономической системе должен присутствовать особый блок управления, воспринимающий информацию о происходящих в природных системах изменениях, оценивающий возможные негативные последствия и передающий необходимую команду производственному предприятию.

3. Совершенствование механизма управления качеством воздуха должно сочетать экологические ограничения и стимулирование с учетом социальной значимости источников при строгом государственном контроле.

6. При комплексном решении проблемы сохранения надлежащего качества воздуха приоритет должен отдаваться наименее инерционной системе управления, координирующей действия всех заинтересованных сторон и более полно использующей функции органов местного самоуправления.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1 Федеральный закон от 04.05.1999 N 96-ФЗ (ред. от 08.08.2024) "Об охране атмосферного воздуха"/ Принят Государственной Думой 2 апреля 1999 года. – М.: КонсультантПлюс. 2024. – 27 с.

2. [Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ \(ред. от 08.08.2024\) «Об охране окружающей среды»](#) («Российская газета», № 6, 12.01.2002, «Парламентская газета», № 9, 12.01.2002, «Собрание законодательства РФ», 14.01.2002, № 2, ст. 133)

3. Постановление Правительства РФ от 02.03.2000 N 182 (ред. от 13.02.2019) "О порядке установления и пересмотра экологических и гигиенических нормативов качества атмосферного воздуха, предельно допустимых уровней физических воздействий на атмосферный воздух и государственной регистрации вредных (загрязняющих) веществ и потенциально опасных веществ". – М.: КонсультантПлюс. 2000. – 1 с.

4. Постановление Правительства РФ от 21 апреля 2000 г. N 373 "Об утверждении Положения о государственном учете вредных воздействий на атмосферный воздух и их источников"/ Утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2000 г. N 373. – М.: КонсультантПлюс. 2000. – 7 с.

5. [Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ \(ред. от 08.08.2024\) «Об охране окружающей среды»](#) («Российская газета», № 6, 12.01.2002, «Парламентская газета», № 9, 12.01.2002, «Собрание законодательства РФ», 14.01.2002, № 2, ст. 133)

6. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях: от 30.12.2001 N 195-ФЗ (ред. от 15.02.2016, с изм. от 02.03.2016) [Принят Гос. Думой 20 декабря 2001 г, одобрен Советом Федерации 26 декабря 2001 г.]. – М.: КонсультантПлюс. 2003. – 635 с.

7. «Уголовный кодекс Российской Федерации» от 13.06.1996 N 63-ФЗ (ред. от 30.12.2015) /Принят Гос. Думой 24 мая 1996 г. – М. 1996. – 189 с.

8. СанПиН 42-128-4690-88. Санитарные правила содержания территорий населенных мест /утв. Главным государственным санитарным врачом СССР 05.08.1988 N 4690-88). – М.: КонсультантПлюс. 1988.- 12 с.

9. ОНД-86 Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий / РД 52.04.212-86 // Утверждена Председателем Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды 4 августа 1986 г. № 192.

10. СанПиН 2.2.1/1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов // Утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации, Первым заместителем Министра здравоохранения Российской Федерации Г.Г. Онищенко 30 марта 2003 г. // Введены в действие постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 10 апреля 2003 г. № 38, с 15 июня 2003 г. Зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 29 апреля 2003 г. Регистрационный номер 4459.

11. Федеральный закон: О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения – от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации, 1999, № 14 – ст. 1650

12. Боровлев А.Э., Лисецкий Ф.Н., Чепелев О.А. Развитие системы управления качеством атмосферного воздуха для города Белгорода // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6-4. – С. 922-929. – URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=31664>

13. Карпов В. С. Информационно-измерительная система мониторинга загрязнения приземного слоя атмосферы промышленно развитых регионов / В. С. Карпов, В. М. Панарин, А. А. Горюноква // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2012. – Вып. 2. – С. 83–91.

#### **DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR THE IMPLEMENTATION OF AN AIR QUALITY MANAGEMENT SYSTEM FOR URBAN AREAS**

**Abstract.** This article presents the development of recommendations for the implementation of an air quality management system for urban areas. The current air quality management system is ineffective, poorly coordinated, and insufficient to address large-scale challenges. This article analyzes the air quality management system in Donetsk and throughout the Russian Federation, identifies its shortcomings, and provides a rationale for improving it.

**Key words:** air quality; air quality management system; stationary observation points

**Burlai S.S.**

Scientific advisers: Bykovskaya N.V., PhD, Associate Professor

Donetsk State University

E-Mail: [nataliya\\_bykovskaya@mail.ru](mailto:nataliya_bykovskaya@mail.ru)

[serega.burlai1@gmail.com](mailto:serega.burlai1@gmail.com)

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ СЕТЕВОГО ТУННЕЛИРОВАНИЯ

*Дятлов Д.В.*

*Научный руководитель: Бабичева М.В., канд. техн. наук, доцент  
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

*Аннотация:* в статье рассматривается возможность использования протокола QUIC для туннелирования сетевых протоколов и обеспечения защищённой передачи данных. В рамках исследования разработана экспериментальная реализация туннеля на основе QUIC/HTTP3, позволяющая инкапсулировать сетевые пакеты в зашифрованный транспортный поток. В качестве тестового протокола использовался ICMP. Проведен анализ процесса установления соединения QUIC и сравнение его с классическим TCP handshake. Экспериментально продемонстрирована передача ICMP-пакетов через туннель QUIC, а также выполнен анализ структуры передаваемых пакетов и характеристик задержки передачи данных. Полученные результаты показывают возможность использования протокола QUIC в качестве основы для построения защищённых туннелей передачи данных.

*Ключевые слова:* протокол QUIC, HTTP/3, сетевое туннелирование, инкапсуляция пакетов

**Введение.** Современные сети передачи данных требуют всё более эффективных механизмов обеспечения конфиденциальности и целостности информации. Одним из перспективных направлений является использование защищённых транспортных протоколов, позволяющих скрывать структуру передаваемого трафика и обеспечивать криптографическую защиту данных. Одним из таких протоколов является QUIC (Quick UDP Internet Connections), разработанный компанией Google и позднее стандартизированный в RFC 9000 [1]. Протокол QUIC функционирует поверх UDP и включает встроенную поддержку криптографического протокола TLS 1.3 [2, 3], что позволяет реализовать защищённое соединение без использования дополнительных механизмов шифрования. В настоящее время протокол QUIC активно используется для реализации HTTP/3 [3], однако его возможности могут применяться и для других задач, в том числе для построения защищённых туннелей передачи данных.

**Постановка задачи.** Целью исследования является разработка экспериментальной реализации туннеля передачи данных на основе протокола QUIC и анализ особенностей его работы. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: исследован процесс установления соединения в протоколе QUIC; выполнен сравнительный анализ механизмов соединения TCP и QUIC; разработана экспериментальная реализация туннеля на основе QUIC; реализована передача ICMP-пакетов через разработанный туннель; проведен анализ передаваемых пакетов с использованием Wireshark.

**Экспериментальная часть.** В рамках исследования была разработана экспериментальная система туннелирования сетевых протоколов на основе QUIC.

Архитектура решения включает клиентский и серверный модули, взаимодействующие через соединение QUIC, реализованное с использованием библиотеки aioquic [4]. Передача данных осуществляется через протокол HTTP/3, функционирующий поверх QUIC.

На стороне клиента выполняется формирование ICMP-пакета, который инкапсулируется в полезную нагрузку HTTP/3-сообщения и передается серверу через соединение QUIC. Сервер принимает данные, анализирует полученный пакет и формирует ответ, который передается клиенту по тому же соединению. На рисунке 1 показан алгоритм инкапсуляции пакетов.

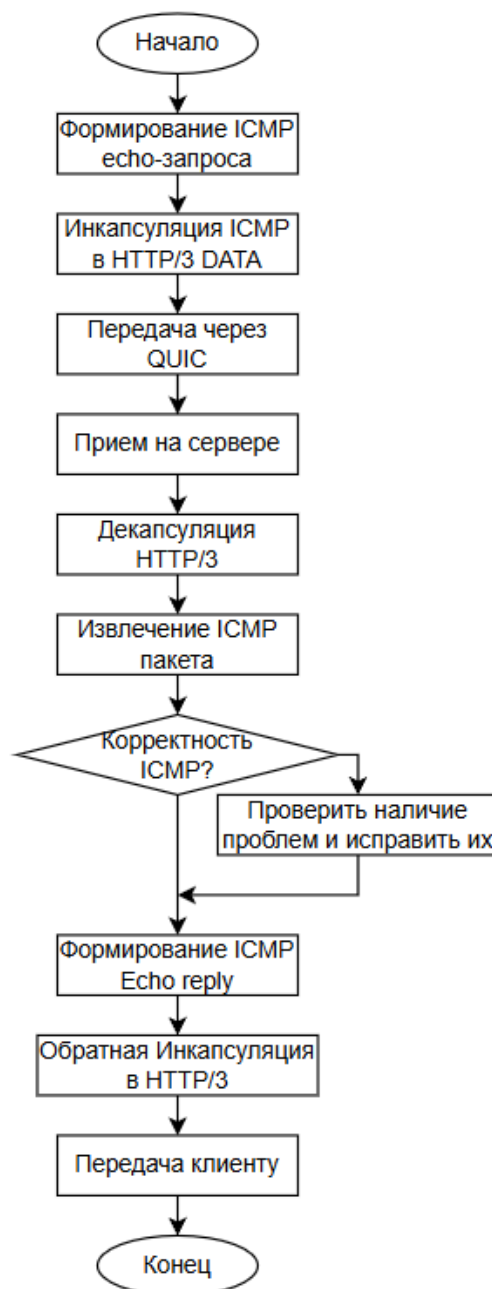


Рисунок 1. Схема инкапсуляции протокола ICMP в протокол QUIC

Эксперименты проводились в лабораторной среде, состоящей из двух виртуальных машин под управлением операционной системы Ubuntu Server. Виртуальные машины были объединены в локальную сеть и взаимодействовали напрямую. Для анализа сетевого трафика использовалась программа Wireshark, позволяющая выполнять перехват и анализ передаваемых пакетов.

В ходе эксперимента были выполнены следующие этапы: анализ установления TCP-соединения; анализ установления соединения QUIC; передача ICMP-пакетов без туннелирования; передача ICMP-пакетов через туннель QUIC.

**Результаты.** На рисунке 2 можно увидеть разницу перехваченных TCP и QUIC handshake.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	192.168.0.2	192.168.0.1	TCP	74	41630 → 8000 [SYN] Seq=0 Win=64240
2	0.000517	192.168.0.1	192.168.0.2	TCP	74	8000 → 41630 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1
3	0.000517	192.168.0.2	192.168.0.1	TCP	66	41630 → 8000 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=
4	0.000517	192.168.0.2	192.168.0.1	HTTP	146	GET / HTTP/1.1

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	PcsCompu_7e:52:98	Broadcast	ARP	60	Who has 192.168.0.1? Tell 19
2	0.000508	PcsCompu_4b:77:6e	PcsCompu_7e:52:98	ARP	60	192.168.0.1 is at 08:00:27:4
3	0.000508	192.168.0.2	192.168.0.1	QUIC	1242	Initial, DCID=9cd0f53933bf18
4	0.147110	192.168.0.1	192.168.0.2	QUIC	1242	Handshake, DCID=5c4418f6ab29
5	0.147110	192.168.0.1	192.168.0.2	QUIC	348	Handshake, DCID=5c4418f6ab29
6	0.209763	192.168.0.2	192.168.0.1	QUIC	1242	Handshake, DCID=8b47b97cef56
7	0.220378	192.168.0.2	192.168.0.1	QUIC	399	Protected Payload (KP0), DCI
8	0.220888	192.168.0.2	192.168.0.1	QUIC	119	Protected Payload (KP0), DCI
9	0.221395	192.168.0.1	192.168.0.2	QUIC	295	Protected Payload (KP0), DCI
10	0.221901	192.168.0.2	192.168.0.1	QUIC	77	Protected Payload (KP0), DCI
11	0.223418	192.168.0.2	192.168.0.1	QUIC	75	Protected Payload (KP0), DCI
12	0.235547	192.168.0.1	192.168.0.2	QUIC	108	Protected Payload (KP0), DCI
13	0.237066	192.168.0.2	192.168.0.1	QUIC	75	Protected Payload (KP0), DCI
14	0.237066	192.168.0.1	192.168.0.2	QUIC	75	Protected Payload (KP0), DCI
15	2.224138	192.168.0.2	192.168.0.1	QUIC	72	Protected Payload (KP0), DCI
16	5.210485	PcsCompu_4b:77:6e	PcsCompu_7e:52:98	ARP	60	Who has 192.168.0.2? Tell 19

Рисунок 2. TCP и QUIC handshake

Анализ пакетов показал, что после завершения криптографического handshake полезная нагрузка QUIC передается в зашифрованном виде. Средства анализа трафика не позволяют интерпретировать содержимое пакетов без наличия криптографических ключей. Экспериментальная реализация туннеля на основе QUIC/HTTP3, позволяющая инкапсулировать сетевые пакеты ICMP в зашифрованный транспортный поток показала, что встроенный протокол шифрования позволяет скрыть содержимое пакетов ICMP. На рисунке 3 видно, что все данные зашифрованы. Также было выполнено измерение среднего времени задержки передачи пакетов:

ICMP = 0.418 ms

QUIC = 2.92s = 2920 ms

Время увеличилось за счет туннелирования и шифрования.

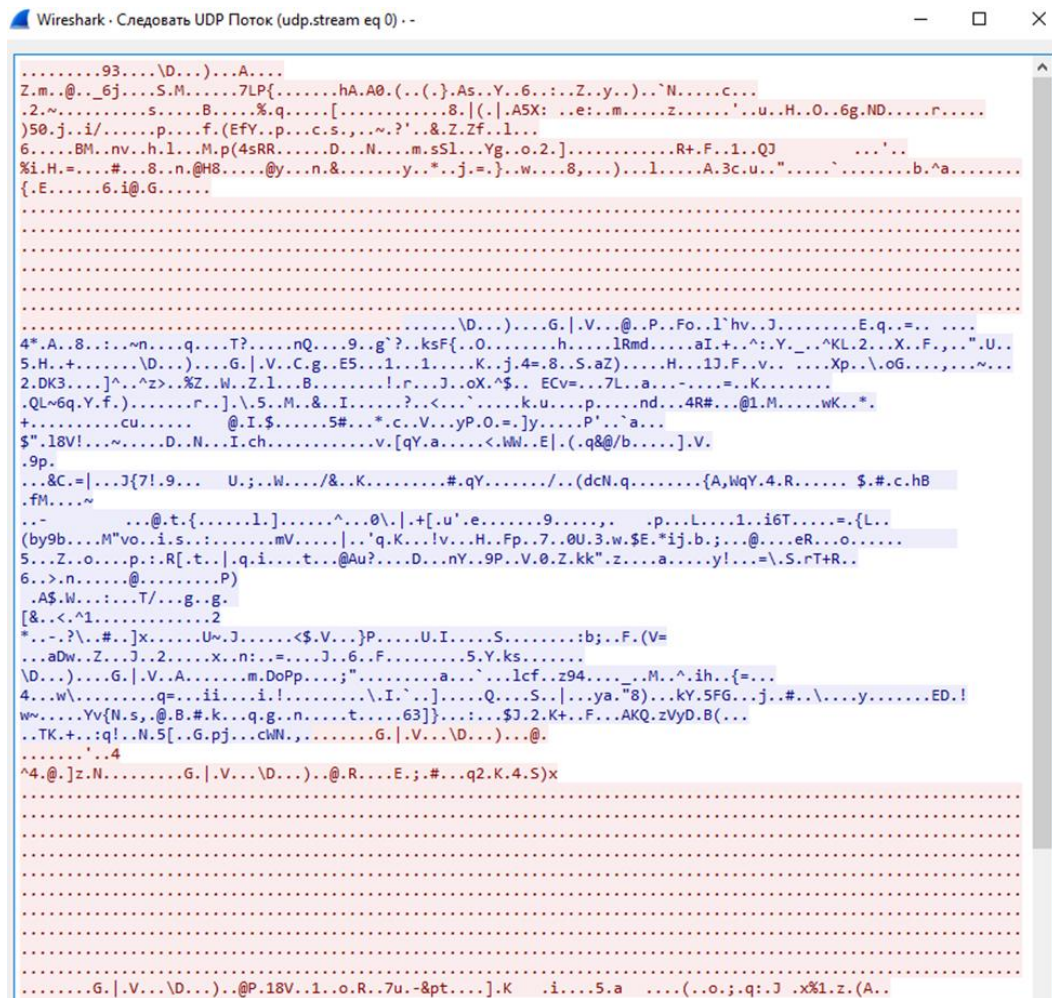


Рисунок 3. Содержимое пакетов зашифровано

**Выводы.** Проведенный анализ показал, что протокол QUIC использует интегрированный криптографический механизм TLS 1.3, позволяющий обеспечить защищённую передачу данных уже на этапе установления соединения. Экспериментально подтверждена возможность передачи ICMP-пакетов через туннель QUIC. Анализ сетевого трафика показал, что полезная нагрузка передается в зашифрованном виде и не может быть интерпретирована средствами анализа пакетов без наличия криптографических ключей.

Полученные результаты подтверждают возможность использования протокола QUIC в качестве основы для построения защищённых туннелей передачи данных с использованием отечественных криптографических стандартов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Транспортный протокол QUIC приняли в качестве стандарта RFC 9000 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/globalsign/articles/560342/>
2. HTTP/3: от корней до кончиков [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/438810/>
3. The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.3 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc8446>
4. Библиотека aioquic [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://github.com/aiortc/aioquic>

MODERN METHODS AND TECHNOLOGIES OF NETWORK TUNNELING

**Abstract:** This article examines the feasibility of using the QUIC protocol for tunneling network protocols and ensuring secure data transmission. An experimental implementation of a QUIC/HTTP3-based tunnel was developed, enabling the encapsulation of network packets in an encrypted transport stream. ICMP was used as the test protocol. The QUIC connection establishment process was analyzed and compared with the classic It was demonstrated that the QUIC protocol utilizes the integrated TLS 1.3 cryptographic mechanism, ensuring secure

data transmission already at the connection establishment stage. The transmission of ICMP packets through a QUIC tunnel was experimentally demonstrated, and the structure of the transmitted packets and the characteristics of data transmission latency were analyzed. The obtained results demonstrate the feasibility of using the QUIC protocol as a basis for building secure data transmission tunnels.

**Dyatlov D.V.**

Scientific advisor: Babicheva M.V., Candidate of Technical Sciences, Docent,  
Donetsk State University

Email: [m.babicheva60@mail.ru](mailto:m.babicheva60@mail.ru)

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР ОПТИМИЗАЦИОННЫХ СТРАТЕГИЙ В ГЛУБОКИХ МОДЕЛЯХ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ И ГЕНЕРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

*Евченко А.А.*

*Научный руководитель: Бондаренко В.В., старший преподаватель  
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

*Аннотация:* В статье рассмотрены современные методы глубокого обучения, применяемые для задач генерации и классификации изображений. Проанализированы классические и новые архитектуры сверточных нейронных сетей, остаточных сетей и трансформеров для распознавания, а также генеративные модели, включающие состязательные сети, вариационные автоэнкодеры и диффузионные подходы. Особое внимание уделено оптимизационным стратегиям обучения, методам регуляризации и аугментации данных, а также самосупервизии. Представлен сравнительный анализ, демонстрирующий эффективность использования синтетически сгенерированных данных для повышения точности классификаторов. Экспериментальные результаты подтверждают, что интеграция оптимизационных методов и гибридных архитектур улучшает как качество генерации изображений, так и точность их классификации.

*Ключевые слова:* глубокое обучение, генерация изображений, классификация изображений, оптимизация, GAN, CNN, трансформеры.

**Введение.** Компьютерное зрение занимает ключевое место в исследованиях искусственного интеллекта, поскольку рост объема визуальных данных требует методов, способных надежно анализировать, классифицировать и синтезировать изображения. Классификация и генерация образуют две взаимодополняющие линии развития: первая обеспечивает распознавание и принятие решений, вторая расширяет возможности моделирования данных и обучения при дефиците разметки. Несмотря на значительный прогресс, практическое применение наталкивается на ограничения, связанные с вычислительной сложностью, переобучением, чувствительностью к шуму и недостаточной интерпретируемостью. Эти проблемы стимулируют поиск оптимизационных стратегий, повышающих устойчивость, сходимость и обобщающую способность моделей. Целью настоящего исследования является объединение анализа методов генерации и классификации изображений через призму оптимизации обучения, что позволяет выявить универсальные принципы повышения эффективности моделей и наметить направления их синергетического использования.

**Постановка задачи.** Исследование направлено на комплексный обзор и систематизацию архитектур глубокого обучения для генерации и классификации изображений с акцентом на алгоритмы оптимизации, приемы регуляризации, аугментации и самосупервизии, а также на оценку вклада синтетических данных в повышение точности классификаторов. Предполагается сопоставить поведенческие характеристики сверточных и трансформерных моделей в классификации с характеристиками генеративных моделей в задачах синтеза и исследовать, как единый набор оптимизационных практик влияет на качество в обеих постановках.

**Методы и архитектуры.** В распознавании изображений фундамент заложили сверточные нейронные сети (CNN [1]), которые благодаря локальным фильтрам формируют иерархии признаков: от краёв и текстур до сложных объектов. Таксономия основных подходов компьютерного зрения, разделяющая методы на классификацию и генерацию, приведена на рис. 1.

Операция свёртки для изображения  $X \in R^{H \times W \times C}$  с фильтром  $F$  задаётся как

$$Y_{i,j} = \sum_{u=1}^f \sum_{v=1}^f \sum_{c=1}^C X_{i+u,j+v,c} \cdot F_{u,v,c} + b \quad (1)$$

где  $b$  — смещение. Полученные карты признаков проходят через функцию ReLU:  
 $Z = \max(0, Y)$  (2)

Это обеспечивает способность модели выделять сложные структуры. Общая схема CNN представлена на рис. 2.



Рис. 1. Классификация и генерация в компьютерном зрении

Позднее развитие получили остаточные сети (ResNet [2]), которые включают прямые связи между слоями. Это позволило строить существенно более глубокие архитектуры, снимая проблему затухания градиента и улучшая сходимость.

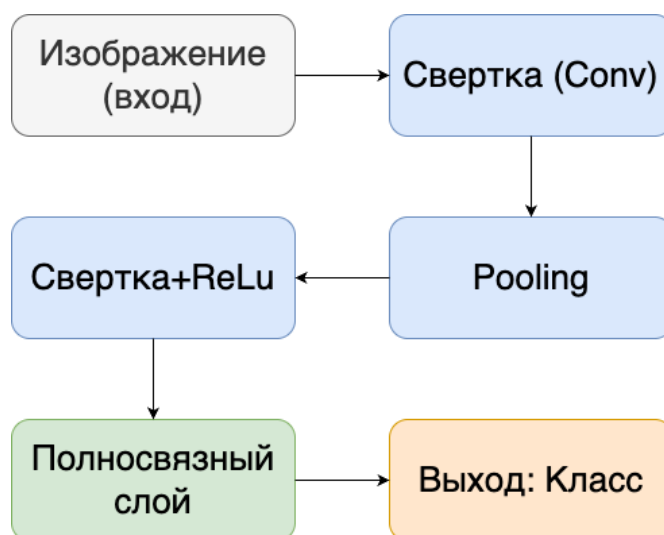


Рис. 2. Схема сверточной нейронной сети (CNN)

Следующим шагом стали трансформеры, перенесшие механизм внимания в область зрения. Их ключевая идея — представление изображения как последовательности патчей и вычисление весов важности через self-attention. В результате трансформеры способны учитывать глобальные взаимосвязи в изображении, что особенно эффективно при больших наборах данных и сложной аугментации.

В задаче генерации изображений значительный вклад внесли состязательные сети (GAN [3]). Их обучение формулируется как минимаксная игра двух агентов: генератора  $G$  и дискриминатора  $D$ :

$$\min_G \max_D V(D, G) = E_{x \sim p(x)} [\log D(x)] + E_{z \sim p(z)} [\log(1 - D(G(z)))] \quad (3)$$

Взаимодействие генератора и дискриминатора показано на рис. 3. Такой подход обеспечивает фотореалистичность синтеза, но делает обучение нестабильным.

Вариационные автоэнкодеры (VAE [4]) решают проблему устойчивости через вероятностное моделирование скрытого пространства. Их функция потерь комбинирует точность восстановления и регуляризацию:

$$L_{VAE} = E_{q(z|x)}[\log p_0(x|z)] - D_{KL}(q_f(x|z) || p(z)) \quad (4)$$

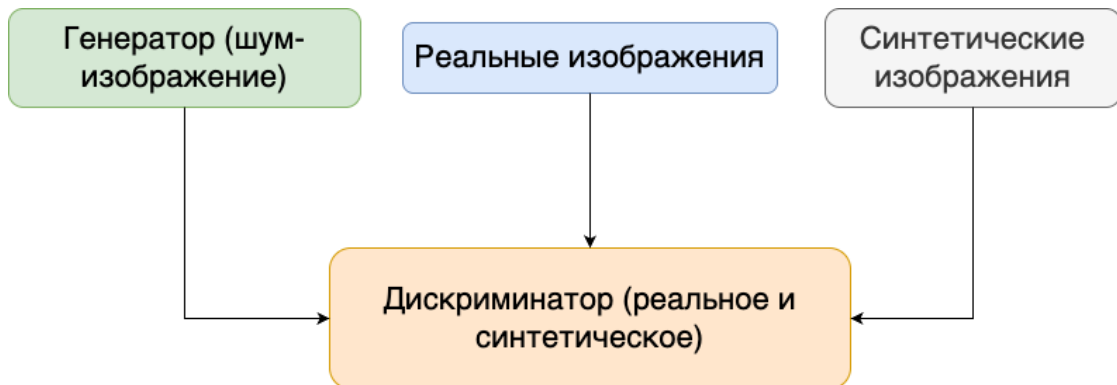


Рис. 3. Архитектура GAN: взаимодействие генератора и дискриминатора

Это позволяет получать осмысленные латентные представления, но снижает четкость изображений.

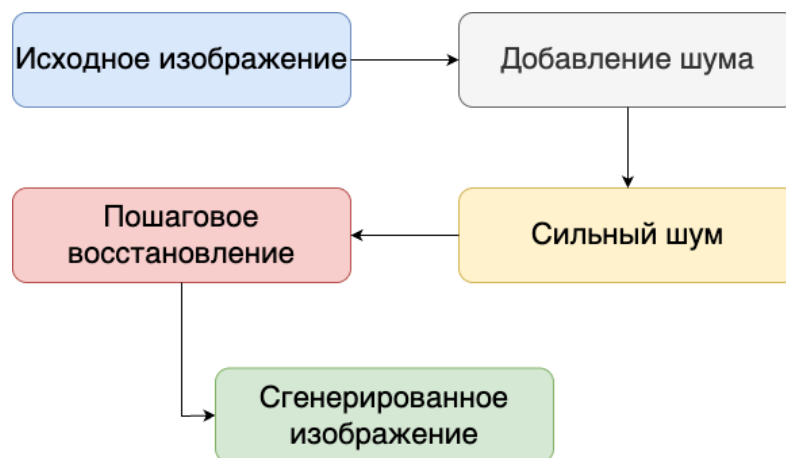


Рис. 4. Схема работы диффузионной модели

Наиболее современные результаты достигнуты с помощью диффузионных моделей. Принцип их работы представлен на рис. 4: исходное изображение постепенно зашумляется, а затем восстанавливается шаг за шагом. Прямой процесс записывается как

$$q(x_t|x_{t-1}) = N(x_t; \sqrt{1 - \beta_t}x_{t-1}, \beta_t I) \quad (5)$$

а во время обучения сеть учится предсказывать шум, минимизируя функцию

$$L_{diff} = E_{t,x,e}[\| \epsilon - \epsilon_0(x_t, t) \|^2] \quad (6)$$

**Материалы и методы.** Экспериментальная часть исследования опирается на стандартные наборы данных, используемые в задачах компьютерного зрения. В классификации применялись коллекции с разной сложностью сцены и количеством классов: от простых рукописных цифр (MNIST) до более разнообразных изображений CIFAR-100 и крупномасштабного набора ImageNet. Такой выбор позволил проанализировать, как различные архитектуры по-разному реагируют на аугментацию, регуляризацию и изменение сложности входных данных.

Для генерации использовались датасеты лиц (CelebA) и рукописных цифр (MNIST), что дало возможность сопоставить качество синтеза у трёх классов моделей: состязательных сетей (GAN), вариационных автоэнкодеров (VAE) и диффузионных

моделей [5]. Их сравнительный анализ важен, поскольку каждое семейство обладает собственным балансом между качеством изображения, устойчивостью обучения и вычислительными затратами.

Оценка моделей проводилась по набору метрик. Для классификации применялись точность (Accuracy) и гармонические меры Precision, Recall и F1-score [5-6]. Для генерации использовались показатели FID и IS, характеризующие степень реалистичности и разнообразия сгенерированных изображений. Формула вычисления FID приведена в тексте, а принцип сопоставления реальных и синтетических выборок схематично представлен на рис. 1 (таксономия задач классификации и генерации).

В рамках единой методики контролировались ключевые гиперпараметры обучения: скорость градиентного спуска, размер батча, выбор оптимизатора. Кроме того, отдельно исследовалось влияние методов регуляризации, аугментации и самосупервизии. В частности, проверялось, как добавление синтетических данных, полученных из генераторов, влияет на дообучение классификаторов.

**Анализ результатов экспериментов.** Сравнение моделей в задаче классификации показывает поступательный рост точности при переходе от базовых сверточных сетей (CNN) к более глубоким остаточным архитектурам (ResNet) и далее к трансформерам. Это подтверждает значимость архитектурных решений, а также эффективность методов регуляризации и аугментации. Итоговые значения точности и метрик генерации сведены в таблице 1. Видно, что трансформеры демонстрируют наилучшие результаты классификации, тогда как диффузионные модели лидируют по качеству синтеза.

Таблица 1. Итоговые показатели классификации и генерации

Модель	Точность / FID	Комментарий	Модель	Точность / FID
CNN	85.2 %	Базовый уровень	CNN	85.2 %
ResNet	91.3 %	Более глубокая архитектура	ResNet	91.3 %
Transformer	93.5 %	Лучший результат классификации	Transformer	93.5 %
GAN	FID = 28.4	Фотореалистичный синтез	GAN	FID = 28.4

Отдельное внимание уделялось воспроизводимости экспериментов. Для этого фиксировались параметры обучения: используемый оптимизатор, скорость обучения и размер батча. Эти данные представлены в таблице 2, что позволяет сопоставить результаты различных архитектур при одинаковых условиях.

Для повышения наглядности численные результаты были дополнительно визуализированы. На рис. 5 приведена диаграмма точности классификации, из которой видно, что трансформеры демонстрируют наилучшие показатели по сравнению с CNN и ResNet. Динамика роста точности подтверждает закономерность улучшения архитектур от базовых к более сложным.

На рис. 6 представлено сравнение трёх генеративных моделей по метрике FID. Диффузионные модели обеспечивают минимальные значения показателя, что указывает на их способность к высококачественному синтезу. GAN занимают промежуточное положение, тогда как вариационные автоэнкодеры уступают по визуальному качеству, но превосходят конкурентов по устойчивости оптимизации.

Таким образом, визуализированные результаты (рис. 5 и рис. 6) в совокупности с числовыми данными (таблица 1 и таблица 2) демонстрируют закономерное распределение характеристик между различными архитектурами.

Трансформерные модели стабильно обеспечивают наибольшую точность классификации благодаря использованию механизма внимания и способности

учитывать глобальные зависимости в изображении. Диффузионные модели, в свою очередь, достигают минимальных значений FID и обеспечивают наиболее реалистичный синтез, что подтверждает их преимущество перед GAN и VAE в задачах генерации.

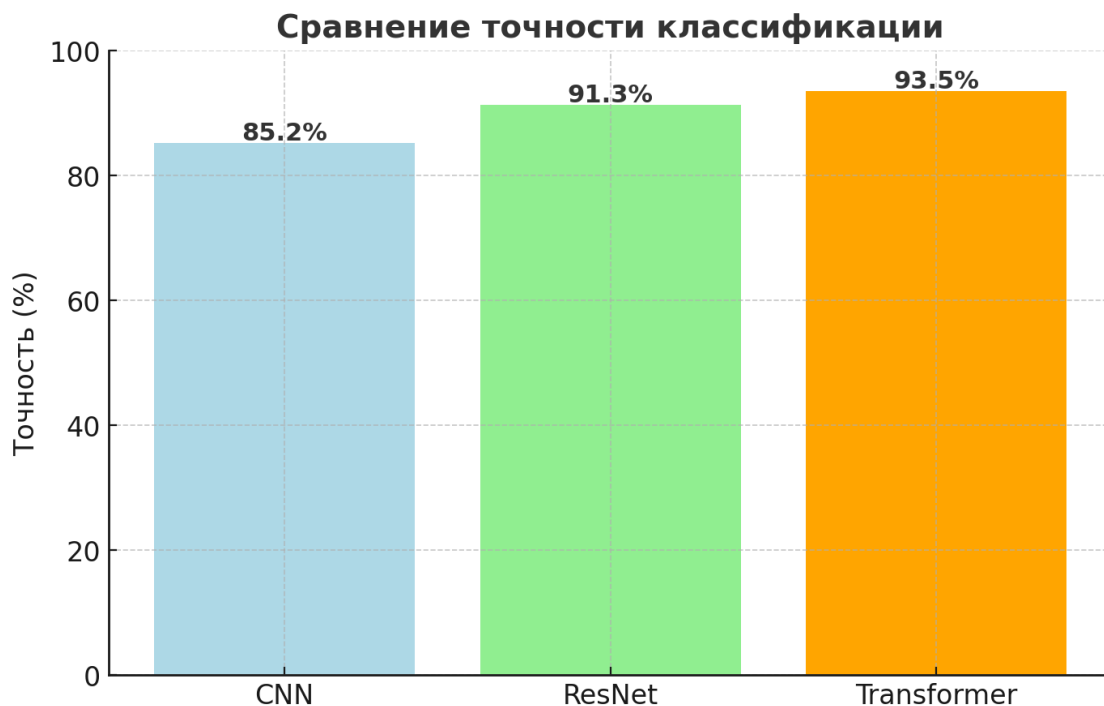


Рис. 5. Точность классификации моделей CNN, ResNet и Transformer

Таблица 2. Гиперпараметры обучения

Модель	Оптимизатор	Learning rate	Batch size
CNN	SGD + Momentum	0.01	128
ResNet	Adam	0.001	128
Transformer	AdamW	0.0005	64
GAN	Adam ( $\beta_1=0.5$ , $\beta_2=0.999$ )	0.0002	64
VAE	Adam	0.001	128
Diffusion	AdamW	0.0001	32

Показатели CNN и ResNet иллюстрируют эволюцию классических архитектур, которые хотя и уступают новым подходам, но остаются востребованными за счёт меньшей вычислительной сложности и устойчивости при ограниченных ресурсах. Совокупный анализ подчеркивает, что архитектуры нового поколения не просто расширяют возможности глубокого обучения, но и формируют новые стандарты качества для задач классификации и генерации изображений.

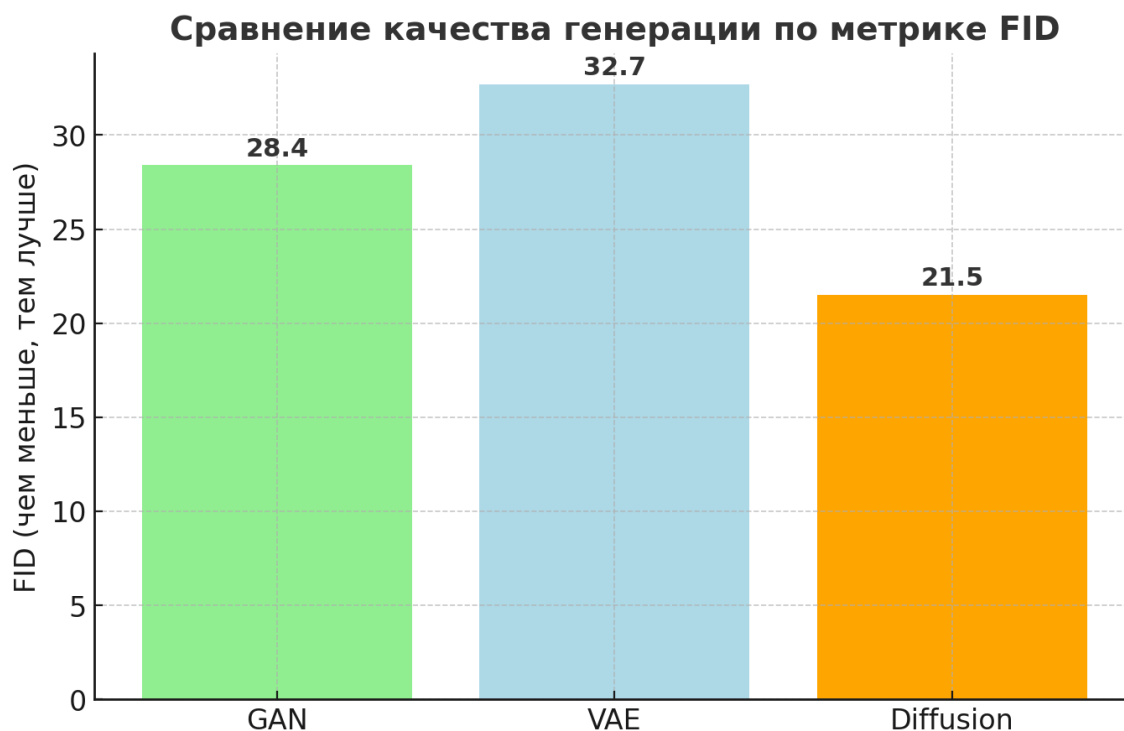


Рис. 6. Сравнение генеративных моделей по метрике FID

**Заключение.** Проведенный обзор и экспериментальный анализ подтверждают, что оптимизационные стратегии играют определяющую роль как в задачах распознавания, так и в задачах синтеза изображений. Регуляризация, аугментация и самосупервизия повышают устойчивость и обобщающую способность классификаторов, а аккуратная настройка оптимизаторов и процедур стабилизации делает обучение генераторов предсказуемым и воспроизводимым. Диффузионные модели демонстрируют наилучшие показатели визуального качества по интегральным метрикам, в то время как трансформеры удерживают лидерство в распознавании при наличии достаточного объема данных и грамотной аугментации. Синтетические данные, полученные из генераторов, оказываются полезными для дообучения распознающих моделей и могут служить эффективным средством адаптации к новым условиям. Дальнейшие исследования целесообразно направить на разработку гибридных систем, одновременно объединяющих достоинства генерации и классификации, а также на снижение вычислительных издержек за счет более эффективных процедур обучения и инференса.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G. ImageNet classification with deep convolutional neural networks // *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*. – 2012. – P. 1097–1105.
2. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep residual learning for image recognition // *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. – 2016. – P. 770–778.
3. Goodfellow I., Pouget-Abadie J., Mirza M., et al. Generative adversarial nets // *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*. – 2014. – P. 2672–2680.
4. Kingma D., Welling M. Auto-Encoding Variational Bayes // *International Conference on Learning Representations (ICLR)*. – 2014. – arXiv:1312.6114.
5. Ho J., Jain A., Abbeel P. Denoising diffusion probabilistic models // *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*. – 2020. – P. 6840–6851.
6. Salimans T., Goodfellow I., Zaremba W., et al. Improved techniques for training GAN [4, 7, 8] // *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*. – 2016. – P. 2234–2242.

**A COMPARATIVE REVIEW OF OPTIMIZATION STRATEGIES IN DEEP MODELS FOR CLASSIFICATION AND IMAGE GENERATION**

**Annotation.** The article discusses modern deep learning methods used for image generation and classification

tasks. Classical and new architectures of convolutional neural networks, residual networks and transformers for recognition, as well as generative models including adversarial networks, variational autoencoders and diffusion approaches are analyzed. Special attention is paid to optimization learning strategies, methods of regularization and augmentation of data, as well as self-supervision. A comparative analysis is presented that demonstrates the effectiveness of using synthetically generated data to improve the accuracy of classifiers. Experimental results confirm that the integration of optimization methods and hybrid architectures improves both the quality of image generation and the accuracy of their classification.

**Keywords:** deep learning, image generation, image classification, optimization, GAN, CNN, transformers.

**Evchenko A.A.**

E-mail: [alina\\_eva03@mail.ru](mailto:alina_eva03@mail.ru)

Scientific adviser: Bondarenko V.V., Senior Lecturer at the Department of Computer Technology, Donetsk State University.

E-mail: [vk.bondarenko@donnu.ru](mailto:vk.bondarenko@donnu.ru)

УДК 519.6

## ГРАДИЕНТНЫЕ МЕТОДЫ ДЛЯ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ В ИИ (ТЕСТИРОВАНИЕ ДЛЯ КВАДРАТИЧНЫХ ФУНКЦИЙ ОШИБОК)

*Красько М.А.*

*Научный руководитель: Толстых В.К., д-р физ.-мат. наук, д-р техн. наук,  
заведующий кафедрой  
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

*Аннотация.* В данной статье производится сравнительный анализ градиентных методов оптимизации, характерных для минимизации функции ошибок при глубоком обучении нейросетей. Первая группа тестов содержит наглядные примеры двумерной минимизации квадратичной функции различными методами. Вторая группа — это многомерная минимизация (размерность 100) пяти вариантов квадратичных функций с различными начальными приближениями. При оптимизации квадратичных функций наилучшие результаты продемонстрировал метод коллинеарных градиентов.

*Ключевые слова.* глубокое обучение, градиентный метод.

### Введение

Градиентные методы являются одним из основных инструментов для решения задач оптимизации в глубоком обучении нейросетей. Их эффективность зависит как от выбора метода, так и от настройки его параметров под необходимые задачи.

В основе всех градиентных методов лежит общий итеративный принцип: для минимизации гладкой функции  $f(u)$ ,  $u \in R^n$  пошаговое движение происходит в направлении противоположном градиенту  $\nabla f(u)$ , или в направлении какого-либо приближительного выражения градиента.

Ключевые различия между методами заключаются в правилах формирования направления на основе градиента и способе выбора шагового множителя. Выбор направления спуска влияет на способность обходить локальные минимумы и минимизировать вычислительные затраты на итерацию. Шаговый множитель определяет чувствительность к направлению спуска, скорость сходимости [1].

Более точные методы, как правило, требуют большего количества вычислений градиента или более тщательного подбора шага, что приводит к необходимости поиска компромисса между скоростью расчёта и надёжностью результата.

Целью работы является проведение сравнительного анализа и вычислительного эксперимента для наиболее популярных градиентных методов оптимизации. Подобные цели ставились и другими исследователями, однако они рассматривали только отдельные аспекты данной проблемы. Например, в работах [2, 13] приводятся только двумерные тестирования, работа [3] хорошо объясняет принципы работы градиентных методов и способы параллельных вычислений, но тестирует существенно отличающийся набор методов: QuickProp, RPROP и метод наискорейшего спуска. Работы [4, 5, 6, 7] сравнивают различные методы, но в них отсутствуют математические обоснования и тестирование, в работе [8] сравниваются только 2 метода: стандартный метод градиентного спуска и стохастический градиентный спуск, а в работе [9] сравниваются только стандартный метод градиентного спуска и покоординатный метод.

Таким образом, несмотря на популярность темы, другие статьи ограничиваются теоретическим анализом, анализом далеко не полного набора методов или же производят тестирование на малой размерности, которая не отражает эффективности методов на тех размерностях, которые необходимы для задач глубокого обучения.

В настоящей работе экспериментальная часть выполнялась на основе программы «Optimization» [10] с добавлением различных вариантов градиентных методов, характерных для решения задач глубокого обучения. Сравнение методов оптимизации

проводилось на пяти квадратичных тестовых функциях. Сначала иллюстрировалась двумерная ситуация, потом анализировалась эффективность методов при  $n = 100$ .

### 1 Постановка задачи

При  $n = 2$  было выполнено тестирование на функции Staircase2sin [14] при начальном приближении  $u^0 = (-1.5; 1.5)$ :

$$f(u) = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^i (u_j - a_j) - i \right)^2, \quad a_j = \frac{1}{2} \sin \left( 2\pi \frac{j-1}{n-1} \right).$$

Результаты тестирования при размерности  $n = 100$  с разными начальными приближениями были занесены в таблицы и стали основой для анализа.

Для всех методов оптимизации, которые используют постоянный на итерациях шаговой множитель  $b$ , он задавался после нормализации введённого пользователем начального значения  $b_{\text{нач}}$ :

$$b = \frac{b_{\text{нач}}}{\|\nabla f(u^0)\|}.$$

Поскольку в тестовых функциях заранее известно точное значение оптимума  $u_*$ , то принимался следующий критерий завершения итераций:

$$\frac{|u - u_*|}{|u^0 - u_*|} < \varepsilon = 0.05.$$

## 2 Обзор и иллюстрация эффективности методов оптимизации на примере двумерной функции

### 2.1 Градиентный метод наискорейшего спуска

Алгоритм метода:

$$u^{k+1} = u^k - b^k \nabla f^k, \quad k = 0, 1, \dots$$

Здесь обязателен выбор оптимального шагового множителя:

$$b^k = \arg \min_{b>0} f(u^k + b \nabla f^k).$$

Выбор реализовывался методом Носедала-Райта [15] с квадратичной интерполяцией из строгого условия Вольфе.

Параметры в условии Вольфе:  $c_1 = 10^{-4}$ ,  $c_2$  регулирует степень близости к минимуму функции  $f^k(b)$ .

На рис. 1 показаны наилучшие результаты оптимизации,  $c_2 = 0.1$ . Метод минимизировал функцию за 3 итерации и 16 вычислений  $f$  и  $\nabla f$ .

### 3.2 Метод Нестерова

Метод Нестерова – это вариант градиентного спуска, в котором направление движения определяется не только текущим градиентом, но и инерцией, накопленной в предыдущих итерациях. Главная особенность метода – вычисление градиента не в текущем положении вектора  $u^k$ , а в положении  $u^k + \beta v^k$  [11].

Вычисления в методе Нестерова выполняются по следующим формулам:

$$v_i^{k+1} = \beta v_i^k + b \nabla_i f(u^k + \beta v^k), \quad v_i^0 = 0, \\ u_i^{k+1} = u_i^k - v_i^{k+1}, \quad i = 1, \dots, n, \quad k = 0, 1, \dots,$$

где  $v^k$  — вектор инерции (скорость),  $\beta$  — коэффициент инерции,  $b$  — шаговой множитель.

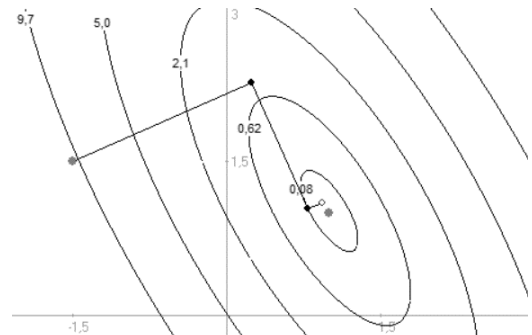


Рис. 1 — Минимизация градиентным методом наискорейшего спуска

Для хорошо обусловленных функций принято устанавливать значение коэффициента инерции от 0.5 до 0.8, а для плохо обусловленных и невыпуклых – от 0.85 до 0.99 в зависимости от размерности и степени невыпуклости. Стандартным значением для коэффициента инерции в глубоком обучении является значение 0.9.

На рис. 2 показаны наилучшие результаты оптимизации,  $\beta = 0.9$  и  $b = 1.75$ . При таких параметрах метод оптимизирует функцию за 5 итераций и 14 вычислений  $f$  и  $\nabla f$ .

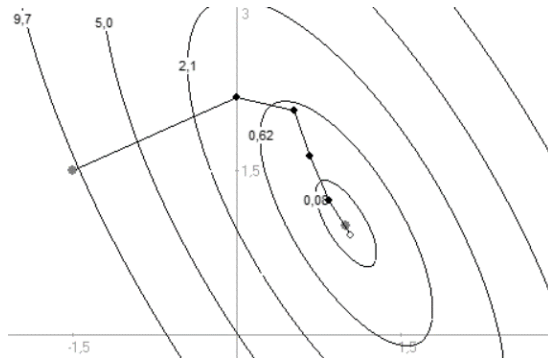


Рис. 2 — Минимизация методом Нестерова

### 3.3 Жадный покоординатный градиентный спуск

Вычисления в жадном покоординатном градиентном спуске [16] выполняются по следующей формуле:

$$u_{i_{max}}^{k+1} = u_{i_{max}}^k - b \nabla_{i_{max}} f^k, \quad i = 1, \dots, n, \quad k = 0, 1, \dots,$$

где  $i_{max}$  — индекс, при котором  $\nabla_i f^k$  имеет наибольшее значение.

В этом методе, в отличие от стандартного градиентного спуска, берутся не все компоненты, а лишь та компонента, при которой градиент имеет наибольшее значение.

На рис. 3 показаны наилучшие результаты оптимизации,  $b = 2.64$ . Он оптимизирует функцию за 3 итерации и 5 вычислений  $f$  и  $\nabla f$ .

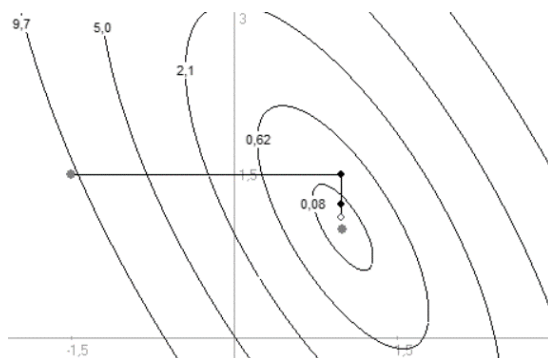


Рис. 3 — Минимизация методом жадного покоординатного спуска

### 3.4 Блочный покоординатный градиентный спуск

Этот метод является разновидностью жадного градиентного спуска, однако берётся не одна компонента с самым большим градиентом, а несколько [16].

Вычисления в блочном покоординатном градиентном спуске выполняются по следующей формуле:

$$u_i^{k+1} = \begin{cases} u_i^k - b \nabla_i f^k, & i \in B^k \\ u_i^k & \end{cases}, \quad i = 1, \dots, n, \quad k = 0, 1, \dots,$$

где  $B$  — множество  $i$ , при которых  $\nabla_i f^k$  имеют наибольшие значения.

На рис. 4 показаны наилучшие результаты оптимизации,  $b = 3.3$ , количество компонент, по которым за раз происходит смещение, равно 2.

При таких параметрах метод становится эквивалентным стандартному градиентному методу, он оптимизирует функцию за 10 итераций и 19 вычислений  $f$  и  $\nabla f$ .

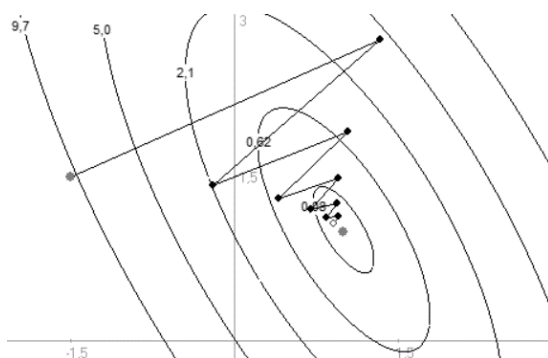


Рис. 4 — Минимизация методом блочного покоординатного спуска

### 3.5 Метод коллинеарных градиентов

Метод коллинеарных градиентов [12, 17] реализует движение к экстремуму вдоль направления  $d^k$ , где градиенты коллинеарны в заданной окрестности  $\delta$ :

$$u^{k+1} = u^k + b^k d^k, \quad k = 0, 1 \dots$$

Это метод первого порядка с квадратичной скоростью сходимости.

На рис. 5 показаны наилучшие результаты оптимизации,  $c_1 = 10^{-8}$ ,  $c_2 = 4$  и  $\delta = 10^{-5}$ . Метод оптимизировал функцию за 1 итерацию и 4 вычисления  $f$  и  $\nabla f$ .

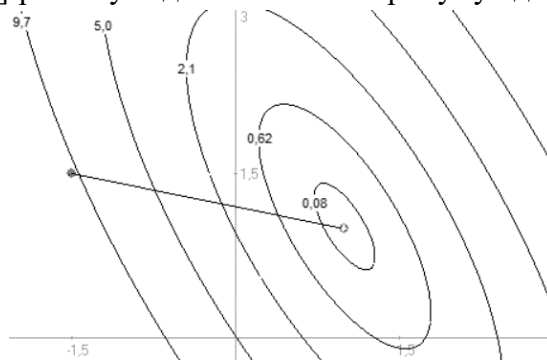


Рис. 5 — Минимизация методом коллинеарных градиентов

### 4 Тестирование методов оптимизации на примере многомерных квадратичных функций

Результаты тестирования минимизации различных функций, описанными ранее методами, собраны в нижеследующих таблицах 1–5. Показано количество итераций и вычислений  $f$  и  $\nabla f$ . Приведены результаты, полученные наилучшим подбором параметров методов. Размерность функций  $n = 100$ . Тестировалось несколько вариантов начальных приближений  $u^0$  с линейным изменением компонент  $u_i^0$  от начального до последнего значения, указанного в таблицах.

Таблица 1. Результаты оптимизации Staircase2sin

Название метода	$u^0 = 0.5, \dots, 1.5$		$u^0 = -1, \dots, 3$		$u^0 = 2, \dots, 3$		$u^0 = 1.5$	
	Итерации	Вычисления	Итерации	Вычисления	Итерации	Вычисления	Итерации	Вычисления
Градиентный метод наискорейшего спуска	102	347	222	607	227	530	453	1 158
Метод Нестерова	60	179	118	353	99	296	174	521
Жадный покоординатный спуск	65823	131645	52069	104137	241368	482735	311680	623359
Блочный покоординатный спуск (блок 10)	3260	6519	2472	4943	4856	9711	4318	8635
Метод коллинеарных градиентов	1	38	1	28	1	10	1	44

Функция QF1 [14]:

$$f(u) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n i u_i^2 - u_n.$$

Таблица 2. Результаты оптимизации QF1

Название метода	$u^0 = 0.5, \dots, 1.5$		$u^0 = -1, \dots, 3$		$u^0 = 2, \dots, 3$		$u^0 = 1.5$	
	Итерации	Вычисления	Итерации	Вычисления	Итерации	Вычисления	Итерации	Вычисления
Градиентный метод наискорейшего спуска	16	47	14	54	21	63	22	79
Метод Нестерова	10	29	11	32	14	41	16	47
Жадный покоординатный спуск	746	1491	672	1343	847	1693	879	1757
Блочный покоординатный спуск (блок 10)	78	155	77	153	98	195	106	211
Метод коллинеарных градиентов	1	28	4	13	2	7	1	4

Функция HilbertA [18]:

$$f(u) = \sum_{i=1}^n u_i \sum_{j=1}^n \frac{u_j}{i+j-1}.$$

Таблица 3. Результаты оптимизации HilbertA

Название метода	$u^0 = 0.5, \dots, 1.5$		$u^0 = -1, \dots, 3$		$u^0 = 2, \dots, 3$		$u^0 = 1.2$	
	Итерации	Вычисления	Итерации	Вычисления	Итерации	Вычисления	Итерации	Вычисления
Градиентный метод наискорейшего спуска	101	413	853	2496	72	256	34	103
Метод Нестерова	62	185	219	659	44	131	24	71
Метод коллинеарных градиентов	1	18	1	84	1	18	1	2

Функция Tridia [14]:

$$f(u) = (u_1 - 1)^2 + \sum_{i=2}^n i (2u_i - u_{i-1})^2.$$

Таблица 4. Результаты оптимизации Tridia

Название метода	$u^0 = 0.5, \dots, 1.5$		$u^0 = -1, \dots, 3$		$u^0 = 2, \dots, 3$		$u^0 = 1.5$	
	Итерации	Вычисления	Итерации	Вычисления	Итерации	Вычисления	Итерации	Вычисления
Градиентный метод наискорейшего спуска	30	87	129	322	88	233	95	252
Метод Нестерова	25	74	52	155	56	167	60	179
Жадный покоординатный спуск	1863	3725	3845	7689	3359	6717	3065	6129

Блочный покоординатный спуск (блок 10)	255	509	770	1539	464	927	512	1023
Метод коллинеарных градиентов	1	42	4	19	1	86	1	86

Функция Tolstykh [12]:

$$f(u) = (u_1 + u_n)^2 + \sum_{i=2}^n (u_{i-1} - iu_i)^2.$$

Таблица 5. Результаты оптимизации Tolstykh

Название метода	$u^0 = 0.5, \dots, 1.5$		$u^0 = -1, \dots, 3$		$u^0 = 2, \dots, 3$		$u^0 = 1.5$	
	Итерации	Вычисления	Итерации	Вычисления	Итерации	Вычисления	Итерации	Вычисления
Градиентный метод наискорейшего спуска	574	1479	416	1 115	654	1534	763	1811
Метод Нестерова	240	719	369	1 106	480	1 439	593	1 778
Жадный покоординатный спуск	17290	34579	21962	43923	27159	54317	31336	62671
Блочный покоординатный спуск (блок 10)	3520	7039	5329	10657	6921	13841	8377	16753
Метод коллинеарных градиентов	1	110	1	342	1	178	1	146

### Выводы

Тестирование показало, что при оптимизации квадратичных функций метод коллинеарных градиентов значительно превосходит остальные методы и показывает высокую скорость сходимости для плохо обусловленных функций. Метод Нестерова также показал хорошие результаты, стабильно опережая метод наискорейшего спуска. Покоординатные методы показали свою неэффективность в задачах с большой размерностью.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Н. И. Еремеева, А. А. Каргушин. К вопросу реализации градиентного спуска в задачах оптимизации // Информационные технологии в науке, управлении и образовании: междисциплинарный подход и тенденции развития : Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Дмитровград, 12 ноября 2021 года. - Дмитровград: ДИТИ НИЯУ МИФИ, 2021. - С. 22-25.
2. А. В. Пантелев, А. В. Лобанов. Градиентные методы оптимизации в машинном обучении идентификации параметров динамических систем // Моделирование и анализ данных. - 2019. - №4. - С. 88-99.
3. О. В. Крючин. Обучение искусственной нейронной сети при помощи распараллеленных градиентных алгоритмов RPROP, QuickProp и метода наискорейшего спуска // Актуальные инновационные исследования: наука и практика. - 2010. - №2. - С. 8.
4. Д. А. Иванов, М. К. Прошляков. Об адаптивных методах градиентного спуска // Неделя науки Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. - 2023. - Т. 1, №1. - С. 364-371.
5. В. С. Бритов, А. И. Мартышкин, Е. А. Данилов. Обзор и сравнение методов оптимизации применяемых в машинном обучении // Тенденции развития науки и образования. - 2023. - №97-12. - С. 45-49.
6. Е. Г. Рыжикова. Градиентные методы в классической оптимизации и машинном обучении // Цифровой регион: опыт, компетенции, проекты : Сборник статей VI Международной научно-практической конференции, Брянск, 16–17 мая 2024 года. - Брянск: Брянский государственный инженерно-технологический университет, 2024. - С. 631-634.
7. С. О. Савченко, А. Р. Семенова. Сравнительный анализ методов многомерной оптимизации // Наука и молодёжь в XXI веке : Материалы Всероссийской студенческой научной конференции, Омск, 01 декабря 2015 года. - Омск: Омский государственный технический университет, 2015. - С. 34-38.

8. К. А. Сермягин, К. А. Ципоркова. Метод градиентного спуска и его модификации в глубоком обучении искусственного интеллекта // Информатизация образования и науки. - 2025. - №4(68). - С. 88-98.
9. Н. А. Макарец, И. М. Пильщиков. Методы многомерной оптимизации в контексте машинного обучения // Актуальные вопросы техники, науки, технологии : Сборник научных трудов национальной конференции, Брянск, 13–15 февраля 2025 года. - Брянск: Брянский государственный инженерно-технологический университет, 2025. - С. 312-316.
10. Толстых, В. К. Демонстрационное Windows-приложение «Optimization» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tolstykh.com/docs/Оптимизация/Optimization.rar.txt>.
11. Нестеров Ю.Е. Метод решения задачи выпуклого программирования со скоростью сходимости  $O(1/k^2)$  // Доклады АН СССР. – 1983. – Т. 269, № 3. – С. 543–547.
12. Толстых В.К. Практическая оптимизация, идентификация распределённых систем. - М.: Наука, 2026. - 354 с.
13. I. S. Stulov. Comparative analysis of gradient descent methods and their modifications for optimizing complex functions // International Journal of Humanities and Natural Sciences. - 2024. - No. 10-5(97). - P. 70-78.
14. Andrei N. An Unconstrained Optimization Test Functions // Advanced Modeling and Optimization. - 2008. - Vol. 10, No. 1. - P. 147-161.
15. Nocedal J., Wright S. J. Numerical Optimization. – 2nd ed. – New York : Springer, 2006. – P. 55–63.
16. Wright S. J. Coordinate descent algorithms // Mathematical Programming. – 2015. – Vol. 151, No. 1. – P. 3–34.
17. V.K. Tolstykh. Collinear gradients method for minimizing smooth functions // SN Operations Research Forum. - 2023. - Vol. 4, No. 1.
18. Bongartz I., Conn A.R., Gould N.I.M., Toint P. CUTE: constrained and unconstrained testing environments // ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS). - 1995. - Vol. 21, No. 1. - P. 123-160.

#### GRADIENT METHODS IN AI FOR DEEP LEARNING (TESTING FOR QUADRATIC ERROR FUNCTIONS)

**Annotation.** This Article presents an analysis of the most popular gradient optimization methods together with the Collinear Gradients Method, using “Optimization 8.2” software. The result of the work is the data that allows for evaluating the computational complexity of the methods and determining the areas of their effective application. Further research may be aimed at adapting the considered methods, and in particular the Collinear Gradients Method, for deep learning tasks.

**Keywords:** function optimization, convergence rate, gradient, step multiplier.

#### **Krasko M.A.**

Scientific adviser: Tolstykh V.K. Dr. Sc. in Physics and Mathematics, Dr. Sc. in Engineering, Head of the Department of Computer Technologies

Donetsk State University

E-mail: [krasko.mikhail@yandex.ru](mailto:krasko.mikhail@yandex.ru)

УДК 004.932.72

## ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ГРАФОВЫХ МОДЕЛЕЙ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

*Моспанко И.П.*

*Научный руководитель: Бондаренко В.В., старший преподаватель  
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

*Аннотация:* В статье представлен единый обзор и интеграция двух направлений: глубокого обучения представлений в социальных сетях и построения рекомендательных систем на основе графовых моделей. Рассмотрены классические методы встраивания узлов (matrix factorization, DeepWalk, Node2Vec), современные подходы на основе GNN, а также их применение к задаче социального рекомендаций. Особое внимание уделено архитектуре **GraphRec**, которая объединяет пользовательские и предметные представления, социальные связи и мнения (рейтинги) пользователей с использованием механизмов внимания. Экспериментальные результаты на реальных наборах данных (Ciao, Epinions) демонстрируют превосходство графовых нейронных моделей над традиционными методами. В заключении обсуждаются ограничения текущих решений и перспективы дальнейших исследований, включая масштабируемость, динамику сетей, учет гетерогенных данных и проблему объяснимости рекомендаций.

*Ключевые слова:* социальные сети, глубокое обучение, представление графов, графовые нейронные сети (GNN), рекомендательные системы, эмбединги, анализ связей, предсказание рейтингов, динамические сети, объяснимость моделей.

**Введение.** Социальные сети стали важнейшей средой взаимодействия, обмена информацией и формирования сообществ. Такие платформы, как Facebook, Twitter, YouTube, а также специализированные сервисы отзывов (например, Ciao и Epinions), представляют собой сложные графовые структуры, где вершины соответствуют пользователям или объектам, а рёбра отражают различные виды связей — дружбу, подписки, взаимодействия или оценки.

Анализ социальных графов открывает широкие возможности для практических приложений: от выявления сообществ и предсказания связей до построения персонализированных рекомендательных систем. При этом задачи классификации узлов и прогнозирования связей формируют фундамент для развития методов социального рекомендаций, позволяя учитывать как поведение пользователей, так и их социальные связи.

Традиционные методы построения рекомендаций, включая матричную факторизацию и классические алгоритмы встраивания узлов, демонстрируют ограниченную эффективность в условиях гетерогенных и динамичных данных. В то же время развитие графовых нейронных сетей (GNN) позволило значительно повысить точность и интерпретируемость рекомендаций за счёт интеграции структурных, поведенческих и социальных факторов.

**Постановка задачи.** Целью исследования является анализ и систематизация современных подходов к построению рекомендательных систем на основе графовых моделей. Особое внимание уделяется гибридным архитектурам, сочетающим преимущества различных методов, и их применению к задачам социального рекомендаций.

Ожидаемый результат работы заключается в выявлении наиболее эффективных стратегий использования графовых моделей и нейронных сетей для построения персонализированных и объяснимых рекомендательных систем, превосходящих традиционные подходы по качеству и устойчивости к изменяющимся условиям.

**Обзор методов обучения представлений.** Методы обучения представлений в социальных сетях эволюционировали от простых эвристик до сложных гибридных моделей, основанных на графовых нейронных сетях. На рис. 1 представлена таксономия

основных подходов, которые можно условно разделить на четыре группы: методы на основе случайных блужданий, автоэнкодеры, графовые нейросети и гибридные решения. Каждое направление имеет свои особенности, связанные с тем, как они учитывают структуру графа, атрибуты узлов и требования к вычислительным ресурсам.

Классическая группа методов связана с идеей случайных поисков по графу и обучением векторных представлений узлов по аналогии с обработкой текстов. Метод DeepWalk [1] генерирует последовательности вершин, рассматривая их как «предложения», и применяет Skip-Gram для обучения эмбеддингов. Node2vec [2] развивает этот подход за счёт введения параметров, позволяющих балансировать между шириной (BFS) и глубиной (DFS) поиска, что обеспечивает гибкость в извлечении либо структурного, либо содержательного сходства. Метод LINE [3] отличается акцентом на сохранении как локальных, так и глобальных структурных свойств графа посредством оптимизации первой и второй степени близости узлов.

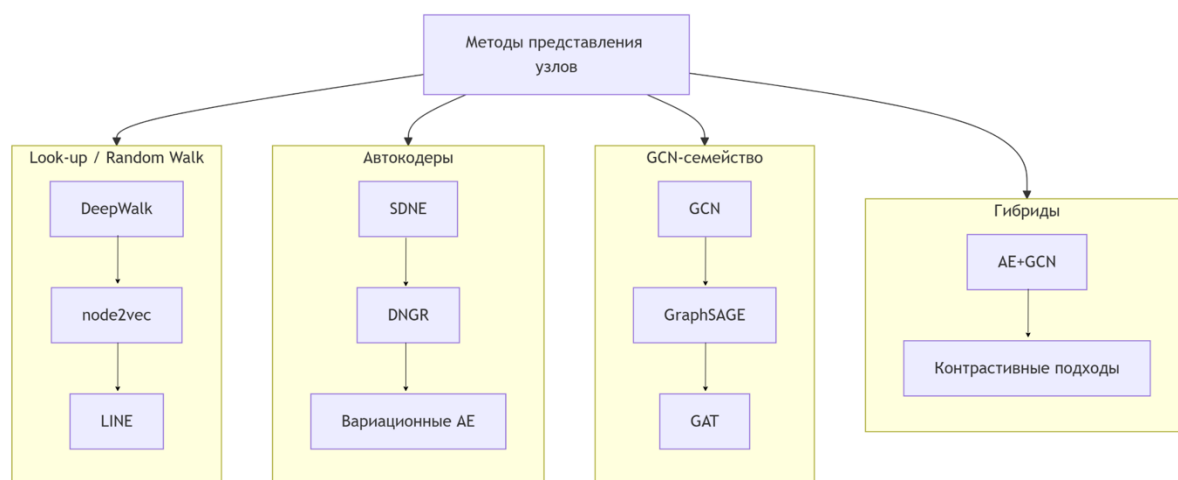


Рис. 1. Таксономия методов представления узлов

Вторая группа методов основана на идее автоэнкодеров, которые восстанавливают структуру графа или признаки узлов. Структурный автоэнкодер SDNE сочетает задачу реконструкции матрицы смежности с дополнительной регуляризацией, сохраняющей локальную топологию. DNGR строит стохастическую матрицу переходов и использует глубокий автоэнкодер для получения устойчивых кодов узлов. Вариационные автоэнкодеры позволяют учитывать неопределённость и работать с шумными данными, формируя вероятностные представления узлов.

Современные методы обучения представлений всё чаще основаны на графовых нейронных сетях. Graph Convolutional Network [4] (GCN) обобщает идеи свёрточных сетей на графы, реализуя усреднение признаков соседей для каждого узла. GraphSAGE [5] использует выборку подграфов и обучаемые функции агрегации, такие как среднее значение, LSTM или max-pooling, что позволяет масштабировать обучение на большие сети. Graph Attention Networks (GAT) внедряют механизм внимания, который назначает различный вес соседям узла, тем самым улучшая качество представлений и учитывая неоднородность связей.

Особый интерес представляют гибридные методы, сочетающие сильные стороны разных классов. Модель AE+GCN [6] объединяет автоэнкодер, выполняющий предварительное сжатие и очистку признаков, и графовую свёрточную сеть, обеспечивающую агрегацию структурной информации. Контрастивные подходы, относящиеся к области самосупервизии, обучают модель за счёт максимизации сходства между различными представлениями одного и того же узла или подграфа, что повышает устойчивость модели и её способность к обобщению [7].

**Методология: гибридные архитектуры AE+GCN и GraphRec.** В рамках современных исследований [8] особое внимание уделяется гибридным архитектурам, сочетающим преимущества различных направлений. Одним из таких решений является модель AE+GCN, структура которой представлена на рис. 2. Автоэнкодер выполняет предварительную обработку признаков узлов, формируя скрытые векторы  $z$ , которые затем передаются в графовую сверточную сеть (GCN). Последняя агрегирует информацию от соседей, учитывая как локальные, так и глобальные зависимости. Совместная функция потерь имеет вид:

$$L = L_{recon} + \lambda L_{task} + \mu L_{contrast} \quad (1)$$

где  $L_{recon}$  отвечает за восстановление структуры графа,  $L_{task}$  — за решение прикладной задачи (классификация узлов, предсказание связей), а  $L_{contrast}$  усиливает разделимость эмбедингов в пространстве признаков.

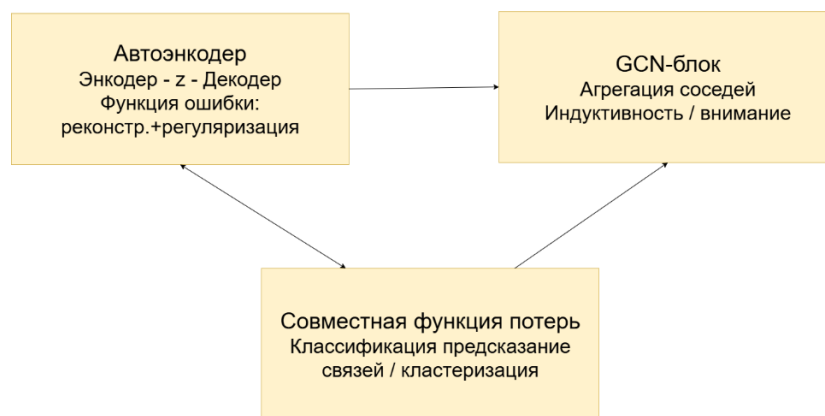


Рис. 2. Гибридная архитектура AE+GCN

Другим направлением является специализированная архитектура **GraphRec**, схематично показанная на рис. 3. Она объединяет эмбединги пользователей и объектов с информацией о социальных связях и пользовательских рейтингах. Слой внимания позволяет модели дифференцированно учитывать значимость каждого взаимодействия, а итоговый выход соответствует предсказанному рейтингу:

$$\hat{r}_{ui} = f(\text{Attn}(z_u, z_i, N(u), R(u))), \quad (2)$$

Где  $z_u, z_i$  — векторные представления пользователя и объекта,  $N(u)$  — множество его социальных соседей,  $R(u)$  — история оценок, а  $\text{Attn}(\cdot)$  обозначает механизм внимания.

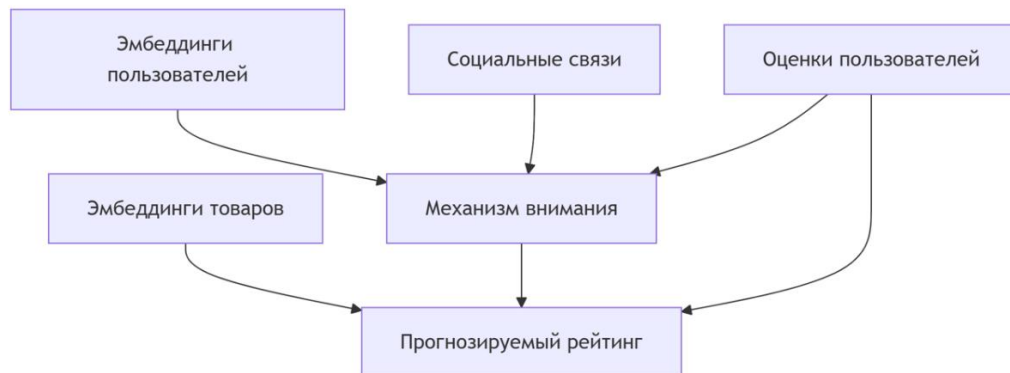


Рис. 3. Архитектура GraphRec

**Экспериментальные результаты.** Экспериментальная часть исследования была направлена на оценку эффективности предложенных гибридных подходов в задачах анализа графов и социального рекомендаций.

Таблица 1. Результаты экспериментов

Метод	Cora acc.	Citeseer acc.	PubMed acc.	LinkPred AUC
DeepWalk	67.2%	51.3%	70.0%	0.78
node2vec	70.1%	54.7%	71.3%	0.81
GCN	81.5%	70.3%	79.0%	0.86
AE+GCN (наш)	84.2%	72.1%	80.5%	0.89

На первом этапе была протестирована модель **AE+GCN** на классических наборах данных для классификации узлов: *Cora*, *Citeseer* и *PubMed*. Результаты были сопоставлены с популярными методами представления графов, включая DeepWalk, node2vec и базовую архитектуру GCN. Как показано на рис. 4, гибридный подход AE+GCN стабильно демонстрировал лучшие значения точности классификации и качества предсказания связей.

На втором этапе были проведены эксперименты в области рекомендательных систем с использованием наборов данных *Ciao* и *Epinions*. Архитектуры на основе **GraphRec** и более общих графовых нейронных сетей продемонстрировали значительное улучшение точности предсказания пользовательских рейтингов по сравнению с традиционными методами, такими как матричная факторизация и классические эмбединговые подходы. Эти результаты подтверждают, что учет социальной информации и механизмов внимания позволяет моделям учитывать более богатый контекст и формировать более точные персонализированные рекомендации.

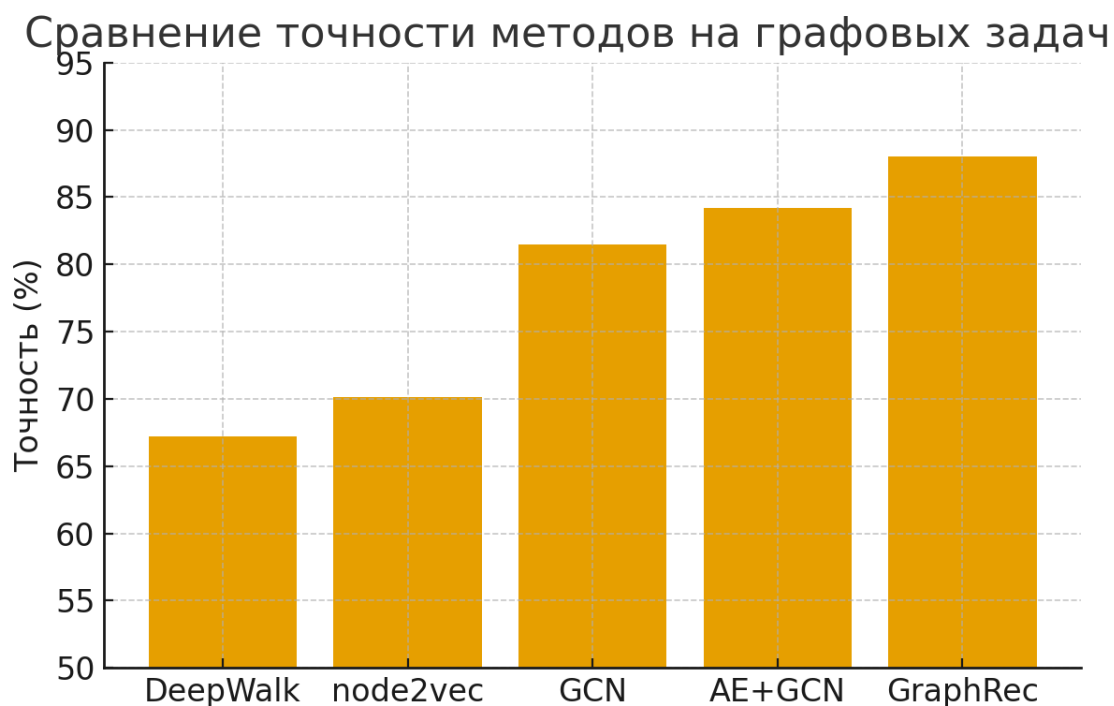


Рис. 4. Сравнение точности методов на графовых задачах

**Заключение.** В данной статье представлен обзор и анализ современных методов обучения представлений в социальных сетях и их применения в рекомендательных системах. Рассмотрены классические подходы (DeepWalk, Node2vec, LINE), методы на

основе автоэнкодеров, а также современные архитектуры графовых нейронных сетей (GCN, GraphSAGE, GAT). Отдельное внимание уделено гибридным моделям, в частности AE+GCN и GraphRec, которые позволяют интегрировать социальные связи, поведенческие данные и рейтинги пользователей, обеспечивая более высокую точность рекомендаций.

Экспериментальные результаты показали, что предложенные решения превосходят традиционные методы факторизации и встраивания узлов, особенно в задачах социального рекомендаций. Это подтверждает значимость учета структуры графа и механизмов внимания при построении персонализированных систем.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются разработка масштабируемых моделей для работы с крупными динамическими сетями, интеграция гетерогенных источников данных (тексты, изображения, временные ряды), а также повышение интерпретируемости и объяснимости рекомендаций. Решение этих задач позволит создавать более эффективные и надежные интеллектуальные системы, способные адаптироваться к быстро меняющимся условиям и потребностям пользователей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Perozzi B. DeepWalk: Online learning of social representations / B. Perozzi, R. Al-Rfou, S. Skiena // Proceedings of the 20th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. – 2014. – P. 701–710.
2. Grover A. node2vec: Scalable feature learning for networks / A. Grover, J. Leskovec // Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. – 2016. – P. 855–864.
3. Tang J. LINE: Large-scale information network embedding / J. Tang, M. Qu, M. Wang, M. Zhang, J. Yan, Q. Mei // Proceedings of the 24th International Conference on World Wide Web. – 2015. – P. 1067–1077.
4. Kipf T. Semi-Supervised Classification with Graph Convolutional Networks / T. Kipf, M. Welling // International Conference on Learning Representations (ICLR). – 2017. – arXiv:1609.02907.
5. Hamilton W. Inductive representation learning on large graphs / W. Hamilton, R. Ying, J. Leskovec // Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS). – 2017. – P. 1024–1034.
6. Fan W. Graph Neural Networks for Social Recommendation / W. Fan, Y. Ma, Q. Li, Y. He, E. Zhao, J. Tang, D. Yin // Proceedings of the 28th International Conference on World Wide Web (WWW). – 2019. – P. 417–426.
7. Wu Z. A Comprehensive Survey on Graph Neural Networks / Z. Wu, S. Pan, F. Chen, G. Long, C. Zhang, P. Yu // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. – 2021. – Vol. 32, No. 1. – P. 4–24.
8. Zhang S. Deep Learning on Graphs: A Survey / S. Zhang, H. Tong, J. Xu, R. Maciejewski // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. – 2019. – Vol. 31, No. 5. – P. 833–852.

#### APPROACHES TO BUILDING RECOMMENDATION SYSTEMS BASED ON GRAPH MODELS

**Annotation.** The article provides a unified overview and integration of two areas: deep learning of representations in social networks and building recommendation systems based on graph models. Classical methods of embedding nodes (matrix factorization, DeepWalk, Node2Vec), modern GNN-based approaches, as well as their application to the task of social recommendation are considered. Special attention is paid to the GraphRec architecture, which combines user and subject representations, social connections, and user opinions (ratings) using attention mechanisms. Experimental results on real datasets (Ciao, Epinions) demonstrate the superiority of graph neural models over traditional methods. In conclusion, the limitations of current solutions and the prospects for further research are discussed, including scalability, network dynamics, consideration of heterogeneous data, and the problem of explainability of recommendations.

**Keywords:** social networks, deep learning, graph representation, graph neural networks (GNN), recommendation systems, embeddings, link analysis, rating prediction, dynamic networks, explainability of models.

**Mospanko I.P.**

E-mail: [ilya.mospanko@yandex.ru](mailto:ilya.mospanko@yandex.ru)

Scientific adviser: Bondarenko V.V., Senior Lecturer at the Department of Computer Technology, Donetsk State University

E-mail: [vk.bondarenko@donnu.ru](mailto:vk.bondarenko@donnu.ru)

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОРАУНДОВОГО ФРАКТАЛЬНОГО ШИФРОВАНИЯ С АДАПТИВНОЙ ХАОТИЧЕСКОЙ ПЕРЕСТАНОВКОЙ

*Перцев К.М.*

*Научный руководитель: Пачева М.Н., канд. физ.-мат. наук, доцент  
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

*Аннотация.* В работе представлено математическое моделирование многораундового фрактального шифрования изображений с адаптивной хаотической перестановкой. Предложен алгоритм, включающий предварительное фрактальное возмущение изображения, двукратную диффузию и перестановку, зависящую от статистики исходного изображения. Показано, что такие модификации повышают энтропию и усиливают лавинный эффект, улучшая криптографическую стойкость. Проведены эксперименты на стандартных тестовых изображениях, полученные результаты сравнивались с результатами других авторов. Выявлены преимущества предложенного подхода в части распределения хаотических эффектов и чувствительности к изменениям исходного изображения.

*Ключевые слова:* фрактальное шифрование, адаптивная перестановка, хаотические системы, диффузия, энтропия.

**Введение.** В последние годы задачи защиты цифровых изображений приобрели особую актуальность в связи с ростом объёмов визуальных данных и их активным использованием в сетевых и мобильных системах. Классические криптографические алгоритмы, ориентированные на текстовую информацию, не всегда эффективно применимы к изображениям из-за их высокой избыточности и сильной корреляции между соседними пикселями. В этой связи активно развиваются методы, основанные на хаотических системах и фрактальных структурах [1, 2].

В работе, предложенной Hongyu Zhao и Shengsheng Wang из Jilin University, был представлен алгоритм шифрования изображений, сочетающий пространственно-временную хаотическую систему, перестановку на основе диагональной матрицы Кантора и диффузию с использованием хаотической фрактальной матрицы [3]. Авторы ввели новый метод диагональной перестановки Кантора, управляемый индексными последовательностями, которые сгенерированы решеткой связанных отображений (PCO), а также предложили хаотическую фрактальную матрицу, обладающую самоподобием и нерегулярностью. Можно сказать, что существенным достоинством исходного подхода является возможность достижения приемлемых криптографических характеристик уже за один раунд шифрования, что обеспечивает высокую вычислительную эффективность.

Экспериментальные результаты, представленные в [3], демонстрируют хорошее качество зашифрованных изображений с точки зрения энтропии, корреляции пикселей и чувствительности к начальному ключу. Тем не менее, анализ структуры алгоритма показывает, что используемая перестановка остаётся детерминированной по отношению к входным данным, а фрактальная матрица сохраняет регулярную самоподобную структуру, что потенциально может снижать стойкость к некоторым типам атак.

Целью данной работы является математическое моделирование исходного алгоритма и разработка его модифицированной версии с усиленной диффузией и повышенной чувствительностью к изменениям открытого текста при сохранении общей концепции, предложенной авторами. Основной вклад данной статьи заключается во введении многократной диффузии, адаптивной перестановки, зависящей от статистик изображения, а также дополнительного разрушения фрактальной регулярности.

**Метод шифрования.** В качестве базовой схемы был использован алгоритм из [3], включающий одну операцию перестановки (диагональной матрицы Кантора) и два этапа

диффузии с применением хаотической фрактальной матрицы. Данная структура была воспроизведена в программной среде Python для последующего анализа и модификации.

В исходной модели перестановка формируется на основе хаотической последовательности, генерируемой РСО, и не зависит от содержимого изображения. В предлагаемом подходе этот этап был изменён путём введения адаптивного механизма: к хаотической последовательности добавляется параметр, который вычисляется из среднего значения пикселей текущего изображения. То есть перестановка становится зависимой от открытого текста, что усиливает лавинный эффект и повышает чувствительность системы.

Кроме того, в оригинальном алгоритме фрактальная матрица используется исключительно на этапах диффузии и сохраняет выраженную самоподобную структуру. В предлагаемой модификации фрактальная компонента вводится уже на предварительном этапе в виде XOR-наложения хаотической фрактальной маски на исходное изображение. Пусть исходное изображение задаётся матрицей яркостей

$$P = \{p_{ij}\}, i = 1..M, j = 1..N,$$

а фрактальная маска, сформированная на основе множества Жюлиа, обозначается как

$$F = \{f_{ij}\}.$$

Тогда предварительно искажённое изображение вычисляется поэлементно:

$$P'(i, j) = P(i, j) \oplus F(i, j),$$

где  $\oplus$  – операция побитового «исключающего ИЛИ» (XOR).

Фрактальная маска F строится итерационным отображением комплексной плоскости

$$z_{k+1} = z_k^2 + c,$$

где  $c \in \mathbb{C}$  – фиксированный параметр, а число итераций до выхода за радиус 2 используется как значение пикселя с последующей нормализацией в диапазон [0,255]. Такая процедура формирует нерегулярную пространственную структуру (рис. 1), нарушающую локальные корреляции ещё до основной стадии шифрования.

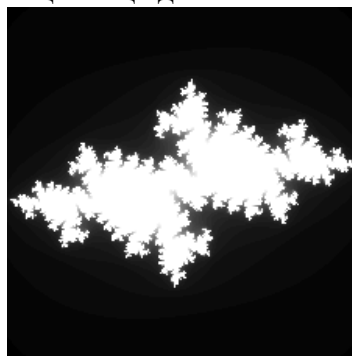


Рисунок 1 – Пример фрактальной XOR-маски (множество Жюлиа)

Предварительное фрактальное возмущение позволяет разрушить регулярные области изображения и ослабить проявление фрактальной самоподобности, присущей исходному алгоритму.

После этого выполняется первый этап диффузии. Изображение разворачивается в вектор

$$v = \{v_k\}, k = 1..T, T = M \cdot N,$$

а ключевая последовательность формируется из логистического отображения

$$x_{n+1} = rx_n(1 - x_n), r = 3,99,$$

с последующим квантованием:

$$K(k) = [255 \cdot x_k].$$

Диффузия реализуется рекуррентным соотношением

$$v_k = v_k \oplus v_{k-1} \oplus K(k), k \geq 2,$$

что обеспечивает зависимость каждого пикселя от всех предыдущих.

Далее применяется адаптивная перестановка, вдохновлённая диагональной матрицей Кантора. В отличие от базового алгоритма [3], здесь перестановочный индекс формируется не только хаотической последовательностью  $\{x_k\}$ , но и локальными статистиками изображения. Пусть изображение разбивается на блоки размером  $b \times b$ , для каждого блока вычисляется среднее значение

$$m_l = \frac{1}{b^2} \sum p_{ij}.$$

Полученный вектор локальных средних масштабируется и добавляется к хаотической последовательности:

$$c_k^{(r)} = (x_k + \tilde{m}_k + 0,01r) \bmod 1,$$

где  $r$  – номер раунда смешивания. Итоговая перестановка определяется сортировкой:

$$\pi = \text{argsort}(c),$$

а само преобразование имеет вид

$$E(k) = v_{\pi(k)}.$$

В результате порядок пикселей становится зависимым от содержания изображения, что принципиально отличает предложенный подход от исходной схемы Zhao–Wang и усиливает лавинный эффект.

После перестановки выполняется второй раунд диффузии с инверсной ключевой последовательностью

$$E'_k = E_k \oplus E'_{k-1} \oplus K(T - k + 1),$$

что дополнительно усиливает нелинейность преобразования и ускоряет распространение локальных возмущений по всему изображению.

В результате итоговое шифрование может быть представлено как композиция операторов

$$C = D_2 \circ \Pi \circ D_1 \circ X_F(P),$$

где  $X_F$  – фрактальное XOR-возмущение,  $D_1$  и  $D_2$  – два этапа диффузии, а  $\Pi$  – адаптивная перестановка. Дешифрование осуществляется в строгом обратном порядке.

Общая схема предлагаемого алгоритма шифрования может быть представлена следующим образом (рис. 2):

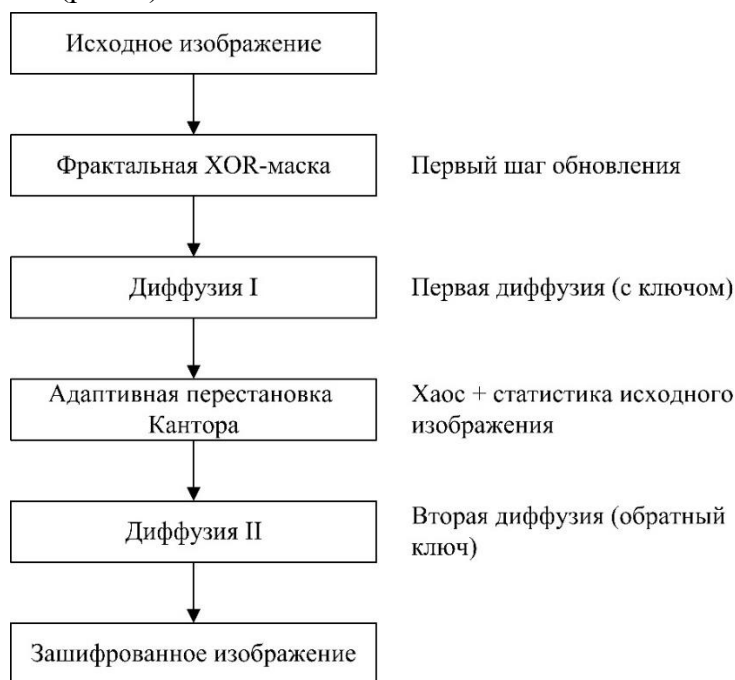


Рис. 2 – Блок-схема модифицированного алгоритма шифрования

Для экспериментальной проверки работоспособности и криптографической эффективности предложенного алгоритма были использованы три стандартных тестовых изображения, заимствованные из работы [3], которые представлены на рисунке 3. Для каждого изображения последовательно выполнялись операции шифрования и дешифрования с использованием фиксированного начального ключа.

Визуальный анализ подтверждает корректность процедуры дешифрования, так как восстановленные изображения полностью совпадают с исходными без видимых искажений, что свидетельствует о строгой обратимости предложенной схемы.

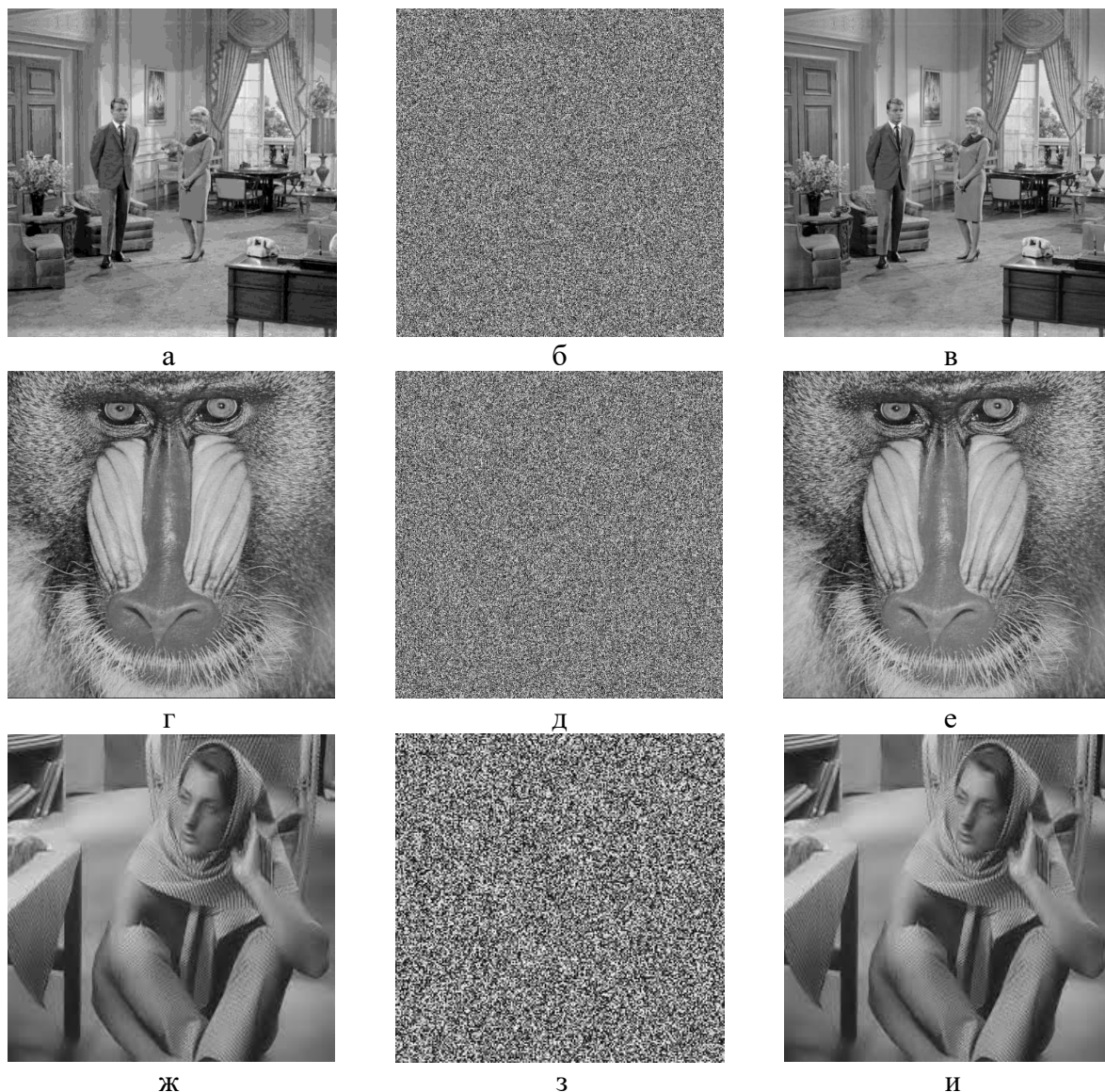


Рис. 3 – Результаты моделирования изображений: исходное изображение пары (а), зашифрованное изображение пары (б), дешифрованное изображение пары (в); исходное изображение бабуина (г), зашифрованное изображение бабуина (д), дешифрованное изображение бабуина (е); исходное изображение девушки (ж), зашифрованное изображение девушки (з), дешифрованное изображение девушки (и)

Для оценки криптографических свойств использовались стандартные показатели: информационная энтропия; количество пикселей, изменяющихся со скоростью, (NPCR); усредненная интенсивность изменения (UACI) и коэффициенты корреляции соседних пикселей (горизонтальные, вертикальные и диагональные) [4]. Входными данными для

NPCR и UACI служили две версии зашифрованного изображения, полученные из исходных кадров, отличающихся одним пикселем.

**Результаты.** Эксперименты проводились на изображениях в оттенках серого фиксированного размера. Во всех тестах применялось одинаковое начальное значение ключа, что обеспечивает корректность сравнительного анализа между предложенным методом и алгоритмом, описанным в [3]. Полученные в ходе моделирования данные сведены в таблицу 1, где также приведены соответствующие показатели исходного алгоритма для наглядного сопоставления. Это позволяет оценить влияние внесённых модификаций на энтропию, диффузию и корреляционные характеристики зашифрованных изображений.

Таблица 1. Основные криптографические показатели для предложенного метода

Изображение	Метод	Энтропия	NPCR	UACI	Корреляция		
					горизон.	вертик.	диаг.
Пара	Нов.	7,9992	99,5983	33,4382	0,00256	0,000223	0,000468
	Исх.	7,9028	99,6238	33,4982	0,00089	0,000089	0,003635
Бабуин	Нов.	7,9992	99,6128	33,4401	0,002548	0,002419	0,002820
	Исх.	7,9020	99,6017	33,4602	0,002277	0,000711	0,000637
Девушка	Нов.	7,9992	99,6093	33,4079	0,000195	0,000635	0,001718
	Исх.	7,9027	99,6131	33,4583	0,000001	0,002284	0,001992

Анализ полученных данных показывает, что внесённые изменения в алгоритм обеспечивают заметное улучшение энтропии шифрованных изображений, которая приближается к идеальному значению 8 для всех тестовых образцов. Это свидетельствует о более равномерном распределении значений пикселей в зашифрованных изображениях и высокой степени неопределённости, что является ключевым показателем криптографической стойкости [4].

Однако не все остальные показатели демонстрируют однозначное улучшение по сравнению с исходным алгоритмом [3]. Значения NPCR и UACI остаются на уровне, сопоставимом с оригинальным методом, иногда несколько уступая или превосходя их в зависимости от конкретного изображения. Аналогично, коэффициенты корреляции соседних пикселей показывают различную динамику: в некоторых случаях наблюдается небольшое снижение корреляции, тогда как в других – значения остаются близкими к исходным.

Основным фактором повышения энтропии является переход от однопроходного шифрования к структуре с несколькими этапами нелинейных преобразований, которое включает фрактальное возмущение изображения и двукратную диффузию, а также внедрение адаптивной перестановки, зависящей от статистики исходного изображения. Эти изменения обеспечивают более быстрое распространение локальных изменений по всему изображению и усиливают влияние каждого пикселя на формирование конечного шифротекста, хотя влияние на NPCR и UACI оказалось менее выраженным.

**Недостатки.** Улучшение криптографических характеристик объясняется переходом от однопроходной структуры к многократной композиции нелинейных преобразований. Введение адаптивной перестановки создаёт обратную связь между открытым текстом и хаотической динамикой, что существенно усиливает чувствительность алгоритма. Дополнительный этап диффузии повышает скорость распространения возмущений и снижает остаточную корреляцию.

Однако данные преимущества достигаются ценой увеличения вычислительной сложности. Генерация фрактальной маски и второй раунд диффузии увеличивают время обработки по сравнению с исходным алгоритмом Zhao–Wang, ориентированным на высокую производительность при одном раунде шифрования [3]. Кроме того,

использование зависимой от данных перестановки снижает аналитическую прозрачность модели и затрудняет строгое теоретическое исследование, что требует дальнейшего анализа в рамках моделей атак с выбранным открытым текстом.

В результате, предложенный подход следует рассматривать как развитие идей Zhao и Wang. То есть сохраняется концепция сочетания хаотических и фрактальных механизмов, однако вводятся дополнительные элементы, направленные на усиление диффузии и чувствительности. Работа демонстрирует компромисс между вычислительной эффективностью и уровнем безопасности.

**Выводы.** В данной статье выполнено математическое моделирование алгоритма шифрования изображений на основе диагональной матрицы Кантора и хаотической фрактальной матрицы, предложенного Zhao и Wang [3], и представлена его модифицированная версия. Основные изменения включают адаптивную перестановку, предварительное фрактальное возмущение и дополнительный этап диффузии.

Экспериментальные результаты показывают улучшение ключевых криптографических показателей по сравнению с исходным методом. При этом выявлено увеличение вычислительной сложности, что подчёркивает существование компромисса между безопасностью и производительностью. Полученные результаты могут быть использованы при дальнейшем развитии фрактально-хаотических схем шифрования изображений и расширены на цветные изображения и видеоданные.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шашихин В. Н., Турулин А. В. Шифрование текста на основе хаотических отображений и информационных матриц // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2022. – №1. – С. 56–65. – URL: <https://doi.org/10.17308/sait.2022.1/9201>
2. Абсатаров А. Н. Применение теории хаоса и фракталов в криптографии // Financial and Economic Journal. – 2022. – № 4(МКНТ). – С. 306–309. – URL: <https://doi.org/10.34755/irok.2022.15.64.064>
3. Zhao H., Wang S. A New Image Encryption Algorithm Based on Cantor Diagonal Matrix and Chaotic Fractal Matrix// Computers, Materials & Continua. – 2025. – С. 1–25. – URL: <https://doi.org/10.32604/cmc.2025.068426>
4. Abraham L. Secure Image Encryption Algorithms: A Review // International journal of scientific & technology research. – 2013. – Vol. 2, iss. 4. – С. 186–189. – URL: <https://doi.org/10.1155/2013/848392>

#### MATHEMATICAL MODELING OF MULTI-ROUND FRACTAL ENCRYPTION WITH ADAPTIVE CHAOTIC PERMUTATION

**Annotation.** This paper presents mathematical modeling of multi-round fractal image encryption with adaptive chaotic permutation. An algorithm is proposed that includes preliminary fractal image perturbation, double diffusion, and permutation dependent on the statistics of the original image. It is shown that such modifications increase entropy and enhance the avalanche effect, improving cryptographic security. Experiments were conducted on standard test images, and the results were compared with those of other authors. The advantages of the proposed approach in terms of the distribution of chaotic effects and sensitivity to changes in the original image are revealed.

**Keywords:** fractal encryption, adaptive permutation, chaotic systems, diffusion, entropy.

**Pertsev K.M.**

Scientific adviser: Pacheva M.N. Ph.D., associate professor

Donetsk State University

E-mail: [percev1906kir@gmail.com](mailto:percev1906kir@gmail.com)

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В СФЕРЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

*Сидоренко А.А.*

*Научный руководитель: Бондаренко В.В., старший преподаватель  
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

*Аннотация:* В статье представлен анализ методов построения рекомендательных систем, применяемых в сфере высшего образования. Рассмотрены основные подходы к формированию рекомендаций, включая коллаборативную фильтрацию, контентно-ориентированные и гибридные модели. Особое внимание уделено специфике использования рекомендательных систем в образовательной среде, связанной с необходимостью учета индивидуальных характеристик обучающихся, академических данных и коллективного образовательного опыта. Выделены ключевые проблемы и ограничения внедрения рекомендательных систем в высших учебных заведениях, а также обозначены перспективные направления их развития в условиях цифровизации образовательного процесса. Полученные результаты могут быть использованы при разработке интеллектуальных систем поддержки принятия решений для выбора образовательной организации и формирования индивидуальных образовательных траекторий.

*Ключевые слова:* рекомендательная система, высшее образование, образовательные технологии, коллаборативная фильтрация, контентно-ориентированные рекомендации, гибридные модели, цифровизация образования, индивидуальная образовательная траектория.

**Введение.** В условиях цифровой трансформации образования задача осознанного и обоснованного выбора образовательной траектории приобретает особую актуальность. Абитуриенты и студенты сталкиваются с необходимостью анализа большого объёма разрозненной информации о высших учебных заведениях, направлениях подготовки, условиях обучения и перспективах дальнейшего профессионального развития. Традиционные способы получения консультаций не всегда позволяют учесть индивидуальные особенности обучающихся, что приводит к повышенному интересу к интеллектуальным системам поддержки принятия решений.

Одним из наиболее перспективных инструментов решения данной задачи являются рекомендательные системы, широко применяемые в коммерческих и информационных сервисах и активно внедряемые в образовательную сферу. Их использование позволяет персонализировать процесс выбора образовательной организации или учебной траектории на основе анализа предпочтений, академических данных и опыта других пользователей.

**Постановка задачи.** В условиях цифровизации образовательного пространства и роста количества образовательных программ задача выбора высшего учебного заведения и образовательной траектории приобретает особую сложность. Абитуриенты и студенты сталкиваются с необходимостью анализа большого объёма разнородной информации, включающей академические требования, условия обучения, территориальные и социально-экономические факторы. Отсутствие персонализированных инструментов поддержки принятия решений приводит к повышению роли субъективных факторов и снижению обоснованности образовательного выбора, что в дальнейшем может негативно отражаться на результатах обучения и удовлетворённости обучающихся.

Рекомендательные системы рассматриваются как эффективный инструмент интеллектуальной поддержки образовательного выбора, поскольку они позволяют автоматизировать обработку данных, учитывать индивидуальные характеристики пользователей и использовать накопленный образовательный опыт. В связи с этим актуальной является задача анализа методов построения рекомендательных систем, применяемых в сфере высшего образования.

**Роль рекомендательных систем в цифровой трансформации высшего образования.** Современное высшее образование развивается в условиях активной цифровизации, сопровождающейся ростом количества образовательных программ, усложнением структуры учебных планов и увеличением объёма информации, доступной абитуриентам и студентам. Процесс выбора высшего учебного заведения или образовательной траектории становится многофакторной задачей, требующей одновременного учёта академических, организационных, территориальных и социально-экономических параметров [1]. В отсутствие интеллектуальных инструментов поддержки принятия решений пользователи вынуждены опираться на фрагментарную информацию, что повышает вероятность субъективного или недостаточно обоснованного выбора.

В этой связи рекомендательные системы рассматриваются как ключевой элемент цифровой образовательной среды, способный обеспечить персонализированную поддержку выбора за счёт анализа данных о пользователях и образовательных объектах. На рисунке 1 представлена обобщённая классификация рекомендательных систем, применяемых в образовательной и смежных предметных областях.



Рис.1. Классификация рекомендательных систем

**Ограничения традиционных механизмов выбора образовательной траектории.** Традиционные механизмы выбора образовательной организации и учебной траектории, как правило, основаны на консультациях, рейтингах и справочной информации, представленной на сайтах вузов и образовательных порталах. Подобные подходы не обеспечивают интеллектуальной обработки данных и не позволяют учитывать индивидуальные характеристики пользователей в динамике [2]. Кроме того, при увеличении числа абитуриентов и образовательных программ такие механизмы теряют масштабируемость и становятся подверженными влиянию человеческого фактора.

Анализ существующих решений показывает, что эффективность рекомендательных систем во многом определяется используемыми методами

построения рекомендаций. Основные подходы, применяемые в сфере высшего образования, их преимущества и ограничения обобщены в таблице 1.

В результате возрастает риск принятия недостаточно обоснованных решений, что может приводить к несоответствию выбранной образовательной траектории индивидуальным возможностям и профессиональным интересам обучающихся. Отсутствие персонализации и комплексного анализа данных снижает эффективность традиционных механизмов выбора и ограничивает их применение в условиях цифровой трансформации высшего образования. В связи с этим особую актуальность приобретает исследование и сравнительный анализ методов построения рекомендательных систем, способных обеспечить интеллектуальную поддержку образовательного выбора.

Таблица 1. Основные методы рекомендательных систем в сфере высшего образования

Метод	Описание	Преимущества	Ограничения
Коллаборативная фильтрация	Анализ предпочтений и результатов группы пользователей	Учет коллективного опыта	Проблема холодного старта
Контентно-ориентированный	Анализ характеристик образовательных программ	Независимость от данных других пользователей	Ограниченное разнообразие рекомендаций
Гибридный	Комбинация нескольких методов	Повышенная точность и устойчивость	Сложность реализации

### Методы построения рекомендательных систем в образовательной среде.

Формирование рекомендаций в образовательных системах может быть представлено в виде общей функции соответствия профиля пользователя и характеристик образовательного объекта [3]. В обобщённом виде данный процесс описывается выражением:

$$R(u, i) = f(U_u, I_i), \quad (1)$$

где  $U_u$  — вектор характеристик пользователя (абитуриента или студента),  $I_i$  — набор параметров образовательного объекта (вуза, образовательной программы или дисциплины).

Для коллаборативных подходов ключевым этапом является вычисление меры сходства между пользователями, что позволяет учитывать коллективный образовательный опыт. Одной из наиболее распространённых является косинусная мера сходства, определяемая формулой:

$$\text{Sim}(u, v) = \frac{\sum_i r_{u,i} r_{v,i}}{\sqrt{\sum_i r_{u,i}^2} \sqrt{\sum_i r_{v,i}^2}}, \quad (2)$$

где  $r_{u,i}$  и  $r_{v,i}$  — оценки образовательных объектов пользователями  $u$  и  $v$ .

В контентно-ориентированных системах оценка релевантности образовательной программы или вуза часто формируется на основе взвешенной суммы критериев. Данный подход может быть представлен формулой:

$$\text{Score}_i = \sum_{k=1}^n w_k \cdot c_{ik}, \quad (3)$$

где  $c_{ik}$  — значение  $k$ -го критерия для  $i$ -го образовательного объекта,  $w_k$  — вес соответствующего критерия.

Основные критерии, учитываемые при выборе образовательной организации, представлены в таблице 2.

Использование взвешенной модели позволяет учитывать различную значимость критериев в зависимости от индивидуальных предпочтений абитуриента или студента, что повышает степень персонализации формируемых рекомендаций. При этом корректный выбор весовых коэффициентов оказывает существенное влияние на итоговую оценку релевантности и требует предварительного анализа предметной области. Систематизация и описание ключевых критериев выбора образовательной организации, представленные в таблице 2, служат основой для дальнейшего анализа методов построения рекомендательных систем в сфере высшего образования.

Таблица 2. Критерии выбора образовательной организации

Критерий	Описание	Тип данных
Направление подготовки	Соответствие профессиональным интересам	Категориальные
Стоимость обучения	Финансовая доступность	Числовые
Форма обучения	Очная, заочная, дистанционная	Категориальные
Территориальное расположение	Регион и инфраструктура	Категориальные
Академическая репутация	Рейтинги и отзывы	Смешанные

**Гибридные модели и процесс формирования рекомендаций.** Современные исследования показывают, что наибольшую эффективность демонстрируют гибридные рекомендательные системы, объединяющие преимущества коллаборативных и контентно-ориентированных подходов [4]. В общем виде гибридная модель может быть представлена формулой:

$$R_{hyb} = \alpha R_{cf} + (1 - \alpha)R_{cb} \quad (4)$$

где  $R_{cf}$  — результат коллаборативной модели,  $R_{cb}$  — результат контентно-ориентированной модели,  $\alpha$  — коэффициент, определяющий вклад каждого подхода.

Процесс формирования рекомендаций в образовательной системе, начиная от сбора данных и заканчивая предоставлением персонализированных результатов пользователю, представлен на рисунке 2.



Рис.2. Процесс формирования рекомендаций в образовательной системе

**Оценка качества рекомендаций и место системы в цифровой образовательной среде.** Для оценки качества работы рекомендательных систем в образовательной сфере широко используется среднеквадратичная ошибка, определяемая выражением:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (5)$$

где  $y_i$  — фактическое значение,  $\hat{y}_i$  — прогнозируемое значение.

Рекомендательные системы выступают связующим звеном между пользователем и цифровой образовательной инфраструктурой, интегрируясь с информационными системами вузов, образовательными порталами и аналитическими модулями. Их место в цифровой образовательной среде высшего образования схематично представлено на рисунке 3.



Рис.3. Место рекомендательной системы в цифровой образовательной среде

**Результаты.** В ходе проведённого анализа установлено, что эффективность образовательных рекомендательных систем во многом определяется комплексным учётом технологических, контекстных и индивидуальных факторов, оказывающих влияние на образовательную траекторию обучающегося. Рассмотренная модель, в центре которой находится студент, позволяет наглядно представить взаимосвязь между используемыми технологиями, контекстом обучения, дополнительными внешними факторами и ожидаемыми результатами обучения.

Анализ показал, что технологические факторы, включая цифровую инфраструктуру, доступ к образовательным ресурсам и использование инновационных образовательных решений, формируют основу для функционирования рекомендательных систем. При этом контекст обучения, отражающий цели, образовательные активности, учебные материалы и культуру образовательной среды, оказывает существенное влияние на корректность и релевантность формируемых рекомендаций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов А.В. Рекомендательные системы: принципы построения и области применения / А.В. Иванов // Вестник Московского университета. Серия 15: Вычислительная математика и кибернетика. – 2018. – № 4. – С. 47–55.
2. Семёнов М.В. Алгоритмы коллаборативной фильтрации в интеллектуальных информационных системах / М.В. Семёнов, Н.А. Кузнецова // Информационные технологии. – 2020. – № 6. – С. 23–31.
3. Фролов А.А. Интеллектуальные рекомендательные системы в задачах поддержки принятия решений / А.А. Фролов // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2021. – № 9. – С. 12–20.
4. Kamal N. Recommender System in Academic Choices of Higher Education: A Systematic Review / N.

Kamal, F. Sarker, A. Rahman, S. Hossain, K.A. Mamun // IEEE Access. – 2024. – Vol. 12. – P. 35475–35501. – DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3368058.

**ANALYSIS OF METHODS FOR BUILDING RECOMMENDATION SYSTEMS IN THE FIELD OF HIGHER EDUCATION**

**Annotation.** The article presents an analysis of the methods of building recommendation systems used in the field of higher education. The main approaches to the formation of recommendations, including collaborative filtering, content-oriented and hybrid models, are considered. Special attention is paid to the specifics of using recommendation systems in the educational environment, related to the need to take into account the individual characteristics of students, academic data and collective educational experience. The key problems and limitations of the introduction of recommendation systems in higher education institutions are highlighted, as well as promising areas for their development in the context of the digitalization of the educational process. The results obtained can be used in the development of intelligent decision support systems for choosing an educational organization and forming individual educational trajectories.

**Keywords:** recommendation system, higher education, educational technologies, collaborative filtering, content-based recommendations, hybrid models, digitalization of education, individual educational trajectory.

**Sidorenko A.A.**

E-mail: [canek.2003@mail.ru](mailto:canek.2003@mail.ru)

Scientific adviser: Bondarenko V.V., Senior Lecturer at the Department of Computer Technology  
Donetsk State University.

E-mail: [vk.bondarenko@donnu.ru](mailto:vk.bondarenko@donnu.ru)

## МОДЕЛЬ ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ В СЕТЕВОМ ТРАФИКЕ В УСЛОВИЯХ КОМПЬЮТЕРНЫХ АТАК

Чумаченко М.Г.

Научный руководитель: Бабичева М.В., канд. техн. наук, доцент  
ФГБОУ ВО «ДонГУ»

*Аннотация:* в статье рассматривается задача выявления аномалий в сетевом трафике в условиях компьютерных атак. Для её решения используется подход на основе оконной агрегации сетевых потоков и расширенного набора статистических признаков. На данных CIC-IDS2017 исследовано влияние размера окна и порога разметки атакующего окна на качество обнаружения, а также проведено сравнение методов KMeans, Isolation Forest, HurstPackets, HurstBytes и FusionModel. Показано, что параметры оконной агрегации существенно влияют на чувствительность модели к различным типам атак. Полученные результаты могут быть использованы при разработке систем мониторинга сетевого трафика и средств выявления аномальной активности.

*Ключевые слова:* сетевой трафик, обнаружение аномалий, компьютерная атака, KMeans, изолирующий лес, показатель Херста, агрегация окон, CIC-IDS2017

**Введение.** Выявление аномалий в сетевом трафике остаётся одной из ключевых задач информационной безопасности, поскольку современные атаки проявляются не только сигнатурно, но и как изменение структуры и динамики сетевого обмена [1, 3]. Для практических систем мониторинга особенно важны методы, которые работают по метаданным потоков, допускают автоматизированную обработку логов и дают воспроизводимые численные оценки. При этом качество обнаружения зависит не только от выбранного детектора, но и от способа агрегирования трафика в окна и от схемы разметки атакующих интервалов.

**Постановка задачи.** Цель работы — построить и экспериментально проверить модель выявления аномалий в сетевом трафике в условиях компьютерных атак на основе оконного представления данных и расширенного признакового пространства. В качестве исходных данных используются сетевые потоки CICFlowMeter из датасета CIC-IDS2017 [1], а критерием качества служат метрики precision, recall и F1, доля ложных срабатываний на нормальном трафике  $fp\_benign$ , а также macro-F1 по классам атак. Дополнительно исследуется влияние параметров  $window\_flows$  и  $attack\_tau$  на чувствительность модели к слабовыраженной бот-активности.

**Описание исследуемой модели.** Трафик представляется последовательностью непересекающихся окон, каждое из которых содержит  $w$  потоков. Для каждого окна формируется агрегированный вектор признаков  $z_i$ ; далее окно оценивается несколькими детекторами: KMeans, Isolation Forest и фрактальными компонентами HurstPackets/HurstBytes. В экспериментах сравнивались размеры окна  $w \in \{50, 100, 150, 250, 500, 1000\}$  и пороги разметки  $attack\_tau \in \{0,005; 0,01; 0,02\}$ .

**Агрегация признаков окна.** Пусть в окне  $i$  содержится множество потоков  $F_i = \{f_1, \dots, f_w\}$ . Вектор  $z_i$  включает суммарные и вариационные характеристики трафика: total\_packets, total\_bytes, средние и стандартные отклонения FlowDuration, FlowPackets/s, FlowBytes/s, Flow IAT Mean и Flow IAT Std, число уникальных Source IP, Destination IP и Destination Port, энтропии распределений Source Port и Destination Port, средние значения TCP-флагов SYN, RST, ACK, PSN, отношение прямых и обратных пакетов/байтов, а также статистики длины пакетов. Такой набор признаков позволяет одновременно описывать массовые аномалии типа DDoS, структурные отклонения типа PortScan и более слабые сценарии Bot. Энтропия портов рассчитывается по формуле (1).

$$(1) H_p = - \sum_{q_p \in P} q_p \log_2 q_p$$

**Статистические детекторы.** Перед обучением признаки стандартизируются по формуле (2). Для KMeans рассчитывается расстояние окна до ближайшего центра кластера (3), а порог  $\theta_K$  задаётся как q-квантиль распределения расстояний на калибровочной выборке benign-окон (4). Такой подход близок к кластеризационным схемам поиска аномалий в сетевом трафике, описанным в работах [2, 3]. Дополнительно исследуется Isolation Forest [4]: для него использовалась величина -IF-score\_samples(x) с аналогичной калибровкой порога по q=0,99. Нормальные окна делились в пропорции 60/20/20 на обучающую, калибровочную и отложенную benign-выборки, что позволило корректно оценивать fp\_benign..

$$(2) z' = \frac{z - \mu}{\sigma}$$

$$(3) d_i = \min_{j \in \{1, \dots, k\}} \|Z'_i - C_j\|_2$$

$$(4) \theta_K = Q_q(\{d_i\}_{i \in N})$$

Фрактальные компоненты HurstPackets и HurstBytes. Для последовательности окон строятся два временных ряда:  $x_i^P = \text{total\_packets}_i$  и  $x_i^B = \text{total\_bytes}_i$ . На скользящем фрагменте длины  $L=50$  окон показатель Херста оценивается методом R/S: вычисляется отношение  $\frac{R}{S}(n)$  по формуле (5), после чего параметр H определяется из линейной зависимости, заданной формулой (6). Подходы к выявлению аномалий на основе показателя Херста и самоподобия трафика обсуждаются в работах [3]. В настоящем исследовании HurstPackets и HurstBytes рассматривались как дополнительные диагностические компоненты, а не как самостоятельный итоговый классификатор.

$$(5) \frac{R}{S}(n) = \frac{R(n)}{S(n)}$$

$$(6) \log\left(\frac{R}{S}(n)\right) = H \log(n) + c$$

**Правило выбора итоговой конфигурации.** Помимо локальных детекторов исследовались простое логическое объединение решений и fusion-оценка, объединяющая нормированные баллы IF и двух Hurst-компонент. Однако итоговая конфигурация выбиралась не по максимальной чувствительности к одному классу атак, а по максимуму macro-F1 при контроле fp\_benign. Такой критерий позволил отделить действительно сбалансированную модель от решений, которые улучшают только один сценарий ценой деградации остальных.

**Экспериментальная часть.** Эксперименты проведены на подмножестве CIC-IDS2017 [1] (сетевые потоки CICFlowMeter). Используются файлы Friday-WorkingHours-Morning (BENIGN+Bot), Friday-WorkingHours-Afternoon-PortScan (BENIGN+PortScan) и Friday-WorkingHours-Afternoon-DDoS (BENIGN+DDoS). Для каждого набора формировались окна по w потоков; окно считалось атакующим, если доля потоков с меткой атаки была не ниже attack\_tau. Полный перебор параметров включал  $w \in \{50, 100, 150, 250, 500, 1000\}$  и  $\text{attack\_tau} \in \{0,005; 0,01; 0,02\}$ . На каждом прогоне рассчитывались детальные F1 по Bot, DDoS, PortScan, macro-F1 и fp\_benign.

**Таблица 1. Характеристики используемых данных**

Файл	Классы	Число потоков по классам	Примечание
Friday-WorkingHours-Morning	BENIGN, Bot	BENIGN = 189 067; Bot = 1 966	основной benign-набор, используется в калибровке
Friday-WorkingHours-Afternoon-PortScan	BENIGN, PortScan	BENIGN = 127 537; PortScan = 158 930	оценка структурных аномалий

Friday-WorkingHours-Afternoon-DDoS	BENIGN, DDoS	BENIGN = 97 718; DDoS = 128 027	оценка аномалий интенсивности
------------------------------------	--------------	---------------------------------	-------------------------------

**Результаты и обсуждение.** Лучший сбалансированный результат по полной серии экспериментов показал KMeans при  $w=150$  и  $\text{attack\_tau}=0,005$ :  $F1=0,979$  для DDoS,  $F1=0,940$  для PortScan,  $F1=0,039$  для Bot,  $\text{macro-F1}=0,653$  и  $\text{fp\_benign}=0,034$ . При  $w=500$  тот же метод сохранил высокие результаты по DDoS и PortScan, но потерял чувствительность к Bot; Isolation Forest оказался слабее по суммарному качеству. HurstPackets, HurstBytes и FusionModel полезны как исследовательские индикаторы динамики, однако не обеспечивают устойчивого прироста  $\text{macro-F1}$ . Следовательно, для слабовыраженных атак типа Bot критичны малые окна и пониженный порог  $\text{attack\_tau}$ .

Таблица 2. Сравнение лучших и характерных конфигураций модели на данных CIC-IDS2017

Метод и параметры	Bot F1	DDoS F1	PortScan F1	Macro-F1	FP (BENIGN)
KMeans, $w=150$ , $\tau=0,005$	0,039	0,979	0,940	0,653	0,034
KMeans, $w=500$ , $\tau=0,005$	0,000	0,954	0,953	0,635	0,027
IForest, $w=500$ , $\tau=0,005$	0,000	0,928	0,635	0,521	0,041
HurstBytes, $w=500$ , $\tau=0,005$	0,103	0,021	0,066	0,063	0,034
Fusion, $w=500$ , $\tau=0,005$	0,105	0,028	0,087	0,073	0,027

**Воспроизводимость.** Для воспроизведения эксперимента требуется: (1) загрузить flow-CSV CIC-IDS2017 для Friday Morning, Friday PortScan и Friday DDoS; (2) очистить заголовки столбцов и привести метки к укрупнённым классам BENIGN, Bot, PortScan, DDoS; (3) сформировать непересекающиеся окна по  $w$  потоков и вычислить агрегированные признаки  $z_i$ ; (4) разделить benign-окна в пропорции 60/20/20 на обучение, калибровку и проверку ложных срабатываний; (5) обучить KMeans и Isolation Forest, вычислить HurstPackets/HurstBytes и при необходимости fusion-оценку; (6) рассчитать precision, recall, F1,  $\text{fp\_benign}$  и  $\text{macro-F1}$ , а также построить диагностические графики score и total\_packets по окнам.

**Выводы.** В результате проведённого исследования установлено, что качество выявления аномалий в сетевом трафике существенно зависит от параметров оконной агрегации и порога разметки атакующего окна. Наилучший сбалансированный результат на данных CIC-IDS2017 получен для метода KMeans при размере окна 150 потоков и значении  $\text{attack\_tau} = 0,005$ :  $F1 = 0,979$  для DDoS,  $F1 = 0,940$  для PortScan и  $F1 = 0,039$  для Bot при  $\text{macro-F1} = 0,653$  и  $\text{fp\_benign} = 0,034$ . Показано, что уменьшение размера окна и снижение порога разметки повышают чувствительность модели к слабовыраженным сценариям Bot-активности. Установлено также, что в текущей постановке метод KMeans обеспечивает более устойчивый и сбалансированный результат по сравнению с Isolation Forest, HurstPackets, HurstBytes и FusionModel. Полученные результаты подтверждают целесообразность использования оконного представления трафика и расширенного набора признаков при построении средств обнаружения аномалий в сетевом трафике.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Intrusion detection evaluation dataset (CIC-IDS2017) [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – 2017. – Режим доступа: <https://www.unb.ca/cic/datasets/ids-2017.html>
2. Traffic Anomaly Detection Using K-Means Clustering [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – 2007. – Режим доступа: <https://www.net.in.tum.de/projects/dfg-lupus/files/muenz07k-means.pdf>
3. Метод выявления аномалий в сетевом трафике [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – 2022. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-vyyavleniya-anomaliy-v-setevom-trafike>

4. Isolation Forest [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – 2008. – Режим доступа: <https://www.lamda.nju.edu.cn/publication/icdm08b.pdf>

**ANOMALY DETECTION MODEL IN NETWORK TRAFFIC UNDER COMPUTER ATTACKS**

**Abstract:** The article addresses the problem of anomaly detection in network traffic under computer attacks. To solve this problem, an approach based on window aggregation of network flows and an extended set of statistical features is used. Using the CIC-IDS2017 dataset, the influence of window size and the threshold for labeling an attacking window on detection quality is investigated, and the methods KMeans, Isolation Forest, HurstPackets, HurstBytes, and FusionModel are compared. It is shown that the parameters of window aggregation significantly affect the sensitivity of the model to different types of attacks. The obtained results can be used in the development of network traffic monitoring systems and anomaly detection tools.

**Keywords:** network traffic, anomaly detection, computer attack, KMeans, Isolation Forest, Hurst exponent, window aggregation, CIC-IDS2017.

**Chumachenko M.G.**

Scientific advisor: Babicheva M.V., Associate Professor

Donetsk State University

Email: [max.FCB\\_433@mail.ru](mailto:max.FCB_433@mail.ru)

УДК 65.658.51

## РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО УЛУЧШЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НА ТЕРРИТОРИИ «ХАРЦЫЗСКОГО ТРУБНОГО ЗАВОДА»

*Шабанов И.Ю.*

*Научный руководитель: Быковская Н.В. канд. техн. наук, доцент  
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

*Аннотация.* В статье представлены вопросы разработки рекомендаций по улучшению экологической обстановки на территории «Харцызского трубного завода». Рассмотрены ключевые аспекты влияния промышленности на экологию в 2025 году, которые приносят такие негативные последствия, как выбросы парниковых газов, загрязнение воды и почвы, отходы, влияние на биоразнообразие и прочие.

*Ключевые слова:* металлургические предприятия, экологические проблемы, загрязняющие вещества, экологические и социальные нормы

### **Введение.**

Если рассмотреть экологическую обстановку в мире за 2025 год, то по-прежнему она находится под значительным давлением из-за деятельности промышленных предприятий, несмотря на рост осознанности и усилия по ужесточению экологического регулирования. Ключевыми аспектами влияния промышленности на экологию в 2025 году являются такие негативные последствия, как выбросы парниковых газов, загрязнение воды и почвы, отходы, влияние на биоразнообразие и прочие.

Промышленные предприятия играют важную роль в развитии экономики, обеспечении рабочих мест и производстве товаров, необходимых обществу. Однако их деятельность также может иметь ряд негативных последствий, особенно если не соблюдаются экологические и социальные нормы.

### **Основная часть.**

Проведя исследование положения дел металлургических предприятий и, конкретно, Харцызского трубного завода, установлены основные негативные воздействия на окружающую среду и разработаны рекомендации для снижения риска экологических катастроф. Уже сегодня мы видим, что экологические проблемы являются центром внимания руководства страны и промышленных предприятий, в том числе и металлургического комплекса. На первый план вышло такое понятие, как "экологическая репутация бизнеса".

*Установлены основные экологические проблемы:* завод создавал проблемы загрязнения воздуха и воды, а также проблему переработки отходов; предприятие осуществляло выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, что является характерным для металлургического производства.

*Данные по выбросам.* Согласно имеющимся данным, валовые выбросы вредных веществ в атмосферу составляли около 0,0094 тыс. тонн (9,4 тонны) в год, что свидетельствует о постоянном антропогенном воздействии на окружающую среду. Этапы производства, типы загрязнений и примерные выбросы представлены в таблице 1.

Воздействие на экосистемы завода были подтверждены исследованиями, проводимыми в ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет» что указывает на влияние промышленного объекта на местные экосистемы. [15]

*Разработка рекомендаций по улучшению экологической обстановки на Харцызском трубном заводе.* Исходя из полученных результатов проведенного анализа можно сделать вывод, что положительная динамика производства Харцызского трубного завода (которая наблюдается в последний год) приводит к увеличению количества производственных отходов и сброса загрязненных сточных вод.

Таблица 1. Этапы производства, типы загрязнений и примерные выбросы ХТЗ

Этап производства	Тип загрязнений	Примерные выбросы
Подготовка металла	Пыль, окалина, металлическая взвесь	Твёрдые частицы 10–100 мкм
Нагрев заготовок	Оксиды азота (NO <sub>x</sub> ), серы (SO <sub>x</sub> ), углерода (CO, CO <sub>2</sub> )	Газообразные выбросы
Прокатка и сварка	Аэрозоли масел, дым сварочный, мелкодисперсная пыль	PM2.5, PM10, летучие органические соединения
Обрезка и шлифовка	Абразивная пыль, металлическая стружка	Твёрдые частицы
Гидроиспытания и очистка	Пары растворителей, эмульсионные аэрозоли	ЛОС, масляный туман

Анализ движущих факторов показывает, что способность страны устранить экологическую зависимость в первую очередь зависит от снижения интенсивности выбросов в рамках как внутренних, так и импортных цепочек поставок. Это подчеркивает необходимость международного сотрудничества в борьбе с выбросами и что более важно – обезуглероживания цепочек поставок и производства в целом.

Для Харцызского трубного завода из проведенного выше анализа, предложены ряд рекомендаций по улучшению экологической обстановки.

Анализ текущей ситуации включает в себя ряд проблем, таких как:

*Исторические проблемы.* Завод ранее входил в состав «Метинвест Холдинг» и имел документированные экологические проблемы, включая выбросы загрязняющих веществ. Еще в 2014 году сообщалось об угрозе экологической катастрофы в районе Харцызска из-за риска прорыва дамбы на реке Нижняя Крынка. А в 2025 году зафиксировано критическое обмеление Ольховского водохранилища с сокращением подачи питьевой воды в городе

*Текущее состояние.* Предприятие находится в процессе модернизации после многолетнего простоя. С момента возобновления производства работает ограниченный штат (~500 сотрудников) с неполной загрузкой мощностей. В настоящее время количество работников завода значительно увеличено.

Поэтому, можно рекомендовать комплексные меры для краткосрочных, среднесрочных и долгосрочных временных границ:

1. Для решения приоритетных мер безопасности: по оценке техногенных рисков – необходимо провести независимый аудит состояния промышленных резервуаров, дамб и систем хранения химических реагентов с учетом повреждений от военных действий; для мониторинга водных ресурсов – нужно установить систему контроля качества воды в реке Нижняя Крынка и Ольховском водохранилище с ежемесячной отчетностью; по решению вопроса ликвидации аварийных источников загрязнения необходимо очистить территории от накопленных отходов производства периода простоя (2014-2022 гг.)

2. Для решения технологической модернизации: в первую очередь внедрение систем газоочистки. Здесь нужно установить современные фильтры для улавливания твердых частиц и вредных газов на всех этапах производства: термической обработки труб; сварочного производства; покрасочных работ. Для финальной очистки и контроля внедрить НЕРА/ЕРА-фильтры и интегрировать систему в АСУ ТП для автоматизации управления, сигнализации при превышении норм и удаленного мониторинга.

В таблице 2 представлены ожидаемые результаты внедрения.

В настоящее время данными установками занимаются отечественные поставщики: «ЭКО-КОМ», «NEO-ENGIN», «MAGMATEX», «Торч-Эйр», которые предлагают комплексные решения «под ключ» с проектированием, монтажом и сервисом. ДонНУ,

Институт проблем промышленной экологии занимаются научной поддержкой, они могут проводить экологический аудит и разрабатывать индивидуальные решения.

Таблица 2. Ожидаемые результаты внедрения систем газоочистки

Показатель	До модернизации	После внедрения
Эффективность улавливания пыли	60–80%	≥99%
Снижение выбросов SO <sub>x</sub> /NO <sub>x</sub>	–	на 85–95%
Улавливание ЛОС	минимальное	до 98%
Соответствие нормативам ПДВ	частичное	полное
Риск экологических штрафов	высокий	минимальный
Репутационный эффект	нейтральный	позитивный

А вот для решения проблем загрязнения сточных промышленных вод необходимо установление замкнутых систем водоснабжения: необходимо создать оборотные циклы водопотребления для минимизации сбросов в реку Нижняя Крынка, особенно критично учитывая дефицит водных ресурсов в регионе. Для снижения выбросов CO<sub>2</sub> и энергоэффективности работы необходим переход на энергосберегающее оборудование. Для система экологического менеджмента важная роль отводится как внедрению международных стандартов (адаптация системы экологического менеджмента по принципам ЕС (Директива об индустриальных выбросах IED) с учетом местных условий), так и проведению регулярного экомониторинга: контроль атмосферного воздуха по 12 ключевым параметрам (пыль, оксиды азота, серы, бенз(а)пирен), почвенный мониторинг на прилегающих территориях, биотестирование водных объектов. С 2017 года из-за сложившейся финансово-экономической обстановки в регионе, работы по постоянному улучшению производственных процессов и сертификации были приостановлены. В настоящее время завод не имеет сертификатов соответствия Системы менеджмента, однако на предприятии имеется прочная основа для функционирования Системы менеджмента качества в соответствии с требованиями стандартов ISO 9001 и СТО Газпром 9001. Кроме того, для экспорта труб в Россию и государства-члены Евразийского экономического союза (Армения, Белоруссия, Казахстан, Киргизия) в октябре 2021 г. оформлена и зарегистрирована декларация соответствия труб, используемых для строительства сетей водоснабжения и теплоснабжения, требованиям Технического регламента ТР ТС 032/2013 «О безопасности, оборудования, работающего под избыточным давлением».

Некоторые ограничения касаются и проведения процедуры ОВОС. Здесь наблюдаются критические ограничения и условия ее реализации. Данные вопросы напрямую связаны с водным дефицитом, финансированием, правовым статусом предприятия, а также приоритетом безопасности.

Модернизация экосистем требует инвестиций €12–20 млн (оценка по аналогии с европейскими трубными заводами), что возможно только при стабилизации региона и привлечении международных экологических фондов. Реализация проектов в соответствии с международными стандартами (Бернская конвенция, Орхусская конвенция) требует урегулирования правового статуса территории.

#### **Выводы.**

При анализе деятельности исследуемого предприятия установлены основные его экологические проблемы: завод создает проблемы загрязнения воздуха и воды, а также проблему переработки отходов; предприятие осуществляет выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, что является характерным для металлургического производства.

Реализация экологических мер на ХТЗ возможна только в контексте всеобъемлющего мирного урегулирования в регионе. В текущих условиях приоритетом должно быть предотвращение аварийных ситуаций и поэтапная подготовка к

модернизации экосистем при возобновлении полноценной работы предприятия. Любые рекомендации требуют согласования с международными экологическими организациями и соблюдения норм международного гуманитарного права.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колбасин, А. В. Состояние и перспективы развития трубной промышленности России / А. В. Колбасин, Е. П. Гармашова // Экономика, предпринимательство и право. – 2023. – Т. 13, № 7. – С. 2189-2204.
2. Шайбакова, Л. Ф. Оценка тенденций и проблем развития производства стальных труб в Российской Федерации / Л. Ф. Шайбакова, А. В. Курдюмов, Н. С. Громова // Общество: политика, экономика, право. – 2023. – № 12(125). – С. 90-98. – DOI 10.24158/per.2023.12.11. – EDN CVSYIP.
3. Федеральный закон от 23.11.1995 № 174-ФЗ «Об экологической экспертизе»
4. Постановление Правительства РФ от 16.05.2022 № 859 (обновлённый перечень объектов, подлежащих ОВОС)
5. Федеральный закон № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»
6. Письмо Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 20 октября 2025 г. N 12-47/44091 "Об оценке воздействия на окружающую среду",
7. Приказ от 1 декабря 2020 г. N 999. Об утверждении требований к материалам оценки воздействия на окружающую среду
8. Письмо от 10 ноября 2021 г. N 12-50/15407-ОГ. О проведении оценки воздействия на окружающую среду
9. Кукин, П. П. Оценка воздействия на окружающую среду. Экспертиза безопасности : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / П. П. Кукин, Е. Ю. Колесников, Т. М. Колесникова. — М. : Издательство Юрайт, 2015. — 453 с
10. Кудрявцева, О. В. Методика и практика оценки воздействия на окружающую среду. Проектная документация: Учебное пособие / О. В. Кудрявцева, Т. Н. Ледашева, В. Е. Пинаев. — Изд. 2-е, испр. и доп. — М.: Экономический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2018. — 160 с.
11. Кичигин Н. В. Правовое регулирование оценки воздействия на окружающую среду в России и за рубежом //Журнал зарубежного законодательства и сравнительного правоведения. – 2016. – №. 5 (60). – С. 117-123.
12. Василенко Т.А. Оценка воздействия на окружающую среду и экологическая экспертиза инженерных проектов: учебное пособие / Василенко Т.А., Свергузова С.В. – 2-е изд. – Москва: Инфра-Инженерия, 2019. – 264 с.
13. Зенченко С. А., Горбачев Н. Н. Оценка воздействия на окружающую среду //Экологический менеджмент в ЕС: курс и МООС. – 2018. – С. 289-323.
14. <https://tass.ru/ekonomika/17037391>
15. Экологическая структура сообществ панцирных клещей промплощадки и буферной зоны «Харьковского трубного завода» // А. Д. Штирц, ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет». <https://dongu-ecolog.ru/index.php/ecolog/article/view/315>
16. [Конвенция об Оценке Воздействия на Окружающую Среду в Трансграничном Контексте \(с Поправками, Внесенными 27 Февраля 2001г. и 4 Июня 2004г\)](https://doi.org/10.18356/b2d1f104-ru) , С.43-52. [ttps://doi.org/10.18356/b2d1f104-ru](https://doi.org/10.18356/b2d1f104-ru)
17. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 14 февраля 2019 г. N 89 «Об утверждении Правил разработки технологических нормативов»// Зарегистрировано в Минюсте России 4 апреля 2019 г. N 54273 – Москва, 2019, 7 с.
18. <https://www.trudohrana.ru/article/104501-23-m11-otsenka-vozdeystviya-na-okrujayushchuyu-sredu-v-2023-godu>

#### DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS TO IMPROVE THE ENVIRONMENTAL SITUATION AT THE KHARTSYZSK PIPE PLANT

**Annotation.** This article presents the development of recommendations to improve the environmental situation at the Khartsyzsk Pipe Plant. Key aspects of industrial impact on the environment in 2025 are considered, including negative consequences such as greenhouse gas emissions, water and soil pollution, waste, impact on biodiversity, and others.

**Keywords:** metallurgical plants, environmental issues, pollutants, environmental and social standards

**Shabanov I. Yu.**

Scientific advisers: Bykovskaya N.V., PhD, Associate Professor

Donetsk State University

E-Mail: [nataliya\\_bykovskaya@mail.ru](mailto:nataliya_bykovskaya@mail.ru)

[Shabanova2011@list.ru](mailto:Shabanova2011@list.ru)

## МЕТОДЫ АНАЛИЗА ДАННЫХ В СИСТЕМАХ ПОДБОРА И РАНЖИРОВАНИЯ ОТЕЛЕЙ

*Щекин Д.С.*

*Научный руководитель: Бондаренко В.В., старший преподаватель  
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

*Аннотация:* В данной статье представлен обзор современных подходов к построению рекомендательных и ранжирующих систем для выбора отелей с использованием методов интеллектуального анализа данных. Рассматриваются ключевые направления в области обработки пользовательской информации, включая использование оценок, отзывов и пользовательского контента для формирования персонализированных рекомендаций. Особое внимание уделяется применению методов машинного обучения и анализа текстов, позволяющих учитывать как явные предпочтения клиентов, так и скрытые факторы, влияющие на качество рекомендаций. Анализируются существующие алгоритмы коллаборативной и контентной фильтрации, гибридные модели, а также методы построения систем ранжирования, ориентированных на максимизацию полезности для пользователя. В статье обсуждаются проблемы масштабируемости, холодного старта и обработки разнородных данных, а также перспективы развития рекомендательных систем в туристической сфере.

*Ключевые слова:* рекомендательная система, отели, интеллектуальный анализ данных, машинное обучение, коллаборативная фильтрация, контентная фильтрация, ранжирование, пользовательские отзывы, туристические сервисы, персонализация.

**Введение.** В условиях цифровизации туристической индустрии особое значение приобретают интеллектуальные системы поддержки выбора гостиниц. Рост объема пользовательского контента, распространение онлайн-платформ бронирования и развитие методов машинного обучения открывают возможности для построения персонализированных сервисов. Современные рекомендательные системы стремятся учитывать не только цену и формальные характеристики отеля, но и скрытые предпочтения клиентов, отражённые в их поведении и отзывах. Одновременно развивается направление построения ранжирующих систем, которые используют пользовательский и краудсорсинговый контент для формирования более релевантных результатов поиска.

**Постановка задачи.** Современные онлайн-сервисы бронирования предоставляют пользователям доступ к большому количеству отелей, которые различаются по цене, местоположению, набору удобств и качеству обслуживания. Избыточность информации затрудняет выбор оптимального варианта и делает традиционные механизмы сортировки по цене, рейтингу или количеству звёзд недостаточно эффективными, так как они не учитывают индивидуальные предпочтения клиента. В этой связи возникает необходимость разработки интеллектуальных систем, способных анализировать большие массивы разнородных данных, включающих числовые рейтинги, текстовые отзывы, характеристики отелей и пользовательский контент. Такие системы должны использовать методы машинного обучения и анализа текстов для выявления скрытых закономерностей и формирования персонализированных рекомендаций, обеспечивая тем самым более высокий уровень релевантности результатов. Важным требованием также является масштабируемость и устойчивость работы при росте объёма данных и числа пользователей. Решение задачи заключается в построении моделей, которые объединяют коллаборативные и контентные методы фильтрации, учитывают динамику пользовательских отзывов и используют гибридные алгоритмы, что позволит существенно повысить точность и качество рекомендаций в туристической сфере.

**Современные подходы к построению рекомендательных систем отелей.** Онлайн-сервисы бронирования оперируют огромным количеством отелей, и

задача рекомендательных систем заключается в том, чтобы из этого множества выделить наиболее подходящие варианты для конкретного клиента [1]. На практике применяются три основных подхода: коллаборативная фильтрация, контентные методы и гибридные комбинации.

Коллаборативная фильтрация строится на принципе: если два пользователя в прошлом делали схожий выбор, то и в будущем они будут склонны оценивать отели похожим образом [2]. Для этого вычисляется мера схожести. Например, для пользователей  $u_a$  и  $u_b$  это может быть косинусная близость их векторов оценок:

$$S_{ab}^{(u)} = \frac{R_a \cdot R_b}{\|R_a\| \|R_b\|} \quad (1)$$

где  $R_a$  и  $R_b$  — строки матрицы оценок для пользователей  $u_a$  и  $u_b$ . ]

В экспериментальном наборе данных рассматривались пять пользователей ( $u_1, \dots, u_5$ ) и шесть отелей ( $h_1, \dots, h_6$ ). Для демонстрации принципов работы рекомендательной системы была сформирована экспериментальная выборка, содержащая оценки, выставленные пользователями различным отелям (таблица 1). Эти данные представляют собой исходную матрицу предпочтений, на основании которой выполняются расчёты сходства и формируются рекомендации. В матрице строки соответствуют пользователям, а столбцы — отдельным отелям. Значения в ячейках отражают числовую оценку (по условной шкале от 1 до 5), где более высокое число означает большую степень удовлетворённости, а нули обозначают отсутствие оценки.

Таблица 1. Матрица оценок пользователей и отелей

Пользователь	h1	h2	h3	h4	h5	h6
u1	5	4	0	0	3	0
u2	4	0	0	2	3	5
u3	0	3	4	0	0	4
u4	2	0	0	5	4	0
u5	0	4	5	0	0	3

После нормализации строк и вычисления косинусных расстояний были получены значения сходства между пользователями.

Контентные методы анализируют не поведение пользователей, а свойства самих отелей: цену, расположение, удобства, рейтинг. Для каждого отеля формируется вектор признаков  $x_i$ , а профиль пользователя  $p_u$  определяется как усреднение признаков тех отелей, которые он высоко оценил. Релевантность нового отеля вычисляется через косинусное сходство:

$$r_{ui} = \frac{p_u \cdot x_i}{\|p_u\| \|x_i\|} \quad (2)$$

Таким образом, клиент получает рекомендации, близкие по характеристикам к тем объектам, которые он выбирал ранее.

Гибридные системы сочетают оба подхода: они одновременно используют схожесть пользователей и описание объектов [3]. Это снижает проблему «холодного старта», позволяет учитывать больше факторов и улучшает качество рекомендаций.

Современные системы также применяют методы факторизации матриц. Основная идея состоит в том, что матрица оценок  $R$  аппроксимируется произведением двух матриц меньшей размерности:

$$R \approx P \cdot Q^T, \quad (3)$$

где  $P$  описывает скрытые предпочтения пользователей, а  $Q$  — скрытые характеристики отелей. Такой подход позволяет находить латентные факторы, которые невозможно напрямую выделить из данных (например, склонность пользователя к выбору бюджетных гостиниц в центре города).

Для оценки степени сходства как между пользователями, так и между отелями в гибридных моделях используется косинусная мера, позволяющая определить, насколько близки их профили по структуре оценок. Данный показатель отражает, насколько согласованы предпочтения пользователей при выборе объектов и как схожи между собой сами отели по оценкам, выставленным разными клиентами. Чем выше значение коэффициента (ближе к 1), тем сильнее выражено сходство, и тем выше вероятность того, что объект, понравившийся одному пользователю, будет рекомендован другому.

Расчётные значения коэффициентов приведены в таблице 2. Они показывают, что, например, у пользователей  $u_3$  и  $u_5$  наблюдается почти полное совпадение предпочтений (значение 0.97), что позволяет системе уверенно переносить рекомендации между ними. Аналогично, отели  $h_5$  и  $h_6$  имеют коэффициент сходства 0.98, что свидетельствует о том, что эти объекты воспринимаются клиентами практически одинаково по уровню сервиса и характеристикам. Такие пары объектов впоследствии играют важную роль при формировании персонализированных рекомендаций, так как система может дополнять список предлагаемых вариантов элементами из высокосхожих групп.

Таблица 2. Расчёт коэффициентов косинусного сходства между пользователями и отелями

Сравниваемые объекты	Формула расчёта	Результат (приблизительно)	Интерпретация	Сравниваемые объекты
$u_1 - u_2$	$(5 \times 4 + 3 \times 3) / (\sqrt{(5^2 + 4^2 + 3^2)} \times \sqrt{(4^2 + 2^2 + 3^2 + 5^2)})$	<b>0.56</b>	Пользователи имеют умеренно схожие предпочтения	$u_1 - u_2$
$u_3 - u_5$	$(3 \times 4 + 4 \times 5 + 4 \times 3) / (\sqrt{(3^2 + 4^2 + 4^2)} \times \sqrt{(4^2 + 5^2 + 3^2)})$	<b>0.97</b>	Почти идентичные интересы пользователей	$u_3 - u_5$
$h_2 - h_3$	(оценки по столбцам R) $\rightarrow (3 \times 4 + 4 \times 5) / \dots$	<b>0.78</b>	Отели часто оцениваются схожим образом	$h_2 - h_3$
$h_4 - h_5$	$(2 \times 3 + 5 \times 4) / \dots$	<b>0.83</b>	Похожие объекты по восприятию клиентов	$h_4 - h_5$
$h_5 - h_6$	$(3 \times 5 + 4 \times 4) / \dots$	<b>0.98</b>	Практически идентичные по отзывам и рейтингу	$h_5 - h_6$

Полученные значения визуализируются в виде графов, где узлы соответствуют пользователям или отелям, а рёбра показывают степень сходства между ними. Чем выше коэффициент, тем ближе расположены вершины и тем толще линия связи.

На рисунке 1 представлена схема работы рекомендательной системы: пользователь взаимодействует с платформой, формируется его профиль, и через поиск похожих пользователей и объектов модель машинного обучения формирует список рекомендаций. На рисунках 2 и 3 показаны примеры графов похожести пользователей и отелей, построенные на основе косинусной меры.



Рис. 1. Схема работы рекомендательной системы

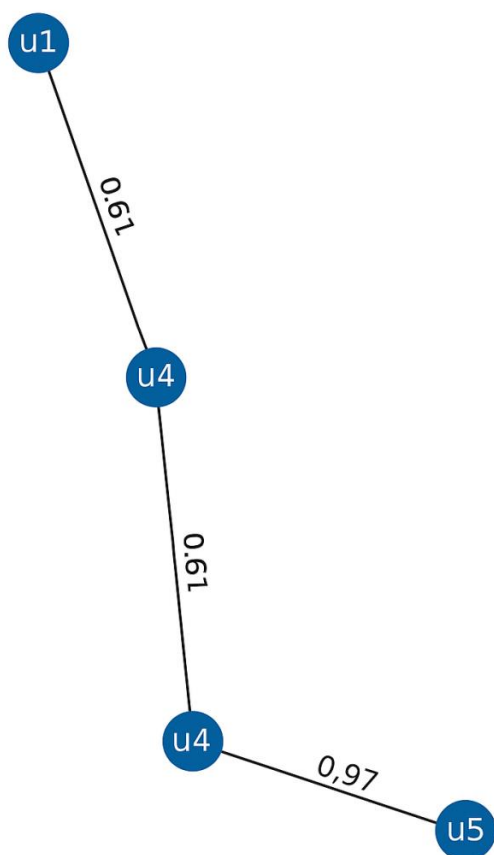


Рис. 2. Граф похожести пользователей (порог 0.5)

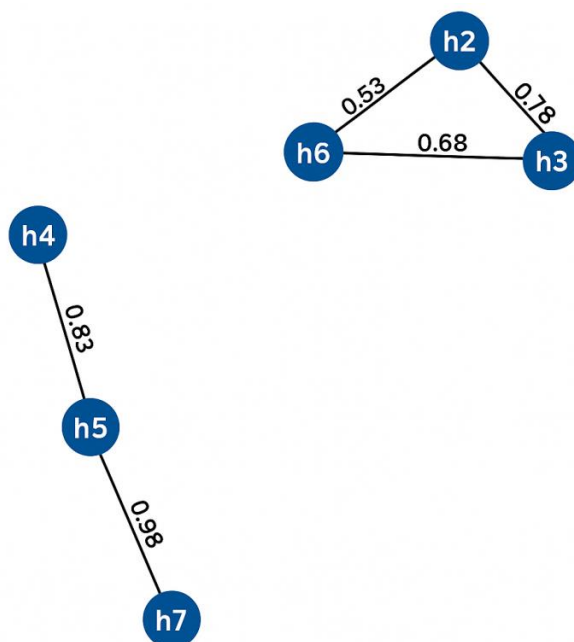


Рис. 3. Граф похожести отелей (порог 0.5)

#### Использование пользовательского контента и отзывов в ранжировании.

Современные онлайн-платформы бронирования отелей генерируют огромные объёмы пользовательского контента — оценок, отзывов, фотографий и комментариев [4]. Эти данные стали ключевым источником информации для построения интеллектуальных систем ранжирования, так как отражают не только фактическое качество услуг, но и субъективное восприятие клиентов.

Традиционные методы сортировки отелей по числовым показателям, таким как средняя оценка, количество звёзд или цена, часто оказываются недостаточными. Они не отражают индивидуальных ожиданий пользователя и не учитывают контекст поездки. Например, отель, получивший высокие оценки от туристов, может быть, не столь удобен для деловых поездок.

Интеллектуальные системы ранжирования используют методы интеллектуального анализа текстов для извлечения значимой информации из отзывов. С помощью инструментов обработки естественного языка (NLP) выполняется анализ тональности (sentiment analysis), классификация тематик, определение эмоциональной окраски текста и выявление ключевых аспектов сервиса [5]. Например, алгоритм способен различать, что фраза «удобное расположение, но шумная улица» содержит как положительный, так и отрицательный компоненты, относящиеся к разным аспектам — местоположению и уровню комфорта.

Обработанные текстовые данные дополняют числовые оценки, формируя многомерную модель восприятия отеля. В таком подходе каждая гостиница описывается набором признаков, отражающих мнение клиентов по отдельным критериям: чистота, расположение, персонал, удобства, питание, цена и т.д. Эти параметры можно выразить численно и использовать при обучении моделей машинного обучения.

Наиболее распространёнными алгоритмами анализа отзывов являются:

- методы анализа тональности (Sentiment Analysis) — для определения общего эмоционального фона отзывов (положительный, нейтральный, отрицательный);
- TF-IDF и Word2Vec — для построения векторных представлений слов и выделения тематических признаков;

- LDA (LatentDirichletAllocation) — для тематического моделирования отзывов и выявления ключевых аспектов обслуживания;
- градиентный бустинг, SVM и нейронные сети — для построения предсказательных моделей ранжирования и оценки полезности отзывов.

Использование таких моделей позволяет создавать динамические рейтинги, ориентированные на конкретные сегменты пользователей. Например, один и тот же отель может занимать разные позиции в выдаче для путешественников с детьми и для деловых клиентов [6]. Это достигается за счёт учёта индивидуальных предпочтений и анализа отзывов, содержащих контекстные признаки — «тихий район», «рядом с метро», «просторные номера», «удобно для короткой поездки» и т.п.

На практике процесс интеграции пользовательского контента в систему ранжирования включает несколько последовательных этапов. Сначала осуществляется сбор данных с онлайн-платформ бронирования и социальных источников. Затем выполняется очистка и предобработка текстов, анализ их тональности и выделение ключевых признаков, характеризующих качество обслуживания. На основании полученных признаков обучаются модели машинного обучения, которые позволяют формировать динамические рейтинги и персонализированные рекомендации. Общая структура этого процесса представлена на рисунке 4.

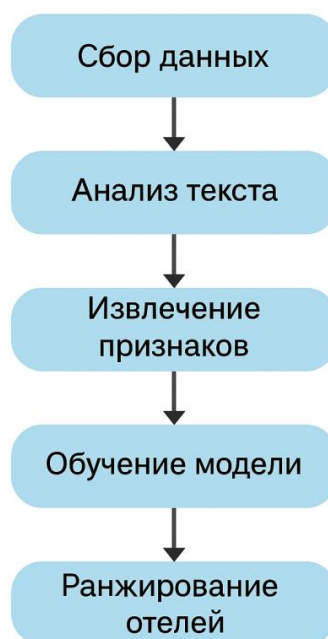


Рис. 4. Процесс ранжирования отелей на основе пользовательских отзывов

Таким образом, интеграция пользовательского контента в процесс ранжирования делает систему более адаптивной и персонализированной. Вместо статичных рейтингов формируются динамические списки рекомендаций, которые отражают актуальное восприятие клиентов и лучше соответствуют индивидуальным потребностям пользователей.

**Заключение.** В статье рассмотрены современные подходы к построению рекомендательных систем в сфере гостиничного бизнеса, основанные на интеллектуальном анализе данных и пользовательского контента. Показано, что традиционные методы сортировки по цене или рейтингу не обеспечивают достаточного уровня персонализации и не отражают реальных предпочтений клиентов.

На основе анализа существующих решений обоснована необходимость использования гибридных моделей, сочетающих коллаборативную и контентную фильтрацию, что позволяет учитывать как поведенческие сходства пользователей, так и объективные характеристики отелей. Проведён пример расчёта косинусных коэффициентов сходства, продемонстрировавший принципы выявления групп пользователей с похожими интересами и объектов с близкими оценками.

Отдельное внимание уделено применению методов интеллектуального анализа текстов (NLP) и пользовательских отзывов для формирования динамических рейтингов. Интеграция отзывов, оценок и текстовых признаков в процесс ранжирования позволяет повысить точность рекомендаций, сделать их более адаптивными и релевантными конкретным группам пользователей.

Рассмотренные методы и модели обеспечивают основу для построения масштабируемых облачных сервисов поддержки принятия решений в туристической сфере.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ghose A. Designing Ranking Systems for Hotels on Travel Search Engines by Mining User-Generated and Crowd-Sourced Content / A. Ghose, P. G. Ipeirotis, B. Li // *Marketing Science*. – 2012. – Vol. 31, No. 3. – P. 493–520.
2. Ясницкий М.В. Веб-ориентированная рекомендательная система интернет-бронирования отелей / М.В. Ясницкий // *Цифровая экономика*. – 2021. – № 02. – С. 6–13. – URL: [https://digital-economy.ru/images/easyblog\\_articles/765/DE-2021-02-06.pdf](https://digital-economy.ru/images/easyblog_articles/765/DE-2021-02-06.pdf)
3. Roy D. A Systematic Review and Research Perspective on Recommender Systems / D. Roy, A. Tripathy, D. Prasad // *Journal of Big Data*. – 2022. – Vol. 9, No. 1. – P. 1–40.
4. Бурый А.С., Ловцов Д.А. Архитектура экспертных рекомендательных систем принятия решений в формате «умного города» / А.С. Бурый, Д.А. Ловцов // *Информационные технологии и вычислительные системы*. – 2023. – Т. 29, № 1. – С. 45–58. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/arhitektura-ekspertnyh-rekomendatelnih-sistem-prinyatiya-resheniy-v-formate-umnogo-goroda>
5. Макарова А.С. Формирование комплекса стандартов гостиничного предприятия в современных условиях / А.С. Макарова // *Современные системы менеджмента*. – 2020. – № 3. – С. 31–44.
6. Кузнецова Т.В. Методы интеллектуального анализа отзывов для формирования рейтингов туристических объектов / Т.В. Кузнецова, И.А. Галкина // *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление*. – 2021. – Т. 14, № 2. – С. 118–130.

#### METHODS OF DATA ANALYSIS IN HOTEL SELECTION AND RANKING SYSTEMS

**Annotation.** This article provides an overview of modern approaches to building recommendation and ranking systems for choosing hotels using data mining methods. Key areas in the field of user information processing are considered, including the use of ratings, reviews, and user content to generate personalized recommendations. Special attention is paid to the use of machine learning and text analysis methods that take into account both explicit customer preferences and hidden factors affecting the quality of recommendations. The existing algorithms of collaborative and content filtering, hybrid models, as well as methods for building ranking systems aimed at maximizing user usefulness are analyzed. The article discusses the problems of scalability, cold start and processing of heterogeneous data, as well as the prospects for the development of recommendation systems in the tourism sector.

**Keywords:** recommendation system, hotels, data mining, machine learning, collaborative filtering, content filtering, ranking, user reviews, travel services, personalization.

**Shchekin D.S.**

E-mail: [Zak1z0@yandex.ru](mailto:Zak1z0@yandex.ru)

Scientific adviser: Bondarenko V.V., Senior Lecturer at the Department of Computer Technology, Donetsk State University.

E-mail: [vk.bondarenko@donnu.ru](mailto:vk.bondarenko@donnu.ru)

*Научное издание*

**Вестник студенческого научного общества  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»  
2026. – Вып. 18**

**Том 1  
Естественные науки**

Технический редактор – *Куликова А.С.*

Издательство ФГБОУ ВО «ДонГУ»  
283001, г. Донецк, ул. Университетская, 24.