

студенческое научное общество

ДОНГУ

ISSN 2522-4824

ВЕСТНИК СНО

ВЫПУСК 17

ТОМ 1:
Естественные науки



Донецк 2025

ISSN 2522-4824

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

ВЕСТНИК
СТУДЕНЧЕСКОГО НАУЧНОГО ОБЩЕСТВА
ФГБОУ ВО «ДонГУ»

ВЫПУСК 17

ТОМ 1

Естественные науки

Донецк – 2025

ББК У.я52
УДК 378:33(05)

Вестник студенческого научного общества ФГБОУ ВО «ДонГУ». – Донецк: ДонГУ, 2025. – Вып. 17, том 1: *Естественные науки*. – 213 с.

**Редакционная коллегия
Вестника студенческого научного общества
ФГБОУ ВО «ДонГУ»**

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

Члены редакционной коллегии:

Бурляй А.С., ассистент
Войтенко Е.Ю., канд. филол. наук, доцент
Воробьева Ю.С., старший преподаватель
Разумный В.В., канд. ист. наук, доцент
Ручица Т.С., старший преподаватель
Сафонов А.И., канд. биол. наук, доцен

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 семнадцатом 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 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: sovet_sno@donnu.ru
URL: <http://donnu.ru/science/sno>

*Печатается по решению Ученого совета
ФГБОУ ВО «ДонГУ»
протокол № 4 от 17.04.2025 г.*

Содержание

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Аникина Е.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ БИОТЕСТИРОВАНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ	6
<i>Антропова Л.П.</i> ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЙ АППАРАТ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ	11
<i>Братухина Е.А., Рябцев А.А.</i> ПРИМЕРЫ ТЕРАТОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ КАК ИНДИКАТОРНЫЕ СВОЙСТВА РАСТЕНИЙ В ПРОМЫШЛЕННОМ ДОНБАССЕ	18
<i>Васильева Н.Н.</i> ЧЕК-ЛИСТ БРИОФИТОВ ДОНБАССА (F-M) ПО ДАННЫМ БРИОТЕКИ КАФЕДРЫ БОТАНИКИ И ЭКОЛОГИИ ДОНГУ	23
<i>Джантимирова А.А.</i> ВЛИЯНИЕ ИНВАЗИИ КАШТАНОВОЙ МИНИРУЮЩЕЙ МОЛИ CAMERARIA OHRIDELLA DESCHKA & DIMIĆ, 1986 (LEPIDOPTERA: GRACILLARIIDAE) НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ КАШАНА КОНСКОГО ОБЫКНОВЕННОГО (AESCULUS HIPPOCASTANUM L.; SAPINDACEAE) Г. ДОНЕЦКА	28
<i>Дмитриева А.П.</i> ВКЛАД СТУДЕНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ КАФЕДРЫ БОТАНИКИ И ЭКОЛОГИИ В РАЗВИТИЕ МОЛОДЁЖНОЙ ЛАБОРАТОРИИ ДОНГУ (2024 Г.)	35
<i>Зусарь К.Д.</i> РЕСУРС БОТАНИЧЕСКОГО МУЗЕЯ УНИВЕРСИТЕТА ДЛЯ ШКОЛЬНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ	40
<i>Котенко Д.А.</i> ФЛУКТУИРУЮЩАЯ АСИММЕТРИЯ ЛИСТА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ, КАК ПОКАЗАТЕЛЬ УСТОЙЧИВОСТИ ОРГАНИЗМОВ К ДЕЙСТВИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ	45
<i>Крамаренко А.А.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОВЕДЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШИХ ФИТОМОНИТОРИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ПРОМЫШЛЕННОЙ АГЛОМЕРАЦИИ Г. ШАХТЁРСКА ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ	54
<i>Кувшинова Е.М.</i> ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ВИДОВ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИОННЫХ РАБОТ В ТЕХНОГЕННЫХ ЭКОТОПАХ ДОНБАССА	59
<i>Реуцкая В.В.</i> ВИБРАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА, КАК ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ В ГОРОДЕ ДОНЕЦКЕ	64
<i>Реуцкая В.В.</i> ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СОСТОЯНИЕ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДАХ	70
<i>Сафонов Р.А.</i> КОРРЕКТИРОВКА ЛОКАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ФИТОМОНИТОРИНГА В ДОНЕЦКЕ	76
<i>Скорик В.А.</i> БАКТЕРИОПЛАНКТОН КАК СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ БИОГЕОЦЕНОЗОВ ВОДОЕМОВ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ВОДЫ	81
<i>Хохлова О.А.</i> "ЦВЕТЕНИЕ" И ЭВТРОФИРОВАНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА ПРУДОВ АМВРОСИЕВСКОГО МУНИЦИПАЛЬНОГО ОКРУГА	88
<i>Чунаева Н.В.</i> СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ГЕРБАРНЫХ ЭКЗЕМПЛЯРОВ ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ДАННЫХ В ДОНБАССЕ	92
<i>Шкиренко А.О.</i> ДЕНДРОФИЛЬНЫЕ НАСЕКОМЫЕ ДОНБАССА	97
<i>Шкиренко А.О.</i> ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ РОДА EUSIMULIUM ROUBAUD, 1906 НА ТЕРРИТОРИИ ДОНБАССА	102
<i>Шкиренко А.О.</i> ВИБРАЦИОННО-АКУСТИЧЕСКОЕ ЗАШУМЛЕНИЕ КАК ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКТОР В ГОРОДЕ ДОНЕЦКЕ	109

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Васильев С.В.</i> ОБУЧАЮЩИЙ ТРЕНАЖЕР ДЛЯ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ СИСТЕМНЫХ АДМИНИСТРАТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА	116
<i>Веретельник Д.Н.</i> РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СЕГМЕНТАЦИИ И РАСПОЗНАВАНИЯ НОМЕРНЫХ ЗНАКОВ АВТОМОБИЛЕЙ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ИЗ ВИДЕОПОТОКОВ ДОРОЖНЫХ КАМЕР	123
<i>Запка И.С.</i> СИСТЕМА РЕКОМЕНДАЦИЙ ДЛЯ ПЛАТФОРМ ОНЛАЙН-ВИДЕОИГР	130
<i>Кидалинский О.С.</i> СОЗДАНИЕ ПРОТОТИПА УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА В ЗДАНИИ	137
<i>Киселёв Г. О.</i> ОБУЧАЮЩИЙ КИБЕРПОЛИГОН STANDOFF ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	142

Ломакин С.В. ТРЕХМЕРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДВУМЕРНЫХ ДАННЫХ: МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	146
Маслов Н.С. ФОРМИРОВАНИЕ КРАТКОГО СОДЕРЖАНИЯ ТЕКСТА НА ОСНОВЕ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ	153
Мелиневский Р.В. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ВИДЕОПЛАТФОРМ: ТЕХНОЛОГИИ И ПОДХОДЫ	158
Степаненко С.Н. ЭМОЦИИ И ИХ ВИЗУАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ: КАК ГЛУБОКОЕ ОБУЧЕНИЕ МЕНЯЕТ ВОСПРИЯТИЕ	165
Тимошенко А.С. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПО ПАРОЛЮ	170
Часник А.С. РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА МЕТОДИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПРОФИЛЯ СКОРОСТИ В РАБОЧЕЙ ЧАСТИ ДВУХСЛОЙНОЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЫ	174

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Вихляев В.В. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО ГОЛОСОВАНИЯ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН	179
Корнев С.А. ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ОТТОКА КУРЬЕРОВ В СФЕРЕ ДОСТАВКИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ	185
Литвинова С.Д. РАЗРАБОТКА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ ИГР В СРЕДЕ UNITY	191
Пилипенко И.С. УСИЛЕНИЕ ТЕОРЕМЫ ДЗЯДЫКА О РАВЕНСТВЕ ТРЁХ ПЛОЩАДЕЙ	196
Седых М.О. ПОДСИСТЕМА ОЦЕНКИ И АНАЛИЗА ЗАПРОСОВ В ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЯХ ОБУЧАЮЩЕГО WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ «ЯЗЫК SQL В СУБД MS SQL SERVER»	201
Щегильский А.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИКИ ИГРОВЫХ ОБЪЕКТОВ В СРЕДЕ UNITY	206

Биологические науки

УДК 577.3.0

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ БИОТЕСТИРОВАНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Аникина Е.А.

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

Аннотация. В работе изучена актуальность применения метода биотестирования при оценке состояния поверхностных природных вод. Рассмотрены примеры применения тест-объектов различных уровней организации (от фитопланктона до рыб) при оценке степени загрязнения водных объектов. Обсуждается возможность применения стандартных методов биотестирования совместно с флуориметрическими методами, позволяющими выполнять оценку фотосинтетической активности культур фитопланктона, водных растений, а также трофическую активность дафний и других видов зоопланктона. Внедрение экспрессных методов биотестирования позволяют в значительной мере снизить трудоемкость и ресурсозатратность экологического мониторинга.

Ключевые слова: биотестирование, экологический биомониторинг, тест-объект, фитопланктон, зоопланктон.

Введение. При оценке антропогенного воздействия на состояние водных объектов, включая поверхностные воды и донные отложения, применяются различные методы экологического мониторинга. Попадание отдельных токсических веществ, промышленных или бытовых сточных вод оказывает негативное влияние на водные экосистемы, что создает необходимость проведения мониторинга состояния природных водных объектов, разработки методов быстрой оценки и анализа качества природных поверхностных вод. Для решения данных задач, кроме общепринятых физико-химических методов, используются методы биологические, в том числе биотестирование, которое дает возможность определить токсическое действие физических, химических и биологических факторов среды на живые организмы, называемые тест-объектами [5]. Метод не предоставляет информации о наличии и концентрациях индивидуальных токсикантов, однако, дает интегральную оценку качества воды и степени ее опасности для живых организмов, что делает его удобным методом мониторинга водных объектов [5]. Суть метода заключается в использовании биологических объектов (тест-организмов), которые служат своего рода «датчиками» информации о токсичности среды, отражая суммарное токсическое действие всего комплекса загрязняющих веществ в исследуемой среде (пробе) [13]. Таким образом, основная задача биотестирования – установить наличие или отсутствие интегральной токсичности (острого или хронического действия) [1].

Целью настоящей работы является определение актуальности применения метода биотестирования при оценке состояния природных водных объектов.

Методы биотестирования регламентированы рядом нормативных документов (например, Р 52.24.809-2014, ФР.1.39.2007.03223 и т.д.) и применяются при проведении контроля за соблюдением нормативов допустимых сбросов химических веществ в водные объекты, нормативов допустимых воздействий хозяйственной и иной деятельности на водные объекты, осуществлении экологического мониторинга за состоянием водных объектов в районах расположения источников антропогенного воздействия, проведении оценки изменения состояния водных экосистем и биоценозов. В процессе биотестирования у тест-организмов наблюдают и оценивают их тест-

функции – реакции тест-объектов, используемые для определения токсичности тестируемой среды. В качестве примера распространенных тест-объектов можно привести различные культуры фитопланктона. Для быстрой диагностики состояния микроводорослей развиваются современные методы регистрации флуоресценции хлорофилла, позволяющие получать информацию о количестве и активности фототрофных организмов, а также по характеристикам состояния фотосинтетического аппарата оценивать физиологическое состояние клеток и судить о качестве водной среды. Флуоресцентный метод оценки концентрации хлорофилла и, соответственно, обилия водорослей нашел широкое применение в экологии и гидробиологии, как при работе с интактными водорослями, так и с экстрагированными из них растворами пигментов [11].

Существует широкий спектр разнообразных методов биотестирования, использующихся для разных целей, таких как: исследование эффектов комбинированного действия токсикантов, контроль над качеством вод хозяйствственно-питьевого назначения, промышленных и сточных вод, определение токсичности природных вод. Достоинствами метода биотестирования являются скорость, возможность моделирования условий при проведении тестов, а также повторяемость и сопоставимость результатов за счет определенной устойчивости тест-организма к токсичным веществам в стандартных условиях проведения теста. Недостатком метода биотестирования является возможность маскировки токсиканта компонентами среды, на которой культивируется сам тест-объект. Поэтому, для изучения токсичности природных компонентов трудно выделить один необходимы тест-организм. В связи с этим, сформировался принцип «батареи биотестов, включающей несколько методик биотестирования с применением разных организмов [7]. Одна и даже проба на тест-организмы может оказывать разное воздействие. Это связано с жизнедеятельностью различных видов тест-объектов, взятых для проведения биотестирования. Поэтому использование набора тест-объектов является основой методологии биотестирования токсичности вод при разработке нормативов токсичности отдельных веществ для водных объектов, гигиенических нормативов питьевых вод, при оценке токсичности отдельных химических веществ, сточных, природных поверхностных и подземных вод [2]. Однако результаты биотестирования при использовании набора тест-объектов нередко имеют неоднозначный характер, что затрудняет оценку токсичности как пробы, так и в целом водного объекта.

Применение различных тест-объектов при оценке состояния водной среды. На сегодняшний день, метод биотестирования является основным при планировании экологических исследований, и часто подразумевает использование нескольких тест-организмов различной систематической принадлежности, позволяющих выявлять наиболее уязвимое звено биоты [8].

В качестве тест-объектов могут быть использованы культуры зелёной водоросли (*Chlorella vulgaris* Beijer), высшие водные растения элодея канадская *Elodea canadensis* и ряска малая *Lemna minor*, а также ракообразные *Daphnia magna* [13]. Для изучения состояния растений, кроме показателей скорости прироста, определяют параметры замедленной и быстрой флуоресценции. В роли токсикантов могут выступать ионы тяжёлых металлов, которые добавляются в тестируемые образцы в форме растворов сульфатов. В ходе экспериментов была установлена высокая чувствительность водорослей *Chlorella vulgaris* к тяжёлым металлам, воздействие которых проявлялось в концентрациях, близких к предельно-допустимым. Высшие водные растения ряска и элодея показали более низкую чувствительность к присутствию в среде тяжёлых металлов. Для этой группы гидробионтов флуоресцентный метод может быть применён для выявления устойчивых видов с целью их использования для фиторемедиации загрязнённых вод. Измерение показателя быстрой флуоресценции хлорофилла хлореллы при определении трофической активности дафний сделало возможным увеличение чувствительности и оперативности

этого биотеста по сравнению с методом регистрации смертности раков [13]. Кроме культуры *Chlorella vulgaris*, распространенным тест-объектом является другой вид зеленых микроводорослей *Scenedesmus quadricauda*. Например, данный вид использовали при биотестировании состояния водоема В – 11 Теченского каскада [3]. На основе тестируемой воды готовили среду Пратта и добавляли суспензию клеток водорослей. Численность водорослей в начале биотестирования во всех емкостях была одинаковой. По результатам эксперимента при культивировании водорослей в пробах воды, отобранный на пяти станциях из водоема В – 11, наблюдалось достоверное увеличение численности водорослей в 2 – 4 раза по сравнению с контролем. Таким образом, пробы воды оказывали стимулирующее действие на развитие фитопланктона, вызывая увеличение численности водорослей, что может быть обусловлено повышенным содержанием биогенных веществ в воде.

Кроме дафний, при биотестировании часто используют раков *Ceriodaphnia affinis*. В качестве более сложного тест-объекта нередко выбирают пресноводные рыбы данио рерио (*Brachydanio rerio*) [11]. Методика определения острой токсичности основана на сравнении выживаемости рыб в тестируемой воде и контроле, где показателем выживаемости служит среднее количество тест-организмов, выживших в тестируемой воде за определенный промежуток времени. Методика предусматривает работу не только с поверхностными водами, но и с донными вытяжками, как, например, показано в работе [4].

Варьирование выбора тест-организма в значительной степени расширяет возможности применения метода биотестирования. Однако, необходимо также учитывать степень чувствительности каждого тест-организма к отдельным видам загрязнителей, кроме того, на результаты экспериментальных данных влияют условия выращивания культур. Биотестирование выполняется не только на пресноводных, но и на морских тест-объектах. Примером может служить культура морских водорослей *Thalassiosira weisflogii*, которая обладает чувствительностью к солям тяжелых металлов [6]. Так, соли ртути приводили к снижению переменной флуоресценции хлорофилла F_v/F_m . Такой же эффект наблюдался при действии соединений ртути в темноте, которые вызывали снижение активности фотосистемы 2 (ФС 2) в клетках водорослей. В темноте хлорид ртути в концентрации 10^{-6} М не влиял на активность ФС 2 в клетках *Thalassiosira weisflogii*, а снижение активности центров ФС 2 происходило только через несколько суток. Это показывает высокую чувствительность ФС 2 диатомовой водоросли к действию хлорида ртути и метилртути. Полученные результаты подтверждают, что методы регистрации флуоресценции хлорофилла вполне возможно использовать для обнаружения действия тяжелых металлов на водоросли и служить составной частью системы экологического мониторинга состояния морских и пресноводных акваторий.

На ряду с лабораторными культурами при биотестировании используют штаммы дикого типа, выделенные из фитопланктона сообществ исследуемых водных объектов. Например, оценку состояния озера Копа проводили с использованием штамма дикого типа зеленой одноклеточной водоросли *Chlorella* sp.-3К [9]. Критерием оценки качества воды являлись показатели роста микроводоросли в пробах испытуемой воды. Биотестирование включало приготовление контрольных и опытных сред, внесение в них клеток тест-организма, изучение динамики роста клеток в течение 8 дней и сравнительный анализ полученных данных. Для исследования озерную воду разбавляли дистиллятом в соотношении 1:2, а также изучали пробы в исходном состоянии. В разбавленной пробе на вторые сутки отмечалось незначительное увеличение числа клеток дикого штамма *Chlorella* sp.-3К. Однако, в последующие сутки роста клеток не наблюдалось. В натурной пробе роста клеток не наблюдалось в течение всего эксперимента. По полученным данным был сделан вывод о присутствии химических

загрязнителей, которые оказывали прямое воздействие на рост дикого штамма *Chlorella* sp.-3K.

Заключение. Анализируя результаты проведенных исследований, можно сказать, что метод биотестирования можно применять для оценки качества и токсичности природных и поверхностных вод. Большое количество доступных тест-объектов значительно расширяет возможности применения биотестирования, позволяя разносторонне оценивать негативное воздействие различных видов загрязнения водной среды. Значительная часть методик отличается простотой выполнения, а тест-объекты не требуют особых условий культивирования, что делает биотестирование общедоступным и менее трудоемким методом.

Статья публикуется в рамках госзадания 124012400344-1 «Разработка интеллектуальных систем анализа и прогнозирования состояния природно-технических объектов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакаева, Е. Н. Гидробионты в оценке качества вод суши / Е. Н. Бакаева, А. М. Никаноров. – Москва: Наука, 2006. – 237 с.
2. Бакаева, Е. Н. Методическая база биотестирования в мониторинге качества вод / Е. Н. Бакаева, И. В. Коваленко // Водные ресурсы в условиях глобальных вызовов: экологические проблемы, управление, мониторинг: Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. В 2-х томах, Ростов-на-Дону, 20–22 сентября 2023 года. Том 2. – Новочеркасск: ООО "Лик", 2023. – С. 27-33.
3. Белоногова, С.П., Сафонова Е.В., Духовная Н.И., Коломиец И.А., Тряпицына Г.А., Пряхин Е.А. Биотестирование воды водоема В-11 Теченский каскада водоемов (Челябинская область) с использованием водорослей и семян латука // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы: Борок, 11-16 октября 2008 г. – Борок, 2008. С 6-9.
4. Горгуленко, В. В. Экотоксикологическая оценка воды и донных отложений Новосибирского водохранилища / В. В. Горгуленко, Л. В. Яныгина // Водные ресурсы. – 2014. – Т. 41, № 3. – С. 284. – DOI 10.7868/S0321059614030067.
5. Задорожная, О.А. Потенциометрические мультисенсорные системы для определения токсичности водных сред в шкалах биотестирования. Диссертация. – Санкт – Петербург. 2016. – 120 с.
6. Использование флуоресценции хлорофилла «а» для биотестирования водной среды / В. А. Осипов, Г. М. Абдурахманов, А. А. Гаджиев [и др.] // Юг России: экология, развитие. – 2012. – Т. 7, № 2. – С. 93-100.
7. Олькова, А. С. Актуальные направления развития методологии биотестирования водных сред / А. С. Олькова // Вода и экология: проблемы и решения. – 2018. – № 2(74). – С. 40-50. – DOI 10.23968/2305-3488.2018.2.40-50.
8. Олькова, А. С. Разработка стратегии биотестирования водных сред с учетом многофакторности ответных реакций тест-организмов: специальность 03.02.08 "Экология (по отраслям)": диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук / Олькова Анна Сергеевна, 2020. – 359 с.
9. Онерхан, Г. Биотестирование загрязненности озера Копа с помощью клеток *Chlorella* sp.-3K / Г. Онерхан, Ш. Н. Дурмекбаева, Н. П. Ахметова // Вестник науки и образования. – 2019. – № 18(72). – С. 25-28.
10. Осипов, В. А. Зависимость флуоресцентных параметров микроводорослей от факторов среды, включая антропогенные загрязнения: специальность 03.00.1603.00.02 : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Осипов Владимир Алексеевич. – Москва, 2006. – 22 с.
11. Оценка физиологической полноценности питьевой воды методом биотестирования / В. В. Гончарук, О. В. Зуй, Л. А. Мельник [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. – 2021. – Т. 29, № 1. – С. 35-41. – DOI 10.15372/KhUR2021275.
12. Рубин, А. Б. Биофизические методы в экологическом мониторинге. б.м.: Соросовский образовательный журнал. 2000. – 7 с.
13. Флуоресценция хлорофилла в оценке воздействия соединений тяжелых металлов на водные организмы / Г. А. Сорокина, Т. Л. Шашкова, М. А. Субботин [и др.] // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. – 2021. – Т. 36. – С. 24-36. – DOI 10.26516/2073-3372.2021.36.24.

APPLICATION OF BIOTESTING METHODS IN ASSESSING THE STATE OF AQUATIC ECOSYSTEMS

Annotation. The paper examines the relevance of using the biotesting method in assessing the state of surface natural waters. Examples of the use of test facilities at various levels of organization (from phytoplankton to fish) in assessing the degree of pollution of water bodies are considered. The possibility of using standard biotesting methods in conjunction with fluorimetric methods is discussed, which make it possible to evaluate the photosynthetic activity of phytoplankton cultures, aquatic plants, as well as the trophic activity of daphnia and other zooplankton species. The introduction of rapid biotesting methods can significantly reduce the complexity and resource consumption of environmental monitoring.

Keywords: biotesting, ecological biomonitoring, test object, phytoplankton, zooplankton.

Anikina E.A.

Scientific adviser: Chufitsky S.V., senior lecturer

Donetsk State University

E-mail: elizavetaalexandrovna2505@yandex.ru, chufitskyisergey@yandex.ru

УДК 577.3

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЙ АППАРАТ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

Антропова Л.П.

Научный руководитель: Чуфицкий С.В., старший преподаватель
ФГБОУ ВО «ДонГУ»

Аннотация. В работе представлен обзор источников информации, посвященных изучению влияния различных антропогенных и природных факторов на состояние фотосинтетического аппарата высших растений. Основное внимание уделено изучению воздействия загрязнения воздушной среды и почвы, температуры, влажности и других экологических факторов на функциональное состояние и продуктивность фотосинтетического аппарата, а также на адаптационные механизмы древесных растений в условиях стресса. Рассматриваются изменения пигментного состава листьев и параметры флуоресценции хлорофилла (F_v/F_m , Y(NPQ), Y(NO)) как индикаторы степени антропогенной нагрузки.

Ключевые слова: древесные растения, фотосинтетический аппарат, флуоресценция, антропогенное воздействие, природные факторы.

Введение.

Фотосинтез – это один из важных и чувствительных процессов, в ходе которого древесные растения преобразуют солнечную энергию в химическую, обеспечивая тем самым своё существование [1]. Исследование фотосинтетических процессов, включая фотопигментный состав и процесс флуоресценции, необходимо для понимания адаптационных механизмов растений, особенно в условиях антропогенной нагрузки, таких как городская среда [2].

Пигменты, такие как хлорофилл и каротиноиды, играют ключевую роль в поглощении света и осуществлении фотосинтетических реакций. Пигменты могут служить биомаркерами для оценки состояния здоровья деревьев и экосистем в целом [3].

Флуоресценция хлорофилла является важным параметром, который позволяет оценивать функциональное состояние фотосинтетического аппарата растений, предоставляя ценные данные о физиологических показателях растений и их способности, адаптироваться к изменениям окружающей среды [4]. В основе флуориметрического метода лежит регистрация слабой флуоресценции хлорофилла, которая является результатом процессов фотосинтеза и напрямую связана с его эффективностью [5]. Особую значимость метод флуоресцентного анализа приобретает в условиях усиливающейся антропогенной нагрузки на экосистемы [6].

В городских условиях растения подвергаются воздействию множества факторов, которые могут влиять на фотосинтетический аппарат. К основным природным факторам относятся температура, освещённость, влажность воздуха и почвы. Недостаток влаги вызывает закрытие устьиц, что приводит к снижению поступления CO_2 и, соответственно, к уменьшению фотосинтетической активности [20]. При повышенных температурах и интенсивном освещении происходит денатурация фотосинтетических белков, уменьшается содержание хлорофилла [7, 8].

В последние годы особое внимание уделяют изучению воздействия загрязнения окружающей среды, вызванного сельскохозяйственными и промышленными предприятиями, автотранспортом, применением химических веществ для борьбы с вредителями и т.д. Загрязнение воздушной среды летучими органическими соединениями, тяжёлыми металлами, углекислым газом, соединениями оксида азота (NO_x) и диоксида серы (SO_2) негативно влияют на состояние фотосинтетического аппарата растений, что проявляется в изменении параметров флуоресценции [9, 10].

Понимание механизмов воздействия факторов окружающей среды на фотосинтетический аппарат древесных растений важно для разработки стратегий сохранения и восстановления растительных сообществ, а также для оценки их устойчивости к различным стрессовым факторам.

Таким образом, цель данной работы заключается в проведении анализа и систематизации литературных данных о влиянии различных природных и антропогенных факторов на состояние фотосинтетического аппарата высших растений.

Влияние природных и антропогенных факторов.

Многочисленные исследования позволили выявить ключевые механизмы адаптации растений к изменяющимся условиям окружающей среды [11, 12]. Однако полученные данные часто противоречивы и зависят от видовых особенностей деревьев, а также от специфики мест их произрастания.

Плугатарь Ю.В. и соавт. [13] изучали засухоустойчивость видов рода *Quercus* L. при различных сочетаниях температур и влажности воздуха: 1) температура 27°C, влажность воздуха 40%; 2) температура 35°C, влажность воздуха 25%. В качестве объекта исследования использовали четыре вида деревьев: дуб каменный (*Quercus ilex* L.), дуб пушистый (*Quercus pubescens* Willd.), дуб скальный (*Quercus petraea* Matt. Liebl) и дуб черешчатый (*Quercus robur* L.). При изучении изменения количества хлорофилла в листьях представителей рода *Quercus* L. было выявлено, что атмосферная засуха приводит к снижению количества фотосинтетических пигментов до минимальных значений. Было отмечено снижение максимальной и вариабельной флуоресценции на 40%, что авторы характеризуют как глубокий стресс. Наименьшую засухоустойчивость фотосинтетического аппарата имели виды *Q. pubescens* и *Q. petraea*. При температуре 35°C и влажности воздуха 25% происходило снижение фотосинтетической эффективности световой фазы фотосинтеза. Вид *Q. ilex* является наиболее засухоустойчивым, он отличался высоким уровнем водоудерживающих сил, в следствие чего фотосинтетический аппарат стабильно функционировал.

В исследовании Болондинского В. К. [14] было изучено влияние температуры и влажности воздуха, а также освещённости на фотосинтез берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) и берёзы карельской (*Betula pendula* Roth var. *carelica* Mercklin). Для однолетних саженцев берёзы повислой оптимальная температура была в диапазоне 10-17°C, а для четырёхлетних – 14-27 °C. Для берёзы карельской температурный оптимум составлял 5-14 °C для саженцев и 13-24 °C для четырёхлетних деревьев. Температурный диапазон как для однолетних, так и для четырёхлетних деревьев карельской берёзы меньше, чем для берёзы повислой, однако смешён в область низких температур. Такое явление свидетельствует об акклиматизации фотосинтетического аппарата растений к изменениям окружающей среды. *B. pendula* var. *carelica* более чувствительна к дефициту водяного пара, уменьшая потерю влаги путем ограничения транспирации, вследствие чего, уменьшалась фотосинтетическая активность по сравнению с *B. pendula*. У *B. pendula* световой оптимум был выше, в сравнении с более теневыносливой *B. pendula* var. *carelica*. Авторы заключают, что *B. pendula* var. *carelica* более адаптивный вид благодаря своей способности существовать в условиях слабой затененности и возможности лучше переносить периоды засухи.

Изучалось [21] влияние водного стресса на фотосинтез и фотосинтетическую цепь переноса электронов в растениях яблони садовой (*Malus domestica* Boring. cv. Red Fuji). В ходе исследования было выявлено, что максимальный квантовый выход (F_v/F_m) при всех трех видах засушливого стресса (лёгкий, умеренный и сильный) значительно снизился по сравнению с контролем после 33-дневного эксперимента. После регидратации в течение 14 дней F_v/F_m листовых пластинок яблони при лёгком и умеренном стрессе может восстановиться почти до контрольного уровня, в то время как

F_v/F_m при сильном уровне стресса не восстановился. Кроме того, существенно снизились показатели фотохимического преобразования (ФPSII) и линейного потока электронов (qP и qL) в ответ на продолжительный усиленный засушливый стресс. Помимо этих параметров, повысился уровень нефотохимического тушения (NPQ) и снизился уровень максимальной флуоресценции (F_m). Увеличение квантового выхода регулируемой диссипации энергии ($Y(NPQ)$) является защитным механизмом для поддержания нормального фотосинтеза у растений. Однако увеличение квантового выхода нерегулируемого рассеяния энергии ($Y(NO)$) отражает фотоповреждение растений. Данные результаты были признаком необратимого обезвоживания клеток и нарушения метаболизма.

Чешские учёные исследовали воздействие засухи на фотосинтез семи видов деревьев [22]: клён полевой (*Acer campestre* L.), клён остролистный (*Acer platanoides* L.), граб обыкновенный (*Carpinus betulus* L.), ясень высокий (*Fraxinus excelsior* L.), магалебская вишня (*Prunus mahaleb* L.), дуб черешчатый (*Q. robur*) и липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.). Для измерения параметров были взяты живые листья произрастающие на световой части кроны, по одному листу с каждого дерева. У разных видов наблюдалась разная концентрация хлорофилла. Наибольшее содержание хлорофилла было у *Q. robur*, чуть меньше было у *T. cordata* и у двух видов *Acer*. У *C. betulus* было наименьшее количество хлорофилла в листьях. Самый высокий линейный поток электронов (linear electron flow – LEF) был обнаружен у *Q. robur*, самый низкий – у *C. betulus* и *T. cordata*. После прекращения засушливого сезона показатель $Y(NPQ)$ у всех видов деревьев не изменялся, за исключением *T. cordata*. Во время сезона дождей наименьшее значение $Y(NO)$ было у *C. betulus* и у двух видов клена, наибольшее – у *Q. robur*. Во время засухи данный показатель снижался у всех видов. После периода засухи $Y(NO)$ оставался одинаковым у всех видов, кроме *T. cordata*. На основании полученных результатов исследователями были определены засухоустойчивые и потенциально уязвимые к засухе древесные виды. *T. cordata* оказался потенциально уязвимым к засухе видом из-за своей изогидрии и неспособности поддерживать повышенную скорость рассеивания избыточной энергии безвредным способом. В качестве засухоустойчивых древесных видов были отмечены *A. campestre*, *C. betulus*.

В работе Ростунова А. А. и др. [15] исследовалось влияние техногенных загрязнений на физиологические показатели листьев липы мелколистной (*T. cordata*), тополя дрожащего (*Populus tremula* L.), ивы ломкой (*Salix fragilis* L.) и ивы белой (*Salix alba* L.), произрастающих на территориях с различной степенью загрязнения. Опытной группой считали растения, произрастающие на территории старого полигона твёрдых бытовых отходов, завода по производству строительных смесей и машиностроительного завода. Степень загрязнения оценивали по содержанию тяжёлых металлов в почве. Результаты исследования показали, что у всех видов деревьев площадь листьев на загрязнённых участках была значительно меньше, чем у контроля. Также на листьях были некротические повреждения, особенно у *P. tremula*. С ростом степени загрязнённости у всех видов уменьшалась оводнённость клеток, выросла общая зональность и в листьях были обнаружены нарушения в пигментном комплексе. В листьях липы мелколистной, ивы белой и ивы ломкой существенно возрастало количество каротиноидов, что свидетельствует о повышении адаптационной способности растений в условиях сильного загрязнения поллютантами и коррелирует со снижением содержания воды в листовых пластинках. Наиболее неприспособленным видом оказался *P. tremula*.

Орехов Д. И. и соавт. [16] оценивали физиологическое состояние листовых пластинок липы мелколистной (*T. cordata*), берёзы повислой (*B. pendula*) и туи западной (*Thuja occidentalis* L.) в городских условиях путём регистрации кинетики индукции флуоресценции хлорофилла. Контрольные растения произрастили на территории

ботанического сада. К опытной группе относили растения в районе электростанции и вдоль городского шоссе. Листья собирали с нижних ветвей кроны, исследования проводились неинвазивно. Показатель F_v/F_m снижался для всех видов, произрастающих в районах с антропогенной нагрузкой. Особенно данный показатель был низок для берёз, растущих рядом с электростанцией. Среди экспериментальных видов самым чувствительным к антропогенной нагрузке оказался *T. cordata*. У растений опытной группы снижение отношения F_v/F_m составило 10% для *T. occidentalis*, 12% для *B. pendula* и 20% для *T. cordata*. Индекс продуктивности (PI_{abs}), который является комплексным показателем функциональной активности фотосистемы II, был ниже для растений, произрастающих вдоль автомагистрали относительно контроля: на 17% для *B. pendula*, на 22% для *T. occidentalis* и на 51% для *T. cordata*. Параметр F_v/F_o , отражающий эффективность использования энергии возбуждения в фотосистеме II, был на 20% ниже для *T. occidentalis* и *B. pendula* и на 29% для *T. cordata*. Исследователями было рекомендовано использовать приведённые параметры индукции флуоресценции хлорофилла для раннего выявления антропогенной нагрузки на растения.

В работе Белова Т. А. [17] оценивалось влияние антропогенной нагрузки на пигментный состав листьев берёзы повислой (*B. pendula*). Участком для сбора материала был выбран широколиственный лес на севере города, произрастающий рядом с жилыми кварталами. Листья собирали со случайных деревьев по мере удаления от дороги каждые 10 метров. Было выявлено, что фотопигменты берёзы крайне чувствительны к выхлопам автотранспорта, а именно к тяжёлым металлам. Тяжёлые металлы, проникая в листовые пластинки, вызывали нарушения молекулярного состава пигментов. При сравнении хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов было обнаружено, что наиболее чувствительным является хлорофилл *a*. Другие пигменты брали на себя функции хлорофилла *a*, пытаясь компенсировать его недостаток. Лишь на расстоянии 400 метров от дороги концентрация хлорофилла *a* в листовых пластинках стала возрастать и превосходить концентрацию хлорофилла *b*. При высокой концентрации тяжёлых металлов наблюдался антагонизм элементов – магний, играющий важную роль в хлоропластах растений, заменялся другими элементами, из-за чего нарушались основные функции пигментов. Деревья, произрастающие вдоль дороги, имели скучный листовой покров. Причиной данного явления стало большее количество пыли, осевшей на листовые пластинки. Пыль препятствовала нормальному проникновению солнечной энергии, нарушила тепловой обмен и процессы транспирации из-за чего у растений ослабла фотосинтетическая активность. Высокое содержание углекислого газа влияло на процессы дыхания и выделения энергии, вследствие чего интенсивность фотосинтеза снижалась.

В исследовании Чернявской И.В. и др. [18] изучали влияние городской среды на интенсивность фотосинтеза и пигментный состав растений рода *Acer* L.: клён полевой (*A. campestre*), клён ложноплатановый (*Acer pseudoplatanus* L.) и клен сахарный (*Acer saccharinum* L.). Анализ полученных данных показал, что интенсивность фотосинтеза растений в городской среде ниже, чем у растений, произрастающих в ботаническом саду. Было выявлено снижение хлорофиллов *a* и *b* у исследуемых видов. Между концентрациями хлорофиллов и интенсивностью фотосинтеза выявлена корреляционная зависимость. Причинами снижения концентрации пигментов являлись оксиды серы и азота, входящие в состав выхлопных газов автотранспорта, а также осаждение пыли на листовых пластинках, водный стресс и сроки вегетации. В неблагоприятных условиях и осенний период концентрация каротиноидов возрастила, что связано с защитной реакцией фотосистемы растений и сезонными изменениями в листьях. Наиболее подверженными негативному воздействию загрязнения был вид *A. saccharinum*, а наиболее устойчив – *A. pseudoplatanus*.

Параксевопуло М. Ф. и соавт. [19] изучали влияние техногенного загрязнения города на пигментный состав липы мелколистной (*T. cordata*) и яблони сибирской (*Malus*

beccata Borkh). Исследования проводились на растениях, произрастающих в центральном парке города, на двух проспектах и улице. Контрольные образцы отбирались в дендрарии. По полученным результатам было выявлено, что на почти всех исследуемых участках содержание хлорофилла *a* для обоих видов деревьев было больше, чем для контроля на 20-50%. Наиболее содержание хлорофилла *a* было у яблони сибирской, произрастающей на территории центрального парка и превышало контроль на 74 %. Исследователи считают, что в условиях повышенной антропогенной нагрузки, под влиянием газообразных веществ нарушается структура мембран листьев и активизируется процесс высвобождения фотопигмента. С другой стороны, учёные предполагают, что газоустойчивость видов повышается за счёт интенсификации процессов синтеза хлорофилла *a*. В условиях города было выявлено значительное снижение содержания хлорофилла *a* и *b* для обоих видов растений. При изучении содержания каротина в листьях *T. cordata* на всех исследуемых территориях было выявлено повышение пигмента. В результате было установлено, что фотопигментный состав листьев различается, в зависимости от условий произрастания растений. Виды *T. cordata* и *M. beccata* обладают высокой адаптационной способностью к условиям городской среды за счёт того, что их пигментный комплекс может перестраиваться.

Таким образом, многочисленные исследования описывают видоспецифическую реакцию древесных растений на антропогенную нагрузку, что наиболее часто выражается в изменении содержания пигментов в листьях. Вместе с изменением пигментного состава листьев, в качестве показателей степени антропогенной нагрузки, выделяют параметры флуоресценции хлорофилла, в частности F_v/F_m , Y(NPQ) и Y(NO). Параметры флуоресценции хлорофилла и пигментный состав листовых пластинок чувствительны к изменению освещенности, температуры, влажности, содержанию тяжелых металлов, повышению концентрации углекислого газа, оксидов азота и серы, а также запылению воздушной среды. Как правило, исследования выполняются на разных видах, произрастающих в различных природно-климатических условиях, что усложняет систематизацию полученных данных и выделение конкретных индикаторных видов. К видам-индикаторам можно отнести *T. cordata*, данный вид наиболее чувствителен к изменениям окружающей среды. Кроме того, одной из основных помех при проведении исследований является адаптационная изменчивость древесных растений, проявляющаяся даже в рамках одного вида, что приводит к необходимости накопления большого количества данных и увеличению общей выборки исследуемых растений. В таких условиях применение быстрых и информативных методов является перспективным и оправданным.

Исследование выполнено в рамках деятельности молодежной лаборатории «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (№ госрегистрации НИОКР 124051400023-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федулов, Ю. П. Фотосинтез и дыхание растений : учебное пособие для бакалавров, изучающих дисциплину «Физиология и биохимия растений», направления подготовки 35.03.03 Агрохимия и агропочвоведение, 35.03.04 Агрономия, 35.03.05 Садоводство / Ю. П. Федулов, Ю. В. Подушин ; Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2019. – 101 с.
2. Лежнев, Д. В. Измерение флуоресценции хлорофилла древесных растений в городе / Д. В. Лежнев // Студенческая научная весна: Всероссийская студенческая конференция: сборник тезисов докладов, Москва, 01–30 апреля 2021 года. – Москва: Издательский дом "Научная библиотека", 2021. – С. 515-516.

3. Маслова, Т. Г. Функции каротиноидов в листьях высших растений (обзор) / Т. Г. Маслова, Е. Ф. Марковская, Н. Н. Слемнев // Журнал общей биологии. – 2020. – Т. 81, № 4. – С. 297-310. – DOI 10.31857/S0044459620040065.
4. Яковлева, О. В. Использование параметров индукции флуоресценции хлорофилла а для оценки физиологического состояния растений / О. В. Яковлева, С. Н. Горячев // Перспективы развития науки и образования : Сборник научных трудов по материалам XXIII международной научно-практической конференции, Москва, 30 ноября 2017 года / Под общей редакцией А.В. Туголукова. – Москва: Индивидуальный предприниматель Туголуков Александр Валерьевич, 2017. – С. 349-351.
5. Лежнев, Д. В. Измерение флуоресценции хлорофилла древесных растений в городе / Д. В. Лежнев // Студенческая научная весна: Всероссийская студенческая конференция: сборник тезисов докладов, Москва, 01–30 апреля 2021 года. – Москва: Издательский дом "Научная библиотека", 2021. – С. 515-516.
6. Флуоресценция хлорофилла растений как показатель экологического стресса: теоретические основы применения метода / В. С. Лысенко, Т. В. Вардуни, В. Г. Сойер, В. П. Краснов // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 4-1. – С. 112-120.
7. Кононова, Е. П. Влияние света и температуры на сезонные изменения пигментов фотосинтеза у некоторых хвойных растений в городских условиях / Е. П. Кононова, Е. А. Живухина // Механизмы регуляции продукционного процесса растений: от молекул до экосистем: Материалы Международной научной конференции. V чтения, посвященные памяти профессора Ефремова Степана Ивановича, Орёл, 26 ноября 2021 года. – Орёл: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, 2022. – С. 51-58.
8. Влияние температуры почвы и других факторов среды на фотосинтез сеянцев березы повислой / Е. С. Холопцева, С. Н. Дроздов, Т. А. Сазонова, Н. И. Хилков // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. – 2012. – № 8-1(129). – С. 28-31.
9. Влияние атмосферной погоды на микроклимат деревянных насаждений / М. М. Халматов, А. Хожиматов, К. Содиков, С. Э. Солижонов // Научно-практические пути повышения экологической устойчивости и социально-экономическое обеспечение сельскохозяйственного производства : Материалы международной научно-практической конференции, посвящённой году экологии в России, с. Соленое Займище, 18–19 мая 2017 года / Составители Н.А. Щербакова, А.П. Селиверстова. – с. Соленое Займище: Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия, 2017. – С. 110-112.
10. Осепян, Я. Влияние автотранспортных средств на состояние окружающей среды / Я. Осепян, А. А. Кусяпкулова, Н. В. Чернышева // XXIII Всероссийская студенческая научно-практическая конференция Нижневартовского государственного университета, Нижневартовск, 06–07 апреля 2021 года. Том Ч. 1. – Нижневартовск: Нижневартовский государственный университет, 2021. – С. 194-198.
11. Умаева, А. М. Адаптация и влияние условий среды обитания на морфологию и анатомию растений / А. М. Умаева, Э. С. Кацаева // Известия Чеченского государственного университета. – 2021. – № 3(23). – С. 71-76. – DOI 10.36684/12-2021-23-3-71-76.
12. Маженова, С. Т. Индикаторные виды растений на территории парка / С. Т. Маженова // Инновации в сохранении и устойчивом развитии лесных экосистем : Материалы международной научно-практической конференции, приуроченной к 20-летию создания Государственного национального природного парка «Бурабай», пос. Бурабай, 02–05 сентября 2020 года. Том 1. – пос. Бурабай, Акмолинская область, Казахстан: Государственный национальный природный парк «Бурабай» УДП РК, 2020. – С. 74-77.
13. Плугатарь, Ю. В. К вопросу о засухоустойчивости видов рода *Quercus* L. В условиях Южного берега Крыма / Ю. В. Плугатарь, И. Н. Палий, Т. Б. Губанова // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2024. – № 151. – С. 86-92.
14. Болондинский, В. К. Исследование зависимости фотосинтеза от интенсивности солнечной радиации, температуры и влажности воздуха у растений карельской бересклеты и бересклета повислой / В. К. Болондинский // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. – 2010. – № 2. – С. 3-9.
15. Ростунов, А. А., Кончина, Т. А. Влияние техногенных загрязнений на физиологические показатели листьев древесных растений на примере г. Арзамаса // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. – 2016. – Т. 15. – С. 68-79.
16. Орехов, Д. И., Яковлева, О. В., Горячев, С. Н. и др. Использование параметров индукции флуоресценции хлорофилла для оценки состояния растений при антропогенной нагрузке // БИОФИЗИКА. – 2015. – Т. 60. – С. 263-268.
17. Белова, Т. А., Гончарова, Е. Е., Протасова, М. В. Оценка пигментного состава бересклета повислого под влиянием антропогенной нагрузки // Auditorium. – 2023. – № 1 (37). – С. 1-6.
18. Чернявская, И. В., Домрачева, Н. А., Толстикова, Т. Н. Влияние городской среды на концентрацию фотосинтетических пигментов и интенсивность фотосинтеза растений рода *Acer* L // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2021. – № 1 (276).

19. Параксевопуло, М. Ф., Сунцова, Л. Н., Иншаков, Е. М. Изучение пигментного состава некоторых видов древесных растений в условиях техногенного загрязнения города Красноярска // Хвойные бореальной зоны. – 2017. – Т. 35, № 1-2. – С. 54-59.
20. Ciais, P. Carbon and Other Biogeochemical Cycles. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Ed.: T.F. Stocker; D. Qin; G.K. Plattner et al. United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2013. pp. 465-570. – DOI: 10.13140/2.1.1081.8883.
21. Wang, Z., Li, G., Sun, H., Ma, L., Guo, Y., Zhao, Z., Gao, H., Mei, L. Effects of drought stress on photosynthesis and photosynthetic electron transport chain in young apple tree leaves // Biol Open. – 2018. – Vol. 7, no. 11.
22. Urban, J., Matoušková, M., Robb, W., Jelínek, B., Úradníček, L. Effect of Drought on Photosynthesis of Trees and Shrubs in Habitat Corridors // Forests. – 2023. – Vol. 14, no. 8. – P. 1521.

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC AND NATURAL FACTORS ON THE PHOTOSYNTHETIC APPARATUS OF WOODY PLANTS

Annotation. The paper presents an overview of information sources devoted to the study of the influence of various anthropogenic and natural factors on the state of the photosynthetic apparatus of higher plants. The main attention is paid to studying the effects of air and soil pollution, temperature, humidity, and other environmental factors on the functional state and productivity of the photosynthetic apparatus, as well as on the adaptive mechanisms of woody plants under stress. Changes in the pigment composition of leaves and parameters of chlorophyll fluorescence (F_v/F_m , $Y(NPQ)$, $Y(NO)$) are considered as indicators of the degree of anthropogenic load. The need to systematize the data and expand the sample of plants under study in order to increase the reliability of the conclusions, as well as the prospect of using fast and informative methods of analysis, was noted.

Keywords: woody plants, photosynthetic apparatus, fluorescence, anthropogenic impact, natural factors.

Antropova L.P.

Scientific adviser: Chufitsky S.V., senior lecturer

Donetsk State University

E-mail: antropowalilya@yandex.ru, chufitskyisergey@yandex.ru

ПРИМЕРЫ ТЕРАТОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ КАК ИНДИКАТОРНЫЕ СВОЙСТВА РАСТЕНИЙ В ПРОМЫШЛЕННОМ ДОНБАССЕ

Братухина Е.А., Рябцев А.А.

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

Аннотация. В статье представлены результаты собранных примеров фитоиндикационных эффектов с выявлением атипичного полиморфизма растений в нетипичных условиях существования, в том числе в условиях повышенного антропогенного фактора: загрязнения, высокого уровня техногенных нарушений и ведения военных событий на территории Донбасса. Примеры тератогенных эффектов пополняют общую базу информации о растениях-индикаторах в нестабильных экологических условиях Донбасса и в целом Северного Приазовья.

Ключевые слова: тератогенез, Донбасс, фитоиндикация, биомониторинг, оценка загрязнения, полевые исследования, экологический мониторинг.

Выявление геопатогенных зон, территорий с неблагоприятной окружающей средой и зон повышенной геохимической трещинноватости является актуальной задачей для современного Донбасса [1–4] – региона с интенсивной антропогенной нагрузкой [5, 6], требующей всесторонней оптимизации окружающей среды и повышения комфорта проживания в городских условиях [7–9]. Существует устойчивое убеждение, что индикаторные свойства растений позволяют регистрировать и выявлять неблагоприятные факторы воздействия, таким образом являясь датчиками и мониторами для исследователей, которые проводят экологическую экспертизу или оценку качества среды для диагностики жизнеобеспечивающих параметров в, например, местах проживания человека.

Цель работы – представить примеры некоторых изменений в растениях, которые по своим структурно-функциональным особенностям можно диагностировать как аномальные (тератные) и выполняющие функцию сигнала при полевой диагностике техногенно и антропогенно трансформированной среды. Материал собран в городе Донецке в вегетационный период 2024 года, при этом учитывали экотопы разного целевого назначения и разного уровня антропогенного воздействия и силы трансформации.

При выполнении поисковой работы как теоретического, так и практического содержания в период экспедиций, использовали методические наработки уже существующих разработок в Донецком государственном университете [10–13], в том числе касающиеся и непосредственно анализа тератогенных проявлений у растений в условиях промышленно развитого Донбасса [14–17], а также с целью оптимизации и диагностики загрязненных или трансформированных локальных экосистем [18–21]. Использовали метод маршрутно-экспедиционного выезда для экотопов города Донецка и донецкой агломерационной системы [22], а также рекомендации и целевые программы проведения экспертных мероприятий для зон проведения военных мероприятий [23, 24], чтобы также иметь возможность собрать полевой материал для дальнейшего химического анализа с целью аналитического контроля, например, загрязнителей или комплекса неблагоприятных экологических факторов, которые могут скорректировать хозяйствственно-бытовую деятельность в городе и внести свои рекомендации для улучшения микроклиматических характеристик.

В целом, было установлено, что растения сорно-рудеральной фракции урбanoфлоры характеризуются достаточным уровнем морфологической пластиичности,

чтобы можно было проводить эктопическую диагностику по разнице в проявлении признаком отклонения от нормы в архитектонике или деталях строения растений.

Были проанализированы особенности строения двух хорошо представленных родов: вербаскум (коровяк) и тараксакум (одуванчик) как типичные рудеральные элементы в экотопах городских (селитебных), на техногенных объектах, а также в условиях, сформированных резким нарушением растительного и почвенного горизонта в результате военных событий (взрывов). Результаты по структурному представлению об аномальности в строении варбаскума и тараксакума фрагментарно представлены на рисунках 1–4.



Рис. 1 – Варианты строения цветка вербаскума в норме и патологии для анализируемых экотопов Донбасса

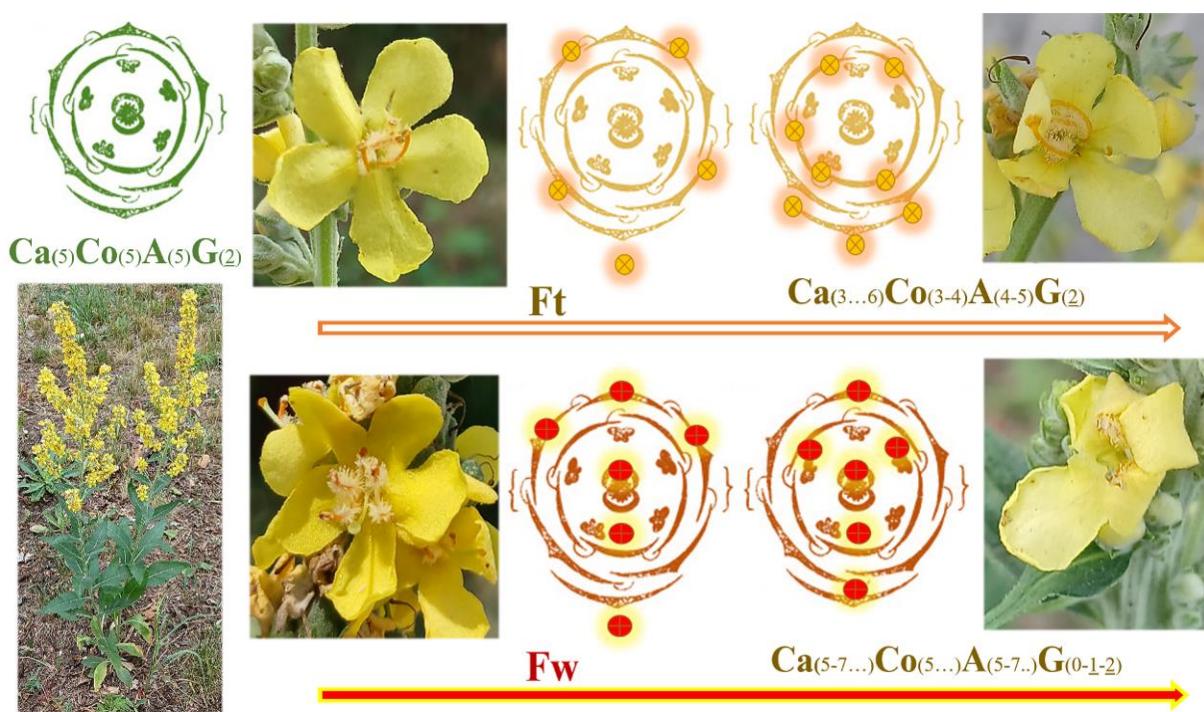


Рис. 2 – Пример формирования трендов патологических преобразований для цветков и соцветий вербаскума по фенотипическим признакам строения и взаиморасположения частей цветка относительно друг друга

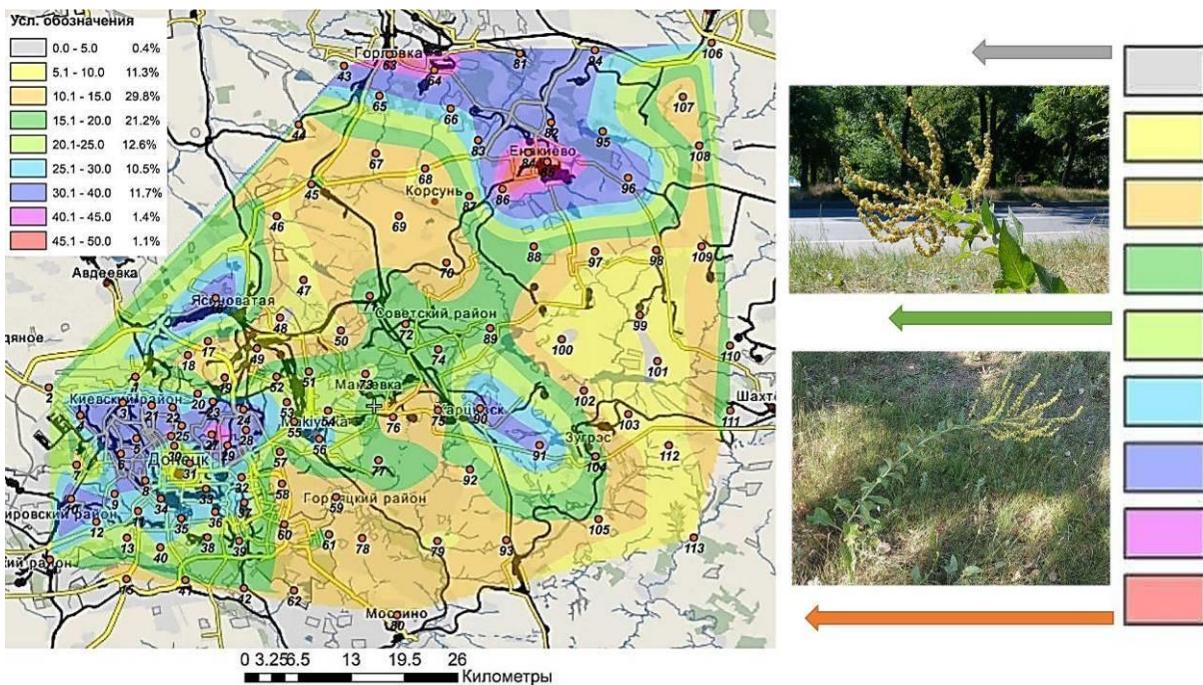


Рис. 3 – Анализ картографического материала по фитотератологии с перспективными дополнениями данных по фитоиндикаторам в 2024 году сбора информации



Рис. 4 – Примеры патологических проявлений соцветия одуванчика по типу фасциации для промышленных и антропогенных экотопов Донбасса в целях проведения экологического мониторинга в регионе

Собранная информация является дополнением к уже существующей базе данных по нетипичным проявлениям в строении растений, используемых для экологического

мониторинга и экологического контроля благоприятных зон в целях оптимизации нарушенных и(или) деградированных экосистем.

При анализе структур пользовались программой статистического учета, количественные признаки, нанесенные на карту, также были учтены при составлении общей картосхематической модели факторов полемостресса или техноегнеза в донецкой агломерационной системе. В перспективе разработок у нас определение функциональных статусов этих растений с точки зрения физиологической нормы, интересным также представляется вопрос изменения микроструктур растений в результате трансформации ценопопуляционных жизненных стратегий. Это может представлять как теоретический, так и практический интерес проведенного научного эксперимента по фитодиагностике экосистем Донбасса.

Таким образом, представлены наглядные и обработанные статистически результаты собранных примеров фитоиндикационных эффектов с выявлением атипичного полиморфизма растений в нетипичных условиях существования, в том числе в условиях повышенного антропогенного фактора: загрязнения, высокого уровня техногенных нарушений и ведения военных событий на территории Донбасса. Такие проявления преимущественно территориально совпадают с зонами импакта (непосредственного воздействия) крупных промышленных объектов или локальных воздействий фактора милитаризации в городе и регионе в целом. Примеры тератогенных эффектов пополняют общую базу информации о растениях-индикаторах в нестабильных экологических условиях Донбасса и в целом Северного Приазовья.

Исследование выполнено в рамках темы «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса».

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 KUQQSL.
2. Корниенко В. О. Влияние экологических факторов на физико-механические свойства, морфометрию и аллометрию древесных растений урбоэкосистем (на примере города Донецка): специальность 15.15.00, 2022. – 166 с. – EDN QYUEPJ.
3. Kharchenko N. N. Mechanical resistance of *Quercus robur* L. at the environmental boundary of the species distribution in the steppe / N. N. Kharchenko, V. N. Kalaev, V. O. Kornienko // Earth and Environmental Science, 2021. – Р. 12049. – DOI 10.1088/1755-1315/875/1/012049. – EDN HNQTEI.
4. Патент № 2832866 C1 Российской Федерации, МПК A01G 23/00. Способ оценки механической устойчивости древесных растений в возрасте 26-75 лет в городской среде: заявл. 14.02.2024: опубл. 09.01.2025 / В. О. Корниенко, В. Н. Калаев. – EDN ZSJVCW.
5. Жуков К. О. Изучение параметров качества окружающей среды селитебных ландшафтов как показателей устойчивого развития территории // Региональные эколого-географические и туристско-рекреационные исследования. – Воронеж: ВГУ, 2023. – С. 212-215. – EDN WDRYMK.
6. Епринцев С. А. Геоинформационное моделирование факторов, определяющих экологическую безопасность урбанизированных территорий // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. – 2023. – Т. 2, № 8. – С. 17-22. – DOI 10.23885/2500-123X-2023-2-8-17-22. – EDN VRAUIQ.
7. Корниенко В. О. Ретроспективный анализ антропогенного загрязнения города Донецка. Вибрационно-акустическое зашумление // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2024. – № 1. – С. 93-100. – DOI 10.5281/zenodo.12532574. – EDN TSWEOI.
8. Galaktionova E.V., Safonov A. I. Detailing the method of phytotesting polluted soils by the vulnerability of apical meristems // Bulletin of Donetsk National University. Series A. Natural sciences. – 2025. – № 1, P. 94–100. DOI 10.5281/zenodo.14923403
9. Phytomonitoring in Donbass for Identifying New Geochemical Anomalies / I. I. Zinicovscaia, 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.

10. Федоркина И. А. Анализ риска и функции экологического благополучия по фитоиндикационным данным // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2023. – № 4. – С. 99-105. – EDN LPIQJM.
11. Сафонов А. И. Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций. – Донецк: Издательский дом «ЭДИТ», 2024. – 289 с. – ISBN 978-5-605-24266-6. – EDN QVJSQE.
12. Калинина Ю. С. Рабочая схема ландшафтной индикации в Донецке: дизайн и критерии устойчивости геосистем // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2024. – № 3. – С. 14-23. – DOI 10.5281/zenodo.14531840. – EDN GAKMLH.
13. Сафонов А. И. Стратегии CSR в экологической биодиагностике, экономике предприятий и политике государств // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. – Киров: Вятский государственный университет, 2024. – С. 12-17. – EDN CWMHRW.
14. 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.
15. 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.
16. Сафонов А. И. Тератогенез цветков и соцветий в индикации антропогенной нагрузки // Вестник СКУ им. М. Козыбая. 2024. № 4(64). – С. 66-72. – DOI 10.54596/2958-0048-2024-4-66-72. – EDN NSAUJH.
17. Гермонова Е. А. Геоинформационная визуализация данных по атипичному морфогенезу растений экотопов Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2023. – № 1-2. – С. 13-22. – EDN QECLTU.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. Сафонов Р. А. Разработка маршрутов сбора образцов для экологической фитодиагностики урбогеосистем // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2024. – № 3. – С. 38-44. – DOI 10.5281/zenodo.14532148. – EDN KFZQNX.
23. Галактионова Е. В. Совместные разработки по ризологическому фитотестированию почв в нарушенных биотопах // Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2024. – С. 45. – EDN CGDODP.
24. Гунченко И. А. Полемостресс в Донбассе: постановка эксперимента // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет". 2024. Т. 1, № 16. С. 60-65. EDN IYJHBJ.
25. Алемасова А. С. Экологический мониторинг содержания тяжелых металлов в фитосубстратах индикационной значимости // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель. – Сатка, Челябинская обл.: Принтоника, 2022. – С. 12-19. – EDN TDPMGG.

EXAMPLES OF TERATOLOGICAL EFFECTS AS INDICATOR PROPERTIES OF PLANTS IN INDUSTRIAL DONBASS

Annotation. The article presents the results of collected examples of phytoindicator effects with the identification of atypical polymorphism of plants in atypical conditions of existence, including in conditions of increased anthropogenic factor: pollution, high level of man-made disturbances and military events in the territory of Donbass. Examples of teratogenic effects supplement the general database of information on indicator plants in unstable environmental conditions of Donbass and the Northern Azov region as a whole.

Keywords: teratogenesis, Donbass, phytoindication, biomonitoring, pollution assessment, field research, environmental monitoring.

Bratukhina E.A., Ryabtsev A.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, bratukhina91.91@mail.ru

**ЧЕК-ЛИСТ БРИОФИТОВ ДОНБАССА (F-M) ПО ДАННЫМ БРИОТЕКИ
КАФЕДРЫ БОТАНИКИ И ЭКОЛОГИИ ДОНГУ**

Васильева Н.Н.

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

Аннотация. Представлены наглядные образцы и их статистический учет по показателям соответствия в алфавитном распределителе картотеки мохообразных, включая первые буквы по видовому названию: от F до M в латинском эквиваленте. Бриотека кафедры находится в состоянии предельной выносливости своей целостности, поскольку корпус биологического факультета за годы военных событий полностью лишен остекления на кафедре, вся коллекционная продукция три зимы подряд сохраняется в сложных микроклиматических условиях. На сегодня утеряно более 30% коллекции, поскольку показатель влажности и температурный режим не соответствуют требованию для сохранения ценных гербарных и коллекционных ботанических фондов.

Ключевые слова: мохообразные, Донбасс, фитоиндикация, Донецк, экологический мониторинг, диагностика экосистем, биоразнообразие.

Изучение биоразнообразия является ключевой задачей коллектива биологического факультета любого центрального и регионального вуза, при этом наш университет не является исключением [1, 2]. В перспективной группе высших растений обозначены мохообразные как малоизученная в таксономическом отношении группа. В ряду актуальных экологических программ [3] и концепций изучения растений в промышленно напряженном регионе [4–6] мохообразные отличаются как представителями крайне уязвимых и редких видов [7], так и чрезвычайной выносливостью, что оправдывает их частое участие в биомониторинговых программах [8] в качестве тест-организмов [9].

Цель работы – дать статистические данные сохранности коллекции мохообразных Донецкого государственного университета по чек-листву группы названия видов с F по M (в алфавитной последовательности) и иллюстративный материал некоторых из них, которые были получены в результате многолетних сборов формирования и бриотеки и таксономической коллекции в целом.

В свете многочисленных индикационных исследований на территории Донбасса [10–13] и на основании уже накопленного опыта фитодиагностики по ингредиентному составу и морфологическим параметрам мохообразных [14], а также реализуемой возможности сбора растений в условиях урбанистического ландшафта [15–17], были использованы методические рекомендации по организации ботанико-экологического мониторинга в промышленном регионе [18, 19], учебные пособия регионального составительства [20] и научная аспектная деятельность в разделе фитоквантификации [21]. Наиболее полной общей сводкой биоразнообразия считали публикацию 2021 года [22] с выделением таксоноспецифического критерия и экологических закономерностей распределения мохообразных, проявляющих индикационную функцию в регионе [23]. Работа реализована в сопряжении с активностью студенческого научного общества биологического факультета и непосредственно студентов кафедры ботаники и экологии. Использованы также геостратегические сведения об информации в регионе по поводу тератологических эффектов [24] и механизма организации процесса ландшафтной индикации на примере промышленной и городской сред – открытых геосистем, испытывающих высокие уровни трансформирующей антропогенной нагрузки [25].

Нами было проанализировано 38 образцов из сборов 2017–2022 годов, которые находятся в бриотеке кафедры. Состояние большинства образцов критическое, т.к. санитарные нормы хранения коллекционное материала не выдерживаются и требуют

более комфортных условий хранения гербарного образца, в том числе его упаковки. Часть коллекции из этого списка безвозвратно утрачено по состоянию инвентаризационных работ 2024 и 2025 гг.

Наиболее наглядный иллюстративный вариант из чек-листа представлен на следующих рисунках в актуальной работе (рис. 1–4) с указанием видовой принадлежности каждого экземпляра.



Funaria hygrometrica Hedw.



Homalothecium lutescens (Hedw.) Robins.



Homomallium incurvatum
(Schrad. ex Brid) Loeske

Рис. 1 – Варианты спорофитов бриотеки в алфавитном эквиваленте видов F–Н для иллюстративного материала



Hylocomium splendens
(Hedw.) Bruch et al.



Hypnum cupressiforme Hedw.



Leptodictyum riparium (Hedw.) Warnst.

Рис. 2 – Варианты спорофитов бриотеки в алфавитном эквиваленте видов Н–Л для иллюстративного материала



Рис. 3 – Варианты гаметофитов бриотеки в алфавитном эквиваленте видов F-Н для иллюстративного материала из коллекции



Рис. 4 – Варианты спорофитов и гаметофитов бриотеки в алфавитном эквиваленте видов L-М для иллюстративного материала из коллекции

Итоговый чек-лист по родам составлен следующим образом:

- 1) *Funaria* – 7 экземпляров со всеми стадиями развития;
- 2) *Homalothecium* – 4 экземпляра, из которых 3 на стадии гаметофита;
- 3) *Homomallium* – 3 экземпляра с выраженной стадией спорофита;

- 4) *Hylocomium* – 5 экземпляров, из которых 4 на стадии гаметофита;
- 5) *Hypnum* – 7 экземпляров с выраженной стадией спорофита;
- 6) *Leptodictyum* – 5 экземпляров, из которых 3 на стадии гаметофита;
- 7) *Leskeia* – 3 экземпляра с выраженной стадией спорофита;
- 8) *Marchantia* – 4 экземпляра с выраженной стадией спорофита.

В отношении экологической эквивалентности видов: они представлены как видами, доминирующими в брио-сообществах, так и единичными экземплярами, выполняющим роль асеккаторов в геоботаническом анализе при регистрации на нарушенных экотопах и(или) квазиприродных экотопических образований.

Таким образом, нами представлены наглядные образцы и их статистический учет по показателям соответствия в алфавитном распределителе картотеки мохообразных, включая первые буквы по видовому названию: от F до M в латинском эквиваленте. Бриотека кафедры находится в состоянии предельной выносливости своей целостности, поскольку корпус биологического факультета за годы военных событий полностью лишен остекления на кафедре, вся коллекционная продукция три зимы подряд сохраняется в сложных микроклиматических условиях. На сегодня утеряно более 30% коллекции, поскольку показатель влажности и температурный режим не соответствуют требованию для сохранения ценных гербарных и коллекционных ботанических фондов в Донецком государственном университете.

Исследование выполнено в рамках молодежной лаборатории «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (номер госрегистрации 124051400023-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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. С. 179-181. EDN LUJGKG.
2. Сафонов А.И. Итоги многоцелевого изучения биоразнообразия в Донбассе (2015-2022 гг.) // Вестник Тульского государственного университета. Тула: ТулГУ, 2023. С. 120-130. EDN FQNQVV.
3. Корниенко В.О., Хархота Л.В. Мониторинг состояния древесных растений центральной части города Донецка // Самарский научный вестник. 2023. Т. 12, № 2. С. 46-51. DOI 10.55355/snv2023122107. EDN BATLWA.
4. 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.
5. 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.
6. Корниенко В.О. Ретроспективный анализ антропогенного загрязнения города Донецка. Вибрационно-акустическое зашумление // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2024. № 1. С. 93-100. DOI 10.5281/zenodo.12532574. EDN TSWEOI.
7. Сафонов А.И., Морозова Е.И. Редкие виды мохообразных Донецко-Макеевской промышленной агломерации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018. № 1-2. С. 33-43. EDN XRAFBR.
8. Сафонов А.И., Глухов А.З. Фитомониторинг антропогенно измененной среды: формализация терминологии и реализация на практике // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2023. № 3. С. 62-70. EDN NTNOHR.
9. Phytomonitoring in Donbass for Identifying New Geochemical Anomalies / I.I. Zinicovscaia, 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.
10. Мирненко Н.С. Пыльца как тест-система индикации неблагоприятной городской среды (на примере г. Донецка) // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2023. № 3. С. 12-17. EDN JQCOXN.

11. Калинина А.В. Травянистые фитоценозы придорожной территории г. Макеевки // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2023. № 3. С. 6-11. EDN RMXEAQ.
12. Сафонов А.И., Морозова Е.И. Видовое разнообразие мохобразных Донецко-Макеевской промышленной агломерации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2017. № 3-4. С. 24-31. EDN YTCDSM.
13. Аврамова Т.В. Экологические разработки в Донбассе: библиографический учёт и популяризация научных исследований // Научные и технические библиотеки. 2023. № 3. С. 30-42. DOI 10.33186/1027-3689-2023-3-30-42. EDN BLUFHQ.
14. 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.
15. Сафонов Р.А. Разработка маршрутов сбора образцов для экологической фитодиагностики урбогеосистем // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2024. № 3. С. 38-44. DOI 10.5281/zenodo.14532148. EDN KFZQNX.
16. 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.
17. 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 WQEFEU.
18. Safonov A. Ecological scales of indicator plants in an industrial region // BIO Web of Conferences. 2022. Vol. 43. P. 03002. DOI 10.1051/bioconf/20224303002. EDN PUWEGC.
19. Сафонов А.И. Стратегическая потенциализация фитоиндикаторов техногенных загрязнений // Аграрная Россия. 2009. № S1. С. 58-59. EDN TNHVPJ.
20. Сафонов А.И. Специфика подготовки учебно-методической продукции ботанико-экологического содержания для научной библиотеки ДонНУ // Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. Донецк: ДонНУ, 2019. С. 294-297. EDN AZCFDC.
21. Сафонов А.И. Фитоквантификация как информационный ресурс экологического мониторинга Донбасса // Донецкие чтения 2018: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. Донецк: Донецкий национальный университет, 2018. С. 216. EDN YPAMWD.
22. Сафонов А.И., Морозова Е.И. Видовое разнообразие бриобионтов мониторинговой сети Центрального Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2021. № 1-2. С. 39-43. EDN AOINBS.
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, А.И. Сафонов [и др.] // Трансформация экосистем. 2023. Т. 6, № 3(21). С. 22-38. DOI 10.23859/estr-220726. EDN GHVAZY.
24. Гермонова Е.А. Геоинформационная визуализация данных по атипичному морфогенезу растений экотопов Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2023. № 1-2. С. 13-22. EDN QECLTU.
25. Калинина Ю.С. Рабочая схема ландшафтной индикации в Донецке: дизайн и критерии устойчивости геосистем // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2024. № 3. С. 14-23. DOI 10.5281/zenodo.14531840. EDN GAKMLH.

CHECKLIST OF DONBASS BRYOPHYTES (F-M) ACCORDING TO THE BIOTICS DEPARTMENT OF BOTANY AND ECOLOGY OF DONSU

Annotation. Visual samples and their statistical accounting for compliance indicators are presented in the alphabetical distributor of the mossy file, including the first letters of the species name: from F to M in Latin equivalent. The department's library is in a state of extreme endurance of its integrity, since the building of the Faculty of Biology has been completely deprived of glazing in the department over the years of military events, and all collectible products have been preserved in difficult microclimatic conditions for three winters in a row. Today, more than 30% of the collection has been lost, as the humidity and temperature conditions do not meet the requirements for preserving valuable herbarium and collection botanical collections.

Keywords: mossy, Donbass, phytoindication, Donetsk, environmental monitoring, ecosystem diagnostics, biodiversity.

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

ВЛИЯНИЕ ИНВАЗИИ КАШТАНОВОЙ МИНИРУЮЩЕЙ МОЛИ *CAMERARIA OHRIDELLA DESCHKA & DIMIĆ, 1986* (LEPIDOPTERA: GRACILLARIIDAE) НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ КАШТАНА КОНСКОГО ОБЫКНОВЕННОГО (*AESCULUS HIPPOCASTANUM L.*; SAPINDACEAE)
Г. ДОНЕЦКА

Джантимирова А.А.

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

Аннотация. В статье представлена краткая история изучения и распространения охридского минёра *Cameraria ohridella* Deschka & Dimić, 1986 (Lepidoptera: Gracillariidae) на территории Европы и России, рассмотрены основные методы борьбы с инвайдером и выделены наиболее эффективные из них. Установлена взаимосвязь между степенью поражения листовых пластин каштана конского обыкновенного минами охридского минёра и их фотосинтетической активностью. Был представлен перечень паразитоидов каштановой минирующей моли, разведение которых может быть осуществлено с целью сокращения численности фитофага в зелёных насаждениях регионов России, с учётом экологической структуры и нативных видов территории.

Ключевые слова: каштановая минирующая моль, охридский минёр, *Cameraria ohridella*, биоинвазии, Донбасс.

Введение. Происходящие на территории Донбасса изменения климата, способствуют интродукции новых видов древесно-кустарниковых растений, произрастающих в нетропических районах Азии, Северной Америки и Средиземноморья, что обуславливает формирование новых экотопов, не являющихся аборигенными для региона, и становятся первопричиной ускорения инвазионных процессов. Активное использование неаборигенных видов в озеленении города неизбежно влечет за собой появление инвазионных дендрофильных насекомых. Несмотря на то, что удельная доля дендрофильных видов среди инвазионных насекомых относительно мала (в Европе она не превышает 10%), именно они представляют наибольшую опасность для зелёных насаждений региона, обуславливая колоссальный экономический и экологический ущерб [7].

Одним из наиболее агрессивных факторов деградации урбanoфлоры Донбасса в последние годы стало прогрессирующее распространение насекомых-фитофагов, поражающих интродуцированные виды древесных растений. Конский каштан обыкновенный (*Aesculus hippocastanum* L.; Sapindaceae), широко представленный в озеленении населённых пунктов Донбасса, долгое время отличался стойкостью к вредителям и болезням, способным значительно ухудшить состояние дерева.

Однако в последние годы насаждения каштана конского значительно деградировали, что обусловлено появлением в экосистеме охридского минёра *Cameraria ohridella* Desch. & Dem. (Lepidoptera: Gracillariidae), который, из-за своей высокой популяционной плотности, значительно снижает декоративные свойства и ослабляет экологические функции насаждений.

Контроль популяций *C. ohridella*, как опасного фитофага-инвайдера, остаётся нерешенной проблемой как для зарубежной Европы, так и для России, что является предпосылкой организации целенаправленных исследований её биологии, экологии и вредоносности в условиях конкретных регионов с целью разработки научных методов ограничения угнетательной деятельности инвайдера [9].

В связи с этим целью нашей работы было изучение особенностей распространения и биологии охридского минёра, установление взаимосвязи между степенью поражения

листовых пластин и фотосинтетической активности листьев и определение наиболее эффективных методов борьбы с биологической экспансиией *C. ohridella* в зелёных насаждениях Донбасса,

Материалы и методы. Исследования проводили в 2024 году в рамках работы молодежной лаборатории диагностики и прогнозирования экосистем Донбасса. Объект исследования – каштановая минирующая моль *Cameraria ohridella* Desch. & Dem. (Lepidoptera: Gracillariidae), поражающая листовые пластинки конского каштана обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.).

Материал для работы был собран в древесных насаждениях Ворошиловского, Киевского и Кировского районов г. Донецка с июня по август 2024 г. Определялась общая площадь листовых пластинок, площадь мин и относительная площадь поврежденной листовой поверхности. Морфометрию листового аппарата оценивали в программе AxioVision Rel. 4.8. в соответствии с методикой, предложенной сотрудниками кафедры зоологии БГУ [10]. При анализе экспериментальных и контрольных данных древостоев *A. hippocastanum* использовали программу «Excel 2010» (Microsoft Corporation).

Для исследования были отобраны листья *A. hippocastanum*, пораженные *C. ohridella*. В качестве контроля были выбраны растения, не подверженные охридским минером, произрастающие вдоль ул. Артема и пр-кта Гурова. В качестве опытных групп рассматривали растения, произрастающие вдоль ул. Университетской, значительно пораженные *C. ohridella*. Возраст деревьев в городской черте составлял 20–35 лет. Для каждой группы выполняли не менее 16 измерений при помощи флуориметра «HEXAGON-IMAGING-PAM» (Heinz Walz, Германия).

Результаты исследований. Каштановая минирующая моль, или охридский минёр (*Cameraria ohridella* Dechka & Dimić, 1986) – чужеродный для фауны континентальной Европы представитель семейства молей-пестрянок (Lepidoptera: Gracillariidae), внесенный в список 100 наиболее опасных инвазивных видов Европы. Это специализированный фитофаг конского каштана обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.; Sapindaceae), исторически сложившийся ареал которого был ограничен локальными местопроизрастаниями *A. hippocastanum* в горных долинах на Юге и Юго-Западе Балканского полуострова. Впервые вид описали G. Dechka и N. Dimić в 1986 г. по сборам 1984 г. из окрестностей Охридского озера на территории бывшей югославской республики Македония [9].

В 2000-х ареал каштановой минирующей моли значительно расширился, захватив каштановые насаждения в городах Центральной, Восточной и Западной Европы, в том числе в Венгрии, Франции, Греции, Болгарии, Румынии, Италии, Швейцарии, во всех странах бывшей Югославии, в Польше, на западе Англии и Дании.

Высокий уровень численности *C. ohridella*, стабильно поддерживающийся в европейских насаждениях каштана конского, можно трактовать как инвазионную непериодическую волну. В настоящее время охридский минёр внесён в базу данных наиболее агрессивных инвазивных видов в Европе — DAISIE (Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe) [1].

В России фитофаг известен с 2003 года, в декоративных насаждениях конского каштана населённых пунктов Калининградской области *C. ohridella* распространена повсеместно. В 2006 г. очаги поражения каштановой минирующей молью также были выявлены на деревьях каштана конского в дендрарии Главного ботанического сада РАН в Москве, куда, вероятнее всего, охридский минёр был завезён с посадочным материалом из Германии или других стран Европы. В 2009 г. *C. ohridella* была зафиксирована в Ростовской области, в 2010 г. – в Краснодарском крае, а в 2018 г. – на территории Нижнего и Среднего Поволжья [5]. В Крыму впервые отмечена в 2002 г. [11].

Каштановая минирующая моль впервые была отмечена на территории Донбасса в 2006 г., в насаждениях Донецкого ботанического сада присутствует с 2008 г. Несмотря на многолетние исследования, разработка эффективных методов борьбы с вредителем в коллекциях Донецкого ботанического сада не дала положительных результатов [8].

Личинки каштановой минирующей моли развиваются в листьях конского каштана обыкновенного *Aesculus hippocastanum* L. (Sapindales: Sapindaceae) и других видов рода *Aesculus*, широко распространенных в Северной Америке – *Aesculus turbinata*, *A. octandra* и *A. pavia*. Остальные виды и формы каштанов имеют разную степень устойчивости к повреждениям каштановой молью – на *A. chinensis* гусеницы гибнут, достигнув старшего возраста, на *A. indica*, *A. californica* и гибрид конского каштана с *A. carnea* гибель гусениц наблюдается уже на стадии 1-2-го возрастов [4].

Повреждённые охридским минёром участки листовой поверхности утрачивают естественную окраску, после чего некротизируются, становясь бурьими. Интенсивно повреждённые листовые пластиинки (более 70% поверхности листа) досрочно опадают, что ведёт к преждевременной дефолиации крон, которая наблюдается в условиях Донбасса уже с июня, а растения и насаждения в целом постепенно утрачивают свою эстетическую ценность [9]. Ослабленные минёром деревья подвержены инфекционным заболеваниям, например, вызванным *Guignardia aesculi* (Peck) V.B. Stewart 1916 или *Erysiphe flexuosa* (Peck) U. Braun & S. Takam. 2000. Ослабление в результате хронической дефолиации и под влиянием патогенов может приводить к гибели деревьев [4].

Конский каштан обыкновенный, широко представленный в декоративных зелёных насаждениях населённых пунктов Донбасса, особенно подвержен поражению личинок *C. ochridella* из-за климатических условий, благоприятных для развития личинок фитофага. Биоэкологические особенности охридского минёра заключаются в способности к диффузному расселению на стадии имаго, поливольтинизму и невысокой уязвимостью со стороны биотических факторов, что позволило каштановой минирующей моли успешно реализоваться в условиях комплекса антропогенных воздействий Донбасса. Широкое культивирование каштана конского белого на территории региона поддерживает обширную кормовую базу фитофага. В зависимости от климатических условий, *C. ochridella* даёт от двух до пяти генераций в год, продолжительность эмбрионального развития составляет менее двух недель, гусениц (4 возраста) и куколок – около 2-4 недель, соответственно. Куколки последнего поколения зимуют в опавшей осенней листве.

Личинки охридского минёра развиваются внутри камер в толще листовых пластиинок. На стадии I–III возрастов личинки представляют собой так называемых сокоедов; на IV–V они переходят к интенсивному потреблению листовой паренхимы, что сопровождается стремительным ростом площади мин; личинки VI возраста не питаются и прядут колыбельки, в которых происходит их окукливание. Окраска листовых мин изменяется от светло-зеленой – в начале, до бурой – к концу развития личинок, что обусловлено постепенной некротизацией поврежденных участков листовых пластиинок. При высокой плотности фитофага мины могут сливаться, охватывая большую часть листовой поверхности.

Для каштанового минёра характерна зимовка на стадии куколки в опавшей листве внутри мин. Окукливание гусениц может происходить в конце сентября до наступления полной дефолиации, либо гусеницы, которые ещё не закончили развитие, находятся в уже опавших листьях, в этом случае процесс их окукливания осуществляется в начале октября. Важно отметить, что куколки выживают под снежным покровом.

Согласно данным литературы, динамика численности охридского минёра не зависит от количества осадков, суммы эффективных температур и относительной влажности воздуха [5]. Более того, куколки каштановой моли выживают при

температуре от -19 до -23°C, низкие температуры не влияют на нормальное протекание диапаузы и весенний вылет бабочек [2].

Влияние *C. ohridella* на фотосинтетическую активность листьев *Aesculus hippocastanum*. Согласно полученным результатам, показатель квантового выхода флуоресценции (Fv/Fm) в выборке повреждённых листовых пластинок был ниже, чем в выборке неповреждённых листьев каштана конского обыкновенного (рис. 1), причиной чему может быть снижение общего содержания хлорофилла в листовых пластинках, вызванное поражением *C. ohridella*.

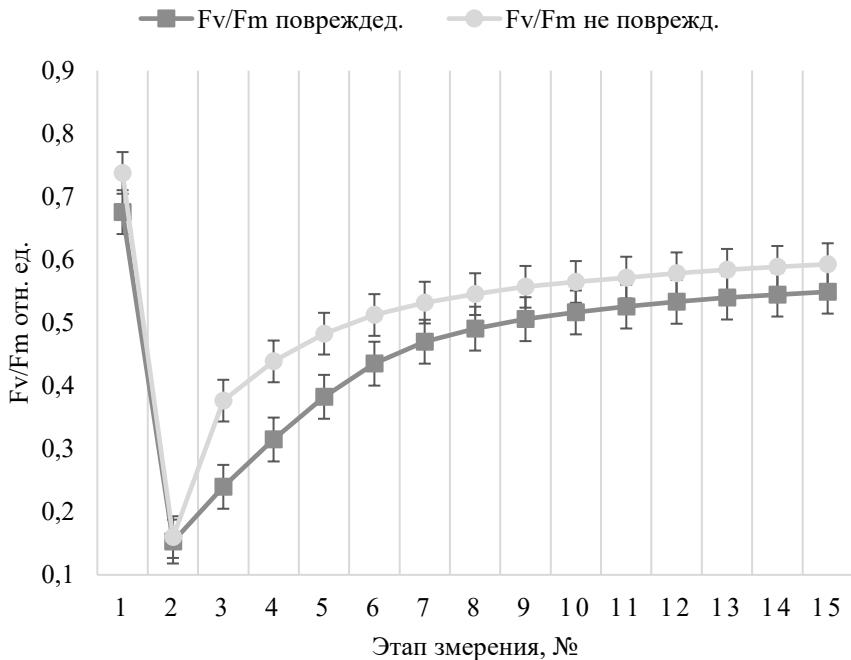


Рисунок 1 – Квантовый выход флуоресценции листьев *Aesculus hippocastanum* L.

Процент поражения листьев опытной группы составил 30-35% от общей площади листовых пластин, что и обусловило снижение фотосинтетической активности листовых пластин, и, как результат, меньший показатель квантового выхода.

Один из возможных методов борьбы с каштановой минирующей молью в дендрофлоре Донбасса – целенаправленное применение аборигенных паразитоидов и естественных врагов фитофага. Во вторичном ареале *C. ohridella* атакуют представители 15 семейств Hymenoptera: Pteromalidae, Eupelmidae, Encyrtidae, Torymidae, Eulophidae, Trichogrammatidae, Mymaridae, Diapriidae, Scelionidae, Platygasteridae, Megaspilidae, Ceraphronidae, Cynipidae, Braconidae и Ichneumonidae.

Изучение источников литературы позволило выявить паразитоидов каштановой минирующей моли, зарегистрированных на территории России, они представлены 68 видами: *Mesopolobus mediterraneus* (Mayr, 1903), *Pteromalus semotus* (Walker, 1834), *Eupelmus microzonus* Foerster, 1860, *E. urozonus* Dalman, 1820, *E. vesicularis* (Retzius, 1783), *Cirrospilus diallus* Walker, 1838, *C. elegantissimus* Westwood, 1832, *C. lyncus* Walker, 1838, *C. pictus* (Nees, 1834), *C. salatis* Walker, 1838, *C. staryi* Bouček, 1959, *C. viticola* (Rondani, 1877), *C. vittatus* Walker, 1838, *D. minoeus* (Walker, 1838), *Elachertus inunctus* Nees, 1834, *E. isadas* (Walker, 1839), *Hemiptarsenus ornatus* (Nees, 1834), *H. wailesellae* Nowicki, 1929, *H. waterhousii* Westwood, 1833, *Pnigalio agraulis* (Walker, 1839), *P. cristatus* (Ratzeburg, 1848), *P. longulus* (Zetterstedt, 1838), *P. mediterraneus* Ferrière & Delucchi, 1957, *P. pectinicornis* (Linnaeus, 1758), *P. soemius* (Walker, 1839), *Sympiesis acalle* (Walker, 1848), *S. dolichogaster* Ashmead, 1888, *S. euspilapterygis* (Erdős, 1958), *S. gordius*

(Walker, 1839), *S. gregori* Bouček, 1959, *S. sericeicornis* (Nees, 1834), *Zagrammosoma talitzkii* (Bouček, 1961), *Z. variegatum* (Masi, 1907), *Achrysocharoides altilis* (Delucchi, 1954), *A. atys* (Walker, 1839), *A. butus* (Walker, 1839), *A. cilla* (Walker, 1839), *A. niveipes* (Thomson, 1878), *A. zweelferi* (Delucchi, 1954), *Chrysocharis elongata* (Thomson, 1878), *Ch. laomedon* (Walker, 1839), *Ch. nautius* (Walker, 1846), *Ch. nephereus* (Walker, 1839), *Ch. nitetis* (Walker, 1839), *Ch. pentheus* (Walker, 1839), *Ch. phryne* (Walker, 1839), *Ch. prodice* (Walker, 1839), *Ch. pubicornis* (Zetterstedt, 1838), *Closterocerus lyonetiae* (Ferriere, 1952), *C. trifasciatus* Westwood, 1833, *Derostenus gemmeus* Westwood, 1833, *D. punctiscuta* Thomson, 1878, *Neochrysocharis formosus* (Westwood, 1833), *Pediobius alcaeus* (Walker, 1839), *P. cassidae* Erdős, 1958, *P. facialis* (Giraud, 1863), *P. metallicus* (Nees, 1834), *P. pyrgo* (Walker, 1839), *P. saulius* (Walker, 1839), *Euderus albitarsis* (Zetterstedt, 1838), *Baryscapus endemus* (Walker, 1839), *B. nigroviolaceus* (Nees, 1834), *Minotetraesticus frontalis* (Nees, 1834), *M. platanellus* (Mercet, 1922), *Pholetesor bicolor* (Nees, 1834), *Ph. circumscriptus* (Nees, 1834), *Scambus calobatus* (Gravenhorst, 1829), *S. brevicornis* (Gravenhorst, 1829) [3].

Согласно литературным данным, интродукция узкоспециализированного коинобиона из первичного во вторичный ареал *C. ohridella* зачастую полностью решала проблемы с инвазионным видом. Альтернативные растения могут выступать важным источником нектара при дополнительном питании паразитоидов. Увеличение разнообразия растений в экосистеме оказывает положительное влияние на значения заражённости минёров паразитоидами отмечен в России Костюковым [6].

Однако, на сегодняшний день из методов борьбы с *C. ohridella* наиболее действенными и относительно простыми в реализации являются регулярный биологический мониторинг и применение физических методов. Физические мероприятия, которые могут значительно снизить плотность популяции охридского минёра, включают в себя осеннюю уборку опавшей листвы, в которой протекает зимовка куколок фитофага, с последующим её сжиганием.

Выходы. Из литературных данных следует, что сохранению и закреплению *C. ohridella* в дендрофлоре Донбасса способствует: поливольтинизм минёра и, как результат, его высокая плодовитость; низкая степень воздействия естественных врагов и паразитоидов фитофага.

Согласно полученным в ходе эксперимента данным, каштановая минирующая моль *C. ohridella* оказывает влияние на фотосинтетическую активность листьев каштана конского обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.), произрастающего на территории г. Донецка, что выражается в снижении квантового выхода флуоресценции. Степень поражения также оказывается на адаптационной способности деревьев и выработке ими новых компенсаторных механизмов в ответ на снижение содержания хлорофилла в листовых пластинках, вызванное поражением каштановой минирующей молью.

Система защиты конского каштана в урбanoфлоре Донбасса должна включать в себя комплекс мероприятий:

- проведение систематизированной уборки листового опада с дальнейшей его ликвидацией во избежание повторного выплода новых генераций фитофага;
- при озеленении территории отдавать большее предпочтение аборигенным видам растений чем интродуцированным, что также повысит устойчивость дендроценозов и к изменяющимся природно-климатическим условиям региона [12-15];
- изучение аборигенной фауны паразитоидов охридского минёра и его естественных врагов с целью биологического контроля вредителя.

Описанные методы решения проблемы биоинвазий целесообразно применять в населённых пунктах, в озеленении которых активно применяют конский каштан обыкновенный. Последний метод борьбы с инвайдером требует проведения специальных исследований, направленных на применение аборигенных видов с учётом динамики и особенностей экосистем региона.

Таким образом, один из основных способов решения проблемы биоинвазий – регулярный биомониторинг древесных насаждений региона с целью своевременного обнаружения новых вспышек распространения инвазивных видов насекомых-фитофагов и разработки эффективных методов борьбы и контроля их численности для сохранения биоразнообразия дендрофлоры Донбасса.

Исследование выполнено в рамках тематики молодежной лаборатории «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (№ госрегистрации НИОКР № 124051400023-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беднова О.В. Охридский минёр *Cameraria ohridella* Deschka&Dimic: Особенности инвазионных очагов и перспективы биологического контроля численности // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2022. №1 [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ohridskiy-miner-cameraria-ohridella-deschka-dimic-osobennosti-invazionnyh-ochagov-i-perspektivy-biologicheskogo-kontrolja> (дата обращения: 30.08.2024).
2. Ермакина А. В., Тарасова А. В., Нечаева О. В., Глинская Е. В. Циркуляция грибов в системе конский каштан обыкновенный (*Aesculus hippocastanum*) - каштановая минирующая моль (*Cameraria ohridella*) на территории г. Саратова // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. – 2023. – Т. 23, № 3. – С. 356-366. – DOI 10.18500/1816-9775-2023-23-3-356-366. – EDN KTWEGD.
3. Ермолов И. В. Паразитоиды (Hymenoptera) как фактор смертности *Cameraria ohridella* Deschka & Dimic, 1986 (Lepidoptera, Gracillariidae) // Российский журнал биологических инвазий. – 2022. – Т. 15, № 2. – С. 18-37. – DOI 10.35885/1996-1499-15-2-18-37. – EDN CQKKSР.
4. Зерова М.Д. Каштановая минирующая моль на Украине / М. Д. Зерова. – Київ: ТОВ «Велес», 2007. – 87 с.
5. Корж Д. А., Трикоз Н. Н. Влияние абиотических факторов на сезонную динамику численности *Cameraria ohridella* Deschka & Dimic в Никитском ботаническом саду // Биология растений и садоводство: теория, инновации. – 2022. – № 3(164). – С. 71-80. – DOI 10.36305/2712-7788-2022-3-164-71-80. – EDN HAGPAD.
6. Костюков В.В. Сообщение второе о паразитах каштановой моли (*Cameraria ohridella* Deschka et Dimic) в России // Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем. Материалы международной научно-практической конференции «Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем». 20–22 сентября 2016 г. Краснодар, 2016. Вып. 9. С. 145–148.
7. Мартынов В.В., Никулина Т.В. Инвазивные и дендрофильные насекомые в насаждениях Донецка. В кн.: Мониторинг и биологические методы контроля вредителей и патогенов древесных растений: от теории к практике: Материалы второй Всероссийской конференции с международным участием. Москва, 18–22 апреля 2016 г. – Красноярск: ИЛ СО РАН, 2016. - С: 133–135.
8. Мартынов В.В., Губин А.И., Никулина Т.В. Наиболее опасные чужеродные беспозвоночные-вредители в коллекциях растений Донецкого ботанического сада. В кн.: Биологическое разнообразие и биоресурсы степной зоны в условиях изменяющегося климата. Материалы Международной научной конференции, посвящённой 95-летию Ботанического сада Южного федерального университета (Ростов-на-Дону, 24–29 мая 2022 г.). Ростов-на-Дону – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2022. – С. 308–316.
9. Рогинский А.С. Каштановая минирующая моль (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimic, 1986) в Беларуси: современное состояние и перспективы исследований / А.С. Рогинский, С.В. Буга // Итоги и перспективы развития энтомологии в Восточной Европе : сборник статей II Международной научнопрактической конференции, 6–8 сентября 2017 г., Минск / редкол.: О.И. Бородин, В.А. Цинкевич. – Минск : А.Н. Вараксин, 2017. – С. 335–342.
10. Синчук О. В. Количественная оценка поврежденности инвазивными минирующими насекомыми листовых пластинок декоративных древесных растений : учеб. материалы / О. В. Синчук, А. С. Рогинский, В. В. Данилёнок, Д. А. Гончаров, А. Б. Трещева. – Минск: БГУ, 2016. – 30 с.
11. Трикоз Н. Н., Иsicков В. П. Сезонное развитие важнейших вредителей и возбудителей болезней в парках Крыма // Бюллетень ГНБС. – 2018 – Вып. 128 – С. 111–122.
12. 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/snv2024131104 EDN: LYEGSZ
13. Корниенко В. О., Калаев В. Н. Механическая устойчивость можжевельника виргинского в условиях степной зоны Восточно-европейской равнины // Лесоведение. – 2024. – № 1. – С. 70-78. DOI: 10.31857/S0024114824010084 EDN: SLLJXY

14. Корниенко В.О., Калаев В.Н. Жизнеспособность дуба черешчатого в условиях города Донецка // Сибирский лесной журнал. – 2024. – № 4. – С. 95-106. DOI: 10.15372/SJFS20240409 EDN: SPLUNB
15. Kharchenko N.N., Kalaev V.N., Kornienko V.O. Mechanical resistance of *Quercus robur* L. at the environmental boundary of the species distribution in the steppe // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – P. 12049. DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/012049 EDN: HNQTEI

THE EFFECT OF THE INVASION OF THE CHESTNUT MINING MOTH CAMERARIA OHRIDELLA DESCHKA & DIMIĆ, 1986 (LEPIDOPTERA: GRACILLARIIDAE) ON THE PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF THE HORSE CHESTNUT (AESCULUS HIPPOCASTANUM L.; SAPINDACEAE) IN DONETSK

Annotation. This article presents a brief history of the study and distribution of the *Cameraria ohridella* Deschka & Dimich, 1986 (Lepidoptera: Gracillariidae) in Europe and Russia, discusses the main methods of invasion control and highlights the most efficient ones. The interrelation between the degree of damage to the leaf plates of the horse chestnut caused by mines of the Ohrid miner and their photosynthetic activity has been established. Was presented a list of parasitoids of the chestnut mining moth, the breeding of which can be carried out in order to reduce the number of phytophages in green areas of Russian regions, taking into account the ecological structure and native species of the territory.

Keywords. chestnut mining moth, Ohrid miner, *Cameraria ohridella*, bioinvasion, Donbass.

Djantimirova A.A.

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

State University

E-mail: a.djantimirova@mail.ru

УДК 581.52 : 502.75 : (477.60)

ВКЛАД СТУДЕНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ КАФЕДРЫ БОТАНИКИ И ЭКОЛОГИИ В РАЗВИТИЕ МОЛОДЁЖНОЙ ЛАБОРАТОРИИ ДОНГУ (2024 Г.)

Дмитриева А.П.

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

Аннотация. Целенаправленная коллективная работа студентов и молодых ученых кафедры ботаники и экологии Донецкого государственного университета была активизирована в 2024 г. в связи с деятельностью молодёжной лаборатории «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (руководитель: В.О. Корниенко). Учеными в их идеологическом рассредоточении были выполнены исследовательские работы для разных природных сред (воздушной, водной, почвенной) при разном уровне их трансформации, подготовлены экспозиционные материалы и разработки социально-образовательного назначения, что существенным образом позволяет констатировать комплексный подход в диагностических процедурах и квантификации среды в том числе под воздействием неблагоприятных факторов военно-политического противостояния.

Ключевые слова: фитоиндикация, Донбасс, квантификация, кафедра ботаники и экологии, экологический мониторинг, молодёжная лаборатория, диагностика экосистем.

Исследовательская задача, поставленная перед студентами и молодыми учеными в рамках сформированной молодёжной лаборатории с 2024 г. была выполнена, очерчены ближайшие перспективы целенаправленных манипуляций для получения актуальный данных в области экологического мониторинга и оценки состояния экосистем Северного Приазовья, в частности – Центрального Донбасса. Анализ успешности и характерного вклада ученых именно кафедры ботаники и экологии специально не был проведен, что в совокупности накопленного опыта представляет собой актуальную задачу и обуславливает выбор темы с демонстрацией некоторых авторских достижений по результатам полевых сборов вегетационного сезона 2024 года.

Цель работы – сгруппировать оригинальные наработки студентов, аспирантов и молодых ученых кафедры ботаники и экологии Донецкого государственного университета в экспериментально-функциональные блоки исследований для комплексного анализа значимости результатов в современных мониторинговых программах диагностического профиля в Донбассе.

Методической базой для получения и обработки информации является аналитический контроль работы лаборатории в ботанико-экологическом направлении, а также библиографический учёт основных публикаций авторов за период 2024 года с последующей смысловой обработкой данных по способам получения сведений, принадлежности к средообразованию (по аналогии с нишами комплектации), внедрения и использования полученной информации.

В хронологической последовательности начало 2024 г. было ознаменовано предоставлением сотрудниками кафедры ботаники и экологии ДонГУ специальной иллюстративной информации для Выставки достижений народного хозяйства (г. Москва) на Форуме РОССИЯ [1], для чего были подготовлены слайды и наглядные материалы отдельных таксонов и природных сред, которые специально изучаются для получения краеведческой информации и оценки природного потенциала региона. В подготовке этой публикации приняли участие все сотрудники от молодёжной лаборатории кафедры ботаники и экологии, за каждым ученым был закреплен свой фронт работы, объекты и предметы исследований. Также экологический Форум был проведен и в Донецкой Народной Республике в стенах технического университета, где кафедра ботаники и экологии презентовала два информативных стенда со своими достижениями [2]. Отдельный доклад был посвящен обобщению студенческих

наработок в рамках научного общества и кружка, что позволяет студентам сообща получать важную информацию и кооперироваться в экспедиционных выездах или при реализации лабораторной работы [3].

Ботаническая специфичность и эксклюзивность разработок касается в первую очередь анализа существующих гербарных фондов кафедры [4], включая редкие и охраняемые виды (раритетная фракция региональной флоры), а также сбор тех объектов, которые по специфике своей морфологии могут быть информативными индикаторами и фитосенсорами состояния антропогенно измененной среды, в первую очередь в условиях городской застройки – местах скопления большей части населения региона [5]. Такие проявления рассматриваются нами в общей тенденции анализа тератных проявлений у растений. В 2024 г. модельным видом для анализа экотопов Донецка был выбран одуванчик лекарственный. Спектр модификация атипичного проявления был собран и проиллюстрирован в отдельной публикации [5], при этом роль ученых была разделена по месту проведения эксперимента: полевые сборы, камеральная обработка, статистический учёт, подготовка иллюстративного материала и текста рукописи. В этом сочетании этапов собранная информация целиком вошла в годовой отчет по молодёжной лаборатории и является неотъемлемой частью экологического мониторинга в Донбассе.

Оригинальные схемы и фотоматериал (рис. 1 и 2) показывают спектр и диапазон варьирования конкретного признака в строении растения-индикатора, в частности, – фасцированной оси соцветия, которая определенным образом сопряжена с такими же тератными новообразованиями у растения на уровне побегового цветоноса тест-вида в урбанизированных ландшафтах (на примере мониторинговых точек центральных районов г. Донецка), – картографическая схема зонирует участки благоприятной среды произрастания и те зоны, где уровень тератогенеза существенно превышал норму по строению морфологических макромаркеров.

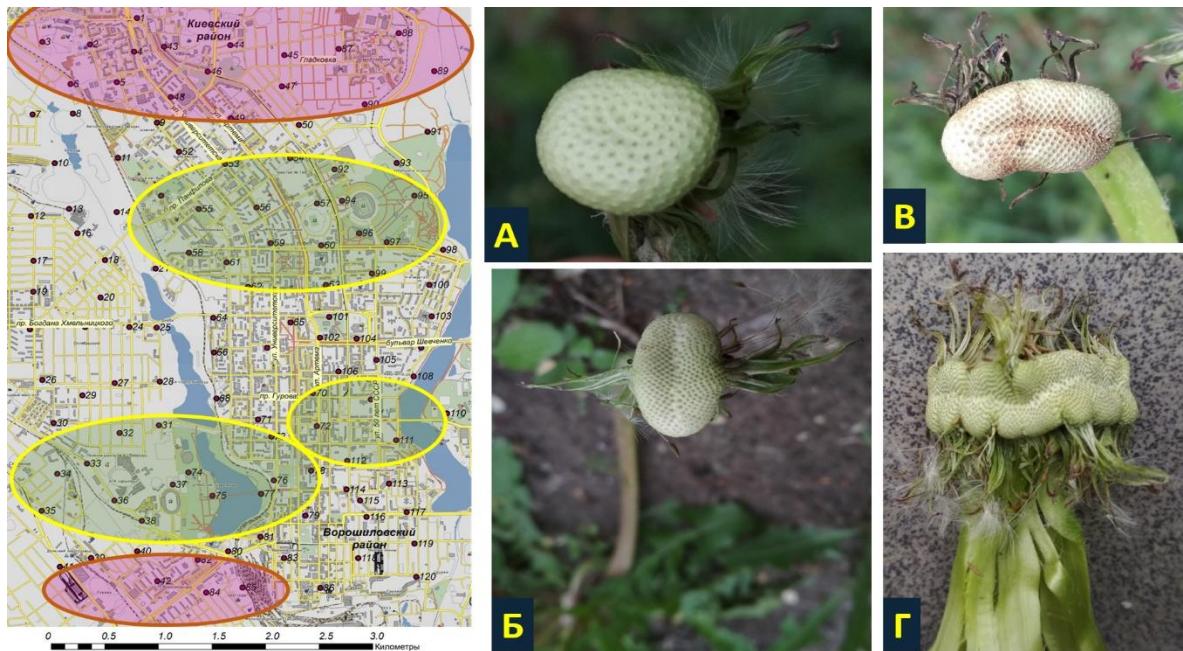


Рис. 1 – Тератогенные проявления в оси соцветия одуванчика лекарственного в условиях районов г. Донецка (А – норма, Б-Г – степени фасциации оси соцветия)

При анализе тератогенности среды выделены не только фасцированные генеративные органы, но и их асимметричность (рис. 2), обусловленная

неравномерностью матрикальных факторов трофики для семязачатков в период роста, развития и созревания плодов.



Рис. 2 – Анализ морфологической изменчивости соцветия одуванчика лекарственного по атипичному строению в экотопах Донбасса: А – фасциация цветоноса и соцветия, Б-Г – асимметричность соцветия, Д-З – стадии выраженности фасциаций оси

Проведенный библиометрический анализ [6] также является важной процедурой аналитических программ в экологических разработках Донбасса.

В смысловой нагрузке блоки функциональных разработок были распределены следующим образом с связи с опорными исполнителями государственного задания:

- вопросы ландшафтного дизайна, системы озеленения и способов внедрения полученной информации в образовательный процесс высшей школы [7, 8];
- аспект палеонтологического краеведения [9] и фитооптимизации техногенных ландшафтов в том числе по данным спутникового зондирования [10];
- пример локального озеленения и успешности цветочно-декоративного оформления рекреационной территории в городской среде [11];
- изучение растений специфических экотопов путей сообщений и адвентивных видов, внедряющихся разными способами в аборигенные сообщества и проявляющие определённую фитоценотическую агрессивность [12, 13];
- воздушная среда в аспекте аэропалиномониторинга ежегодно пополняется новыми характеристиками для городских территорий, получены актуальные показатели состояния пыльцевых зерен в аспекте их потенциальной аллергоопасности и (или) биотестирования газовоздушных смесей [14, 15];
- водные объекты изучены по гидробиологическим данным и состоянию микроводорослей фитопланктона [16, 17];
- определённое обобщение всех указанных направлений проведено в отдельном издании [18], сделаны аспекты для дидактической части работы на кафедре [19] по результатам студенческих научных работ и мероприятий, подводимых для студентов с целью их мотивации к профессиональной занятости: олимпиады, конкурсы, конференции, круглые столы, работа СНО в кружке и в экспедициях [20].

Каждый из членов молодёжной лаборатории (студенты, аспиранты и молодые ученые), выполняя свою отдельную практическую задачу, помогая друг другу, являлся соучастником общей реализуемой программы. Среди специальных наработок в таком направлении важно выделить исследования, опубликованные с Вестнике СНО

Донецкого государственного университета по тематикам: работы с гербарием как источнике микроклиматических данных в регионе (фитоиндикационное направление, совмещающее структурную ботанику и ретроспективный анализ) [21], обзор методов и способов экологического мониторинга, адаптированного для региона Донбасса [22], примеры организации научной, образовательной и просветительской деятельности на базе фонда музея кафедры ботаники и экологии Донецкого государственного университета [23].

Таким образом, по месту (Донбасс) и времени (2024 г.) эколого-ботанические разработки характеризуются широким спектром направлений исследования, при этом роль каждого направления является взаимодополнительной для других, что позволяет в дальнейшем планировать получение полноценной информации об экологических параметрах региона, проводить детальный анализ и экспертизу степени нарушенности и(или) категории ненарушенности экотопа. Система фитоквантификации Донбасса открыта для новых идей и критериев оценки, является динамической и актуальной в балансе хозяйственных задач региона.

Исследование выполнено в рамках молодежной лаборатории «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (номер госрегистрации 124051400023-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Палагута А.П. Экспозиции научных разработок кафедры ботаники и экологии ДонГУ на международном форуме 2023 года // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет". – 2024. – Т. 1, № 16. – С. 128-132. – EDN XHQZMH.
3. Палагута А.П. Роль студенческого научного общества в экологических проектах Донецкого государственного университета // Качественное экологическое образование и инновационная деятельность - основа прогресса и устойчивого развития. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии, 2024. – С. 79-85. – EDN KYTUZN.
4. Палагута А.П., Калинина Ю.С. Экологическая функциональность гербарной коллекции редких растений на кафедре ботаники и экологии ДонГУ // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. – Донецк: ДонНТУ, 2024. – С. 238-239. – EDN AXKHRT.
5. Сафонов А.И., Калинина Ю.С., Палагута А.П. Тератогенные эффекты как индикаторные свойства цветковых растений урбанизированных территорий Донецкой агломерации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2024. – № 2. – С. 20-30. – DOI 10.5281/zenodo.13949289. – EDN CZPYKY.
6. Палагута А.П. Библиометрия экологической ботаники в ДонГУ для научного планирования // Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2024. – С. 89-90. – EDN AGEJKA.
7. Калинина Ю.С., Сафонов А.И. Рабочая схема ландшафтной индикации в Донецке: дизайн и критерии устойчивости геосистем // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2024. – № 3. – С. 14-23. – DOI 10.5281/zenodo.14531840. – EDN GAKMLH.
8. Сафонов А.И., Калинина Ю.С. Внедрение научных разработок по озеленению в образовательный процесс Донгу // Ботанические сады и озеленение населенных мест. – Симферополь: КФУ, – 2024. – С. 252-254. – DOI 10.5281/zenodo.12813138. – EDN HLNNBF.
9. Сафонов Р.А., Калинина Ю.С. Научно-технологические перспективы палеонтологического краеведения в Донбассе // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. – Донецк: ДонНТУ, 2024. – С. 240-241. – EDN JJXAYE.
10. Калинина Ю.С., Сафонов Р.А. 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.
11. Калинина Ю.С. Анализ ассортимента цветочного оформления «Сквера Славы» Центрального-городского района г. Макеевки // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2024. – № 4. – С. 33-38. – DOI 10.5281/zenodo.14543657. – EDN JPRCLG.

12. Чайковская М.В., Калинина А.В. Раннецветущие растения железнодорожных экотопов // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2024. – С. 246-247. – EDN IUIWWV.
13. Калинина А.В. *Solidago canadensis* L. на антропогенно трансформированных территориях Донецко-Макеевской агломерации // Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2024. – С. 69-71. – EDN JTIWTE.
14. Мирненко Н.С. Качество пыльцы *Ambrosia artemisiifolia* L. как показатель состояния городской среды // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2024. – № 2. – С. 14-19. – DOI 10.5281/zenodo.13949282. – EDN BYGAKF.
15. Мирненко Н.С. Жизнеспособность пыльцы травянистых растений г. Донецка // Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2024. – С. 81-82. – EDN GQTWZH.
16. Mirnenko E. Ecological monitoring of water bodies: Bioindication, microalgae biodiversity indices // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 555. – P. 02008. – DOI 10.1051/e3sconf/202455502008. – EDN ECGECV.
17. Мирненко Э.И. Динамика многолетних исследований фитопланктона в прудах г. Донецка // Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2024. – С. 83-84. – EDN KFVRBL.
18. Сафонов А.И. Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций: монография. – Донецк: Издательский дом «ЭДИТ», 2024. – 289 с. – ISBN 978-5-605-24266-6. – EDN QVJSQE.
19. Крамаренко А.А. Экспериментальные данные по фитооптимизации техногенной среды – образовательный ресурс // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. – Донецк: ДонНТУ, 2024. – С. 234-235. – EDN HMUXXQ.
20. Сафонов А.И. Способы повышения мотивации студентов при изучении экологических дисциплин в Донбассе // Качественное экологическое образование и инновационная деятельность – основа прогресса и устойчивого развития. – Саратов: Саратовский ГУ, 2024. – С. 128-134. – EDN PUVRYR.
21. 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 KGZAPN.
22. Кинаш Т.А. Обзор методов и подходов в экологическом фитомониторинге Донбасса // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет". – 2024. – Т. 1, № 16. – С. 106-110. – EDN MDYEAF.
23. Абуснайна М.В. Организация научной работы в музее кафедры ботаники и экологии ДонГУ // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет". – 2024. – Т. 1, № 16. – С. 11-15. – EDN QOXMVC.

CONTRIBUTION OF STUDENTS AND YOUNG SCIENTISTS OF THE DEPARTMENT OF BOTANY AND ECOLOGY TO THE DEVELOPMENT OF THE DONSU YOUTH LABORATORY (2024)

Annotation. The purposeful collective work of students and young scientists of the Department of Botany and Ecology of Donetsk State University was activated in 2024 in connection with the activities of the youth laboratory "Diagnostics and mechanisms of adaptation of natural and anthropogenic transformed ecosystems of Donbass" (head: V.O. Kornienko). Scientists in their ideological dispersion have carried out research for different natural environments (air, water, soil) at different levels of their transformation, prepared exposition materials and developments for socio-educational purposes, which significantly allows us to establish an integrated approach to diagnostic procedures and environmental quantification, including under the influence of adverse factors of military-political confrontation.

Keywords: phytointication, Donbass, quantification, Department of Botany and Ecology, environmental monitoring, youth laboratory, ecosystem diagnostics.

Dmitrieva A.P.

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

РЕСУРС БОТАНИЧЕСКОГО МУЗЕЯ УНИВЕРСИТЕТА ДЛЯ ШКОЛЬНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Зусарь К.Д.

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

Аннотация. На основании реальных примеров внедрения иллюстративно-дидактических материалов, сохраняющихся в музее кафедры ботаники и экологии Донецкого государственного университета, рассмотрена возможность подготовки видеосюжетов и конкурсов научных знаний для школьников разных возрастов и профилей обучения. Учтены особенности восприятия и информации и выбран наиболее эффективный способ проведения профориентационной работы и популяризации научных исследований в донецком регионе среди школьников по биологии. Проанализирован видеоматериал, используемый в 2024 г. для конкурса Бионикулы в профильной школе 97 г. Донецка.

Ключевые слова: экологическое образование, ботанический музей, Донбасс, фитоиндикация, биомониторинг, кафедра ботаники и экологии.

Экспонирование достижений ученых донецкого региона важно как для презентации своих исследований на уровне других НИИ, вузов и для обсуждения результатов широкой общественностью, так и для популяризации научных исследований среди подрастающей молодежи, проведения профориентационной работы со школьниками [1, 2]. Кафедрой реализуется широкий спектр методических приёмов с использованием дидактического материала с натурыми экспонатами [3, 4] на базе ботанического музея Донецкого государственного университета, что позволяет в дальнейшем моделировать [5], библиографически обобщать [6], проводить научно-технические мероприятия [7, 8] и ретроспективный анализ [9] с последующим обязательным внедрением в практику обучения и образования [10]. Обязательно нужно отметить, что такое направление является базовым для педагогической подготовки студентов, выбирающих особенностью своей специализации и методический аспект в образовании, что также отражается на тематическом направлении отдельных элективных курсов кафедры [11], а также сопряжено с педагогической деятельностью в международном сотрудничестве с учеными других государств [12, 13].

Цель работы – на основании конкретных мероприятий, проведенных в Донецкой Народной Республике в 2024 г. на уровне конкурсов научных работ для школьников и популяризации ботанико-экологических исследований в рамках профориентации, рассмотреть ресурсный потенциал музея кафедры ботаники и экологии ДонГУ в качестве базовой платформы для подготовки фото и видеоматериала.

В качестве учебно-методической базы были использованы публикации ученых университета, связанные с имеющимся учебно-научным базисом в преподавании биологических дисциплин регионального уровня [14]. Важным подспорьем в формулировке задач и обоснования необходимости таких исследований является работа Студенческого научного общества и, в частности, биологического факультета ДонГУ [15–18], когда студенты не только обмениваются теоретическими сведениями, но и совместно решают комплексные аналитические задачи, участвуют в государственных программах по оптимизации окружающей среды в промышленно напряженном и антропогенно трансформированном Донбассе. Образовательный ресурс на уровне музеиного комплекса является частой задачей исследовательской работы [19–23], что позволяет на основании накопленного опыта расширять возможности этого метода и даже пополнять музей новыми экспонатами. В октябре 2024 г. на основании Центра

детских инициатив, организованного учителем школы 97 г. Донецка Марией Заболотной, состоялся традиционный конкурс Бионикулы.

Для подготовки к конкурсу были созданы видеосюжеты и использованы ресурсы кафедрального музея, составлены вопросы и наглядно продемонстрированы ответы на видео вопросы. Особенностью видеоматериала было то, что он снят без добавления спецэффектов, иллюстраций из других баз данных, а только на основании артефактов ботанического музея ДонГУ (рис. 1-4). В конкурсе приняли участие более 150 школ из 5 регионов РФ, что позволяет считать его Всероссийским и, с учетом регулярности проведения, было принято решение актуализировать новые задания на весенних каникулах в 2025 году.



Рис. 1 – Раскадровка видеоэкскурсии о ботаническом музее: заглавная экспозиция

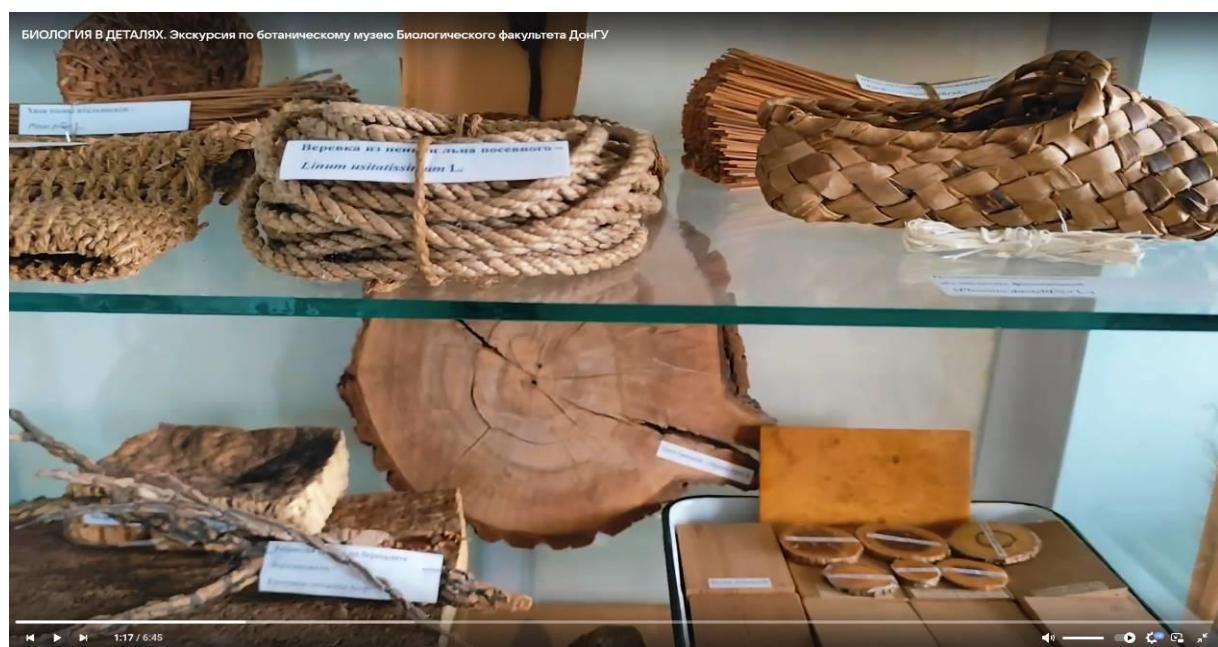


Рис. 2 – Раскадровка видеоэкскурсии о ботаническом музее: коллекция хозяйственно полезных и экспозиция историко-культурных способов использования растений



Рис. 3 – Раскадровка видеоэкскурсии о ботаническом музее: дендрологическая коллекция хвойных (морфология шишек и систематика представителей)



Рис. 4 – Раскадровка видеоэкскурсии о ботаническом музее: экспозиция по искусственно мутагенезу (научная школа Ф.Л. Щепотьева)

Был проведён анализ востребованности подготовленного видеоматериала. Установлено, что более 75% школьников до проведения конкурса не знали, что в Донецком государственном университете есть открытый для бесплатных экскурсий ботанический музей. И, хотя корпус биологического факультета после обстрелов находится на полной консервации, то авторы сюжета смогли подобрать иллюстративный материал для анализа и демонстрации проблемных вопросов на развитие творчества.

Ресурс ботанико-экологических задач и направлений подготовки по изучению растений в регионе в частности заключался в демонстративном материале специальных

выставочных макетов семенной коллекции, дендрологического материала, особенностей организации морфологии шишек разных представителей хвойных (это вызывает интерес с вопросами селекции и интродукции растений), с цитологическими закономерностями искусственно модифицируемых организмов-мутагенов, имеющих важное значение для народного хозяйства.

При анализе наглядного материала было установлено, что за время проведения конкурса видеосюжет (за первые сутки после размещения) в социальной сети Вконтакте просмотрели более 3 тыс. раз, что свидетельствует о высоком интересе среди обучающихся, мотивированных для участия в научных интеллектуальных конкурсах, связанных с формированием естественнонаучной картины мира. Особый интерес у участников конкурса БИОНИКУЛЫ вызвали тематические направления о лекарственных растениях, способах получения эфирных масел, а также в разделе географии растений – тематика об экзотических растениях тропических климатических зон и африканских пустынь.

Таким образом, на основании реальных примеров внедрения иллюстративно-дидактических материалов, сохраняющихся в музее кафедры ботаники и экологии Донецкого государственного университета, рассмотрена возможность подготовки видеосюжетов и конкурсов научных знаний для школьников разных возрастов и профилей обучения. Учтены особенности восприятия и информации и выбран наиболее эффективный способ проведения профориентационной работы и популяризации научных исследований в донецком регионе среди школьников по биологии. Проанализирован видеоматериал, используемый в 2024 г. для конкурса Бионикулы.

Автор выражает благодарность выпускнице биологического факультета и руководителю центра детских инициатив, учителю школы № 97 г. Донецка Марии Заболотной за подготовку ресурсного видеосюжета для иллюстрации рукописи.

Исследование выполнено в рамках молодежной лаборатории «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (№ госрегистрации НИОКР 1023110700153-4-1.6.19;1.6.11;1.6.12).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экспозиционный материал кафедры ботаники и экологии Донту 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.
2. Safonov A. Indicator plants of anthropogenic disturbances: Scientific approach, educational // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences: 2023. Р. 01031. DOI 10.1051/e3sconf/202343101031. EDN LSLNVJ.
3. Глухов А.З. Методологические аспекты фитомониторинга в антропогенно трансформированной среде // Донецкие чтения 2023: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. – Донецк: Донецкий государственный университет, 2023. С. 58-59. EDN QFUQBM.
4. Крамаренко А.А. Экспериментальные данные по фитооптимизации техногенной среды - образовательный ресурс // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. Донецк: ДонНТУ, 2024. С. 234-235. EDN HMUXXQ.
5. 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.
6. Авраимова Т.В. Экологические разработки в Донбассе: библиографический учёт и популяризация научных исследований // Научные и технические библиотеки. 2023. № 3. С. 30-42. DOI 10.33186/1027-3689-2023-3-30-42. EDN BLUFHQ.
7. Сафонов А.И. Аспекты учения В.И. Вернадского о живом веществе в научных и образовательных программах Донбасса // Ноосфера. 2023. № 1. С. 170-181. EDN FVFHMQ.
8. Сафонов А.И. Способы повышения мотивации студентов при изучении экологических дисциплин в Донбассе // Качественное экологическое образование и инновационная деятельность - основа прогресса и устойчивого развития. Саратов, 2024. С. 128-134. EDN PUVRYR.

9. Петкогло О.В. Ретроспективный анализ интерьерной и ландшафтной фитооптимизации промышленной среды (к 100-летию профессора М.Л. Ревы) // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2022. № 3. С. 72-79. EDN GTDLEL.
10. Коротенко Н.В. Фитоиндикационные исследования и использование их результатов в учебном процессе // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет". 2022. Т. 1, № 14. С. 59-63. EDN YTAVAU.
11. Инновационные учебные дисциплины для специализации на кафедре ботаники и экологии ДонНУ / А.И. Сафонов, С.А. Приходько, А.З. Глухов // Донецкие чтения 2021: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. Донецк: ДонНУ, 2021. С. 148-151. EDN LJLGKN.
12. Tleubergenova 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.
13. Ресурсы полезных растений на территории Северо-Казахстанской области и пригородной зоны г. Петропавловска / Е.В. Галактионова, Г.С. Тлеубергенова, Е.В. Рачкаускене и др. // Актуальные проблемы естественных наук. – Петропавловск, 2024. С. 32-37. EDN JZOGAR.
14. Сафонов А.И. Специфика подготовки учебно-методической продукции ботанико-экологического содержания для научной библиотеки ДонНУ // Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. Донецк: ДонНУ, 2019. С. 294-297. EDN AZCFDC.
15. Кинаш Т.А. Обзор методов и подходов в экологическом фитомониторинге Донбасса // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет". 2024. Т. 1, № 16. С. 106-110. EDN MDYEAF.
16. Иванова Д.В. Научные разработки студентов биологического факультета как ресурс ассистентской практики // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет". 2024. Т. 1, № 16. С. 96-100. EDN ISKALA.
17. 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 BBJWRH.
18. Абуснайна М.В. Организация научной работы в музее кафедры ботаники и экологии ДонГУ // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет". 2024. Т. 1, № 16. С. 11-15. EDN QOXMCV.
19. Сафонов А.И. Специфика образовательных технологий на кафедре ботаники и экологии ДонНУ при подготовке студентами выпускных квалификационных работ // Развитие интеллектуально-творческого потенциала молодежи: из прошлого в современность. Донецк: ДонНУ, 2018. С. 274-275. EDN YYPGBF.
20. Сафонов А.И. Фитоэмбриональный скрининг в экологическом мониторинге Донбасса // Зеленый журнал - Бюллетень ботанического сада Тверского государственного университета. 2017. № 3. С. 5-12. EDN UYHXGO.
21. Петкогло О.В. Научный ресурс ботанического музея в Донецке // Донецкие чтения 2016. Образование, наука и вызовы современности. Донецк: ЮФУ, 2016. С. 139-140. EDN WCLWCT.
22. Сафонов А.И. Преемственность экологического образования в системе "школа - университет - предприятие" // Экологическая ситуация в Донбассе. 2016. Т. 1. С. 151-154. EDN WKFUMF.
23. Внедрение альгоиндикационных технологий в процесс обучения студентов-экологов / А.И. Сафонов, Э.И. Мирненко, Н.С. Захаренкова // Биологическое и экологическое образование студентов и школьников: актуальные проблемы и пути их решения. Самара: Самарский государственный социально-педагогический университет, 2016. С. 135-138. EDN VLNYZF.

UNIVERSITY'S BOTANICAL MUSEUM RESOURCE FOR SCHOOL ENVIRONMENTAL EDUCATION

Annotation. Based on real examples of the introduction of illustrative and didactic materials preserved in the museum of the Department of Botany and Ecology of Donetsk State University, the possibility of preparing videos and contests of scientific knowledge for schoolchildren of different ages and learning profiles is considered. The peculiarities of perception and information have been taken into account and the most effective way of career guidance and popularization of scientific research in the Donetsk region among biology students has been chosen. The video material used in 2024 is analyzed for the Bionicles competition at School 97 in Donetsk.

Keywords: environmental education, Botanical Museum, Donbass, phytoindication, biomonitoring, Department of Botany and Ecology.

Zusar K.D.

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

УДК 577.3

ФЛУКТУИРУЮЩАЯ АСИММЕТРИЯ ЛИСТА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ, КАК ПОКАЗАТЕЛЬ УСТОЙЧИВОСТИ ОРГАНИЗМОВ К ДЕЙСТВИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Котенко Д.А.

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

Аннотация: В работе приводится локальный анализ экологического состояния урбанизированной среды города Донецка с применением листовых пластин *Acer platanoides* L. как биоиндикатора. В ходе исследования проводили сравнение экспериментально полученных показателей флуктуирующей асимметрии листовых пластин клена остролистного на участках с различной степенью антропогенного воздействия.

Ключевые слова: растения, флуктуирующая асимметрия, биоиндикация, антропогенная нагрузка, биоиндикаторы, шум, симметрия, листовая пластина, факторы среды, интенсивность автомобильного транспорта вибрационно-акустическое загрязнение.

Введение. В условиях современного промышленного города Донецка оценка состояния окружающей среды и мониторинг стабильности развития биологических систем в условиях антропогенных нагрузок представляют собой актуальную задачу [1-19]. Особенno важно изучение состояния, устойчивости и динамики популяций растений, поскольку это позволяет оценить комплекс антропогенных воздействий, характерных для данной территории [3-6, 11, 14, 18-21]. Деревья и кустарники, будучи важной частью экосистем, играют ключевую роль в поддержании биологического разнообразия и здоровья окружающей среды [21]. Их способность приспосабливаться к изменяющимся условиям во многом определяет их устойчивость к экологическим факторам [5, 9, 11-12, 17, 20]. Из-за прикреплённого образа жизни растений прослеживается связь между конкретным местом обитания растительных сообществ и их состоянием. В связи с этим с 90-х годов в качестве биоиндикаторов состояния окружающей среды активно используются древесные растения, в частности, листовые пластины некоторых видов: берёзы повислой, клёна явора, клёна остролистного, тополя чёрного, липы мелколистной и дуба черешчатого [17, 22-29]. Листовые пластины используются биологами, поскольку они отражают реакцию организма на изменение факторов среды [22-29]. Симметрия или асимметрия живых организмов является ключевым показателем их взаимодействия с окружающей средой. При равномерном воздействии наблюдается лучевая или билатеральная симметрия. Однако живые системы не являются статичными, поэтому возможны отклонения от нормы [30-33]. К таким изменениям относится флуктуирующая асимметрия (ФА), которая проявляется в незначительных и случайных отклонениях от строгой билатеральной симметрии объектов. На этом принципе основан биоиндикационный метод, который использует листовые пластины древесных растений для оценки состояния окружающей среды [34]. Асимметрия листьев древесных растений, вызванная случайными отклонениями, может быть полезным инструментом для оценки их способности противостоять воздействию окружающей среды, изменения в уровнях этой асимметрии могут служить индикаторами текущего состояния экосистемы, а также изменений, вызванных деятельностью человека. Изучение механизмов, лежащих в основе асимметрии, и их связи с устойчивостью организмов имеет большое значение для разработки эффективных методов защиты окружающей среды и сохранения биологического разнообразия.

Актуальность исследования флуктуирующей асимметрии неуклонно возрастает как в отечественной, так и в зарубежной научной среде [17, 22-34]. Это мощный

инструмент, обладающий значительным потенциалом для применения в прикладной биологии и, в частности, в прикладной экологии Донецкого региона [17, 22-34]. В результате растущего интереса к флюктуирующей асимметрии наблюдается значительное увеличение числа методов её количественной оценки, что создаёт определённую неоднозначность в интерпретации результатов и затрудняет их сопоставление [32-34]. Асимметрия листьев деревьев, вызванная случайными колебаниями, является важным показателем устойчивости растений к воздействию окружающей среды. Изучение этого явления может дать ценные знания для охраны природы, сельского хозяйства и экологии, что позволит более эффективно управлять природными ресурсами и поддерживать экосистемы.

Цель исследования — оценка флюктуирующей асимметрии листовых пластин *Acer platanoides* L., как показателя уровня стресса растений в условиях урбанизированной среды.

Задачи:

1. Провести анализ вибрационно-акустического загрязнения территории исследования по ул. Университетской города Донецка.
2. Оценить интенсивность автомобильного транспорта вдоль исследуемой автомагистрали.
3. Оценить флюктуирующую асимметрию листовых пластин клена остролистного.

Асимметрия может быть разделена на три основных типа: направленная, флюктуирующая и антисимметрия. Из этих типов только флюктуирующая асимметрия может предоставить информацию об уровне стресса, испытываемого растением [17, 22, 25, 28, 33]. Прежде чем приступить к количественной оценке нестабильности развития организма на основе билатеральных признаков, необходимо убедиться в флюктуирующем характере асимметрии каждого признака из выбранного набора [28]. Различие между направленной и флюктуирующей асимметрией заключается в том, что значение признака на одной из сторон больше, чем на другой. Антисимметрия, в свою очередь, имеет место, когда асимметрия признака является нормой, при этом не имеет значения, в какую сторону направлено различие между сторонами [27]. Статистические исследования показывают, что частоты отклоняются от нормального распределения в сторону отрицательного эксцесса или бимодальности. Листья, как наиболее чувствительные к условиям окружающей среды органы растений, подвержены морфологическим изменениям под воздействием различных факторов. Именно поэтому они часто используются исследователями для изучения асимметрии [17]. Трансформация морфологии листьев одного и того же вида растений обусловлена изменением условий их произрастания. На формирующиеся листья оказывают воздействие факторы окружающей среды, которые определяют особенности их окончательной структуры и формы [27]. Исследование влияния условий произрастания растений на форму их листьев представляет собой сложную задачу, которая трудно поддаётся непосредственному экспериментальному изучению. Однако эту проблему можно решить косвенным путём, собирая материал в различных условиях произрастания.

Исследования показывают, что растения с высокой ФА имеют менее выраженные адаптивные свойства, что делает их более уязвимыми к изменениям окружающей среды. В условиях загрязнения воздуха или почвы деревья и кустарники могут демонстрировать значительные изменения в форме и размере листьев, что свидетельствует о стрессовой реакции. В отличие от них, виды с низкой ФА обычно обладают высокой жизнеспособностью и устойчивостью даже в сложных условиях.

Проблема симметрии биологических объектов представляет собой одну из фундаментальных проблем современной биологии. Симметрия морфологической структуры подразумевает повторение частей в различных положениях и конфигурациях [35]. Для проверки равенства объектов или частей системы можно использовать некоторое преобразование, которое совмещает равные объекты или части одного и того же объекта. Это означает, что объекты либо инвариантны относительно некоторых преобразований пространства, либо нет. Симметрия объекта может быть охарактеризована совокупностью всех его преобразований симметрии, то есть преобразований, которые оставляют объект без изменения. Возникновение билатеральной симметрии является важным эволюционным достижением, открывающим широкие возможности для дифференциации организма [25].

Флуктуирующая асимметрия — это результат того, что организмы не могут развиваться по заранее определённому сценарию. Другими словами, это небольшие ненаправленные отклонения от строгой симметрии [25]. По своей сути флуктуирующая асимметрия — это небольшие отклонения от строгой двусторонней симметрии, которые можно считать скорее случайными нарушениями развития, чем направленными изменениями [17, 25, 28]. Эти небольшие отклонения не имеют функционального значения и находятся в пределах диапазона, который допускает естественный отбор. Уровень флуктуирующей асимметрии минимален при оптимальных условиях среды и неспецифически возрастает при стрессовых воздействиях. В контексте морфологии флуктуирующую асимметрию рассматривают как метод оценки состояния и динамики биосистем. Показатель флуктуирующей асимметрии выступает в качестве индекса стабильности развития организма.

Материалы и методы. Для оценки ФА применяются разнообразные методы. Одним из наиболее распространённых является морфометрический анализ, который позволяет измерять и сопоставлять размеры и формы листьев. Этот метод, предоставляемый возможность количественно определить обнаруженную асимметрию, даёт возможность проводить статистические исследования и делать обоснованные выводы о состоянии популяций. Сравнение уровней ФА в различных экосистемах или на различных участках одного ареала позволяет выявить, где условия более стабильны, а где наблюдается повышенный уровень стресса. Научные исследования в этой области могут включать как полевые наблюдения, так и лабораторные эксперименты, которые позволяют детально изучить причины возникновения ФА и её связь с конкретными экологическими факторами.

Одним из ключевых аспектов в исследовании флуктуирующей асимметрии биообъектов является выбор, идентификация билатеральных признаков и верификация их флуктуирующего характера у организмов различных видов.

Для анализа были выбраны параметры левой и правой стороны листовой пластинки (рис. 1). При исследовании угловых признаков листовой пластинки измерялись сектора, примыкающие к вершине угла, со стороной, не превышающей 10–15 % от длины жилок.

Использование в исследованиях флуктуирующей асимметрии биообъектов только одного признака не позволяет делать надёжные выводы, поэтому предпочтительно использование множества признаков. При этом каждый дополнительный признак добавляет одну степень свободы к оценке уровня нестабильности развития.

Прежде чем приступить к количественной оценке нестабильности развития организма по показателям билатеральных признаков, необходимо убедиться во флуктуирующем характере асимметрии каждого признака из выбранного набора.

Для определения характера обнаруженной асимметрии листовой пластинки по анализируемым параметрам необходимо провести тест на значимость коэффициента эксцесса и сравнить полученные измерения на правой и левой стороне, а также вычислить критические значения. Следующим этапом анализа должна стать проверка

зависимости величины асимметрии признака от величины признака на обеих сторонах листовой пластинки [17, 22, 25]. Если такая зависимость существует, то с увеличением размера листовой пластинки может увеличиваться и величина асимметрии [17, 25]. Если положительная связь присутствует, то в дальнейшем анализе необходимо использовать прямое нормирование асимметрии на среднее значение размера признака $(L+R)/2$ или на суммарное значение признака на обеих сторонах $(L+R)$. Полученное значение модуля разности между значениями признака на левой и правой стороне необходимо разделить на суммарное значение признака на обеих сторонах листовой пластинки.

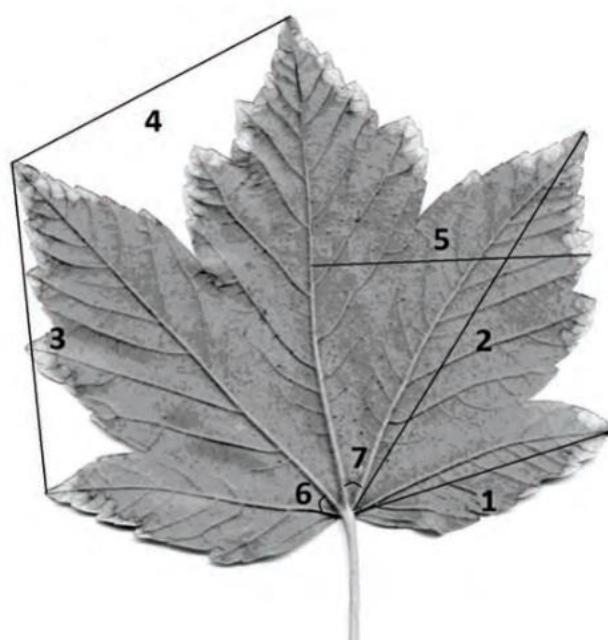


Рисунок 1 – Методика оценки билатеральных признаков листовой пластинки *Acer platanoides* L.

Обозначения: 1 — расстояние между точками начала и окончания первой жилки (нумерацию и измерения жилок проводили, начиная с базальной части листовой пластинки); 2 — расстояние между точками начала и окончания второй жилки; 3 — расстояние между точками окончания первой и второй жилок; 4 — расстояние между точками окончания второй и средней жилок; 5 — расстояние от середины средней жилки до края листовой пластинки (измерения проводили по линии, перпендикулярной средней жилке); 6 — угол между первой и второй жилками; 7 — угол между второй и средней жилками.

Расчёт интегрального значения флюктуирующей асимметрии проводится по формулам.

$$Y = |L - R| / (L + R);$$

$$Z = (Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n) / N;$$

$$X = Z / n = (Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n) / n,$$

В данном контексте Y представляет собой величину, определённую для каждого признака как разницу между правой и левой сторонами листовой пластинки. Z — это относительное среднее различие между признаками для каждого листа. N — это количество признаков. X — это интегральный показатель асимметрии. n — это количество листьев.

Асимметрия в билатеральных признаках листовой пластинки проявляется в виде флюктуаций. Это явление наблюдается в следующих характеристиках:

1. Расстояние между точками начала и окончания второй жилки.
2. Расстояние между точками окончания первой и второй жилок.
3. Расстояние между точками окончания второй и средней жилок.

4. Угол между первой и второй жилками, который вносит максимальный вклад в результирующее значение.

5. Угол между второй и средней жилками.

Для проведения анализа состояния зелёных насаждений в городской среде Донецка были выбраны участки на одной из загруженных автомагистралей города – улице Университетской (рис. 2).

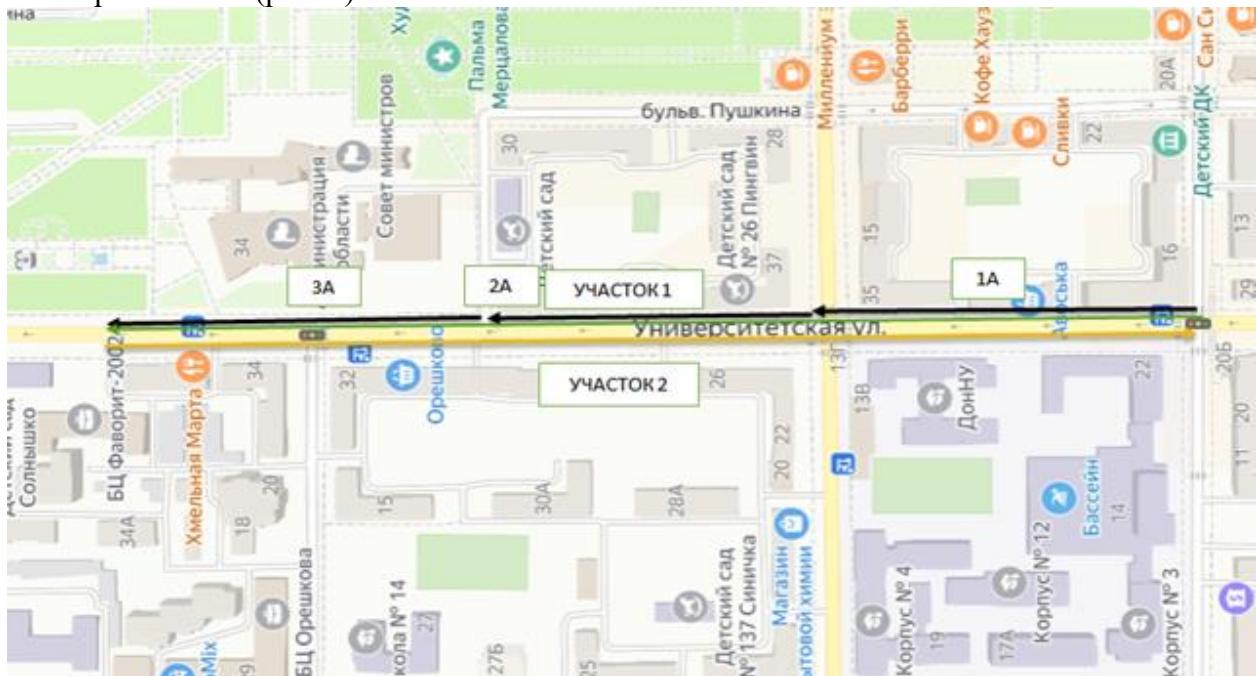


Рисунок 2 – Территория исследования города Донецка

Результаты исследований. Участок №1 и 2 представлял собой линейные насаждения вдоль автомагистрали, ориентированные в противоположном направлении движения транспорта. Данные об интенсивности транспортного потока на участке №1 в точке 1А представлены в таблице 2. Все проезжающие транспортные средства были классифицированы по трём категориям (муниципальный транспорт, грузовые и легковые автомобили) и пяти подкатегориям (лёгкие, тяжёлые, иномарки, автомобили советского производства, джипы). Эта детальная классификация была необходима для расчёта воздействия шума на биоиндикаторы. Данные представлены в виде количества проходящего автотранспорта за 60 минут. Интенсивность транспортного потока также влияет на вибрационно-акустическое зашумление территории. Было установлено, что на участке №1 в точке 1А максимальное звуковое значение составило 85,1 дБА, а минимальное — 56,8. Эти показатели зависят от типа транспортного средства. Все расчёты внесены в таблицы 1 и 2.

Таблица 1 – Интенсивность автотранспорта (ед./час) на улице Университетской в будние дни с 8⁰⁰ по 17⁰⁰

Муниципальный транспорт, автобусы	Грузовые		Легковые		
	легкие	тяжелые	иномарки	производства РФ	джипы
132	96	12	456	132	204
Сумма: 1032±127					

На исследуемых участках была проведена оценка интенсивности автотранспортного движения, что позволило определить загруженность автомагистралей на участке №1, простирающемся от точки 1А до точки 3А, то есть от Университетской улицы, дом 33, до пересечения ул. Университетской и переулка Орешкова. Интенсивность транспортного потока на участке №1 в точке 1А в среднем составляла 1032 ± 127 ед./час, что указывает на высокий уровень антропогенного загрязнения данной территории. Основную часть общего потока составляют легковые автомобили — 76%.

В процессе исследований были так же проведены систематические замеры уровня шума, производимого различными классами транспортных средств в движении. Измерения осуществлялись на расстоянии одного метра от дорожного полотна и пятидесяти сантиметров от него, что характерно для второго и первого рядов зелёных насаждений. Данные шумометра представлены на рисунке 3 А и Б. Все данный были внесены в таблицу 2.

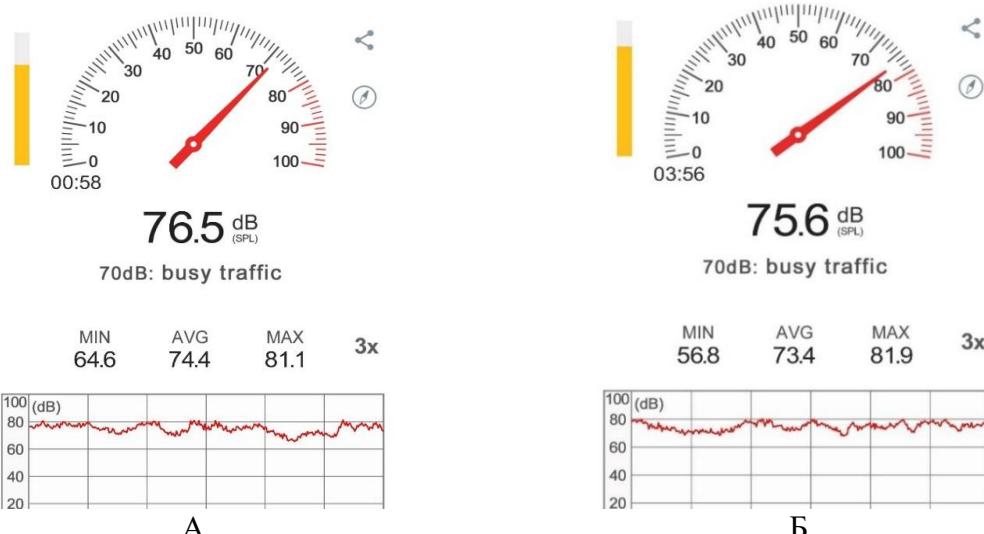


Рисунок 3 – Пример зашумления территории исследования
(расстояние от дороги 0,5 м (А) и 1 м (Б))

Проблема симметрии биологических объектов является важной темой в современной биологии. Симметрия морфологической структуры заключается в повторении частей в разных положениях и конфигурациях [25]. Проверить симметрию объектов или их частей можно с помощью преобразования, которое совмещает равные объекты или части. Это означает, что объекты либо не изменяются при некоторых преобразованиях пространства, либо меняются. Симметрия объекта характеризуется совокупностью всех преобразований симметрии, которые не меняют объект.

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

Территория	Расстояние от автомагистрали, м					
	0,5			1,0		
	макс.	ср.	мин.	макс.	ср.	мин.
1-3	85.1±2	74.8±1	64.6±1	84.9±2	70.8±1	56.8±1

Билатеральная симметрия — это важное эволюционное достижение, которое открывает возможности для дифференциации организма.

Уровень флуктуирующей асимметрии оказывается минимальным при оптимальных условиях среды и неспецифически возрастает при любых стрессовых воздействиях [3]. На макроскопическом уровне этот вид асимметрии используют в качестве меры в оценке стабильности развития организма.

В асимметрии считают, что флуктуирующая асимметрия — это один из морфологических методов оценки состояния и динамики биосистем. Сам показатель флуктуирующей асимметрии называют индексом стабильности развития организма.

Заключение. В результате проведённых исследований была оценена зашумленность территории. Максимальные значения уровня шума возле бордюра составляют $85,1 \pm 2,0$ дБА, а среднее арифметическое показателей акустического шума — $74,8 \pm 1,0$ дБА. При удалении на 1 метр от автомагистрали к первому ряду деревьев объекта исследования, уровень звукового давления по максимальным значениям достоверно не снижается и составляет $84,9 \pm 2,0$ дБА, а среднее значение шума при этом — $70,8 \pm 1,0$. Интенсивность автотранспорта в будние дни в интервале времени $9^{00} - 12^{00}$ составила — 1032 ед./час, что свидетельствует о высоком уровне антропогенной нагрузки. Изучена методика оценки флуктуационной асимметрии листовых пластин для клена остролистного. Согласно литературным данным, величина флуктуационной асимметрии возрастает при действии любых стрессовых факторов среды, которые приводят к нарушению стабильности морфогенеза листа и, как следствие, увеличению его асимметрии. Анализ листовых пластин *Acer platanoides*, произрастающих в урбанизированной среде города Донецка, показал незначительные отличия в размерах листовых пластинок, обусловленные экологическими условиями произрастания и особенностями адаптации к ним. Показатель флуктуационной асимметрии, определяющий экологическое состояние зелёных насаждений города, варьировал в пределах от 0,045 (норма) до 0,054 (III-IV балла — загрязненный район), данные требуют дальнейших уточнений и более точной отработки методики исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафонов А.И., Глухов А.З. Фитомониторинг в техногенно трансформированной среде: методология и практика // Экосистемы. – 2021. – № 28. – С. 16-28.
2. Сафонов А.И. Тканевая диагностика эмбриональных структур фитоиндикаторов Донбасса // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2020. – № 3-4. – С. 110-115.
3. Корниенко В. О. Влияние экологических факторов на физико-механические свойства, морфометрию и аллометрию древесных растений урбозоисистем (на примере города Донецка): спец. 1.5.15 "Экология (биологические науки)": дис. ...канд. биол. наук / Корниенко Владимир Олегович. - Донецк, 2022. - 166 с. EDN: QYUEPJ
4. Сафонов А. И. Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций // Донецк: ДонГУ, 2024. – 288 с. EDN: QVJSQE
5. 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. – №. 7. – P. 806–816.
6. Kharchenko N.N., Kalaev V.N., Kornienko V.O. Mechanical resistance of *Quercus robur* L. at the environmental boundary of the species distribution in the steppe // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – P. 12049. DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/012049 EDN: HNQTEI
7. Zinicovscaia I.I., Safonov A.I., Yushin N.S., Nespirnyi V.N., Germonova E.A. Phytomonitoring in Donbass for Identifying New Geochemical Anomalies // Russian Journal of General Chemistry. – 2024. – Vol. 94. – P. 3472–3482 DOI:10.1134/S1070363224130048
8. 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

9. 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.
10. Safonov A. Changes in plant CSR strategies under new anthropogenic transformations // E3S Web of Conferences. – 2025. – Vol. 614. – P. 04022 DOI:10.1051/e3sconf/202561404022
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/snv2024131104 EDN: LYEGSZ
12. Корниенко В. О., Калаев В. Н. Механическая устойчивость можжевельника виргинского в условиях степной зоны Восточно-европейской равнины // Лесоведение. – 2024. – № 1. – С. 70-78. DOI: 10.31857/S0024114824010084 EDN: SLLJXY
13. Сафонов А.И., Догадкин Д.Н., Неспирный В.Н. Фитогеохимические особенности некоторых отвалов угольных шахт в Донбассе // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2024. – № 3. – С. 86-99. DOI: 10.5281/zenodo.13758560
14. Сафонов А.И. Атипичный морфогенез фитоиндикаторов в экологическом мониторинге Донецка // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2024. – № 4. – С. 94-101.
15. Чуфицкий С.В., Беспалова С.В., Романчук С.М. Оценка качества поверхностных вод питьевого водохранилища с применением метода биотестирования на клетках фитопланктона // Самарский научный вестник. – 2024. – Т. 13. – № 3. – С. 65-71. DOI: 10.55355/snv2024133110
16. Чуфицкий С.В., Беспалова С.В., Романчук С.М. Биомониторинг состояния поверхностных вод Волынцевского водохранилища с применением метода флуориметрии // Самарский научный вестник. – 2024. – Т. 13. – № 1. – С. 67-74. DOI: 10.55355/snv2024131109
17. Корниенко В. О., Кольченко О. Р., Матвеева Т. Б. *Acer platanoides* L. в условиях антропогенной нагрузки г. Донецка // Самарский научный вестник. – 2019. – Т. 8. – № 3 (28). – С. 46-52. DOI: 10.24411/2309-4370-2019-13107
18. 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
19. Корниенко В.О. Ретроспективный анализ антропогенного загрязнения города Донецка. Вибрационно-акустическое зашумление // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2024. – № 1. – С. 93-100. DOI: 10.5281/zenodo.12532574
20. 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
21. Корниенко В.О., Хархота Л.В. Мониторинг состояния древесных растений центральной части города Донецка // Самарский научный вестник. – 2023. – Т. 12. – № 2. – С. 46-51. DOI: 10.55355/snv2023122107
22. Протасова М.В., Белова Т.А. Оценка состояния окружающей среды по показателям флюктуирующей асимметрии листьев древесных растений // Auditorium. Электронный научный журнал Курского государственного университета. – 2018. – №3 (19). – С. 1-8.
23. Захаров В. М., Шкиль Ф. Н., Кряжева Г. Н. Оценка стабильности развития бересы в разных частях ареала // Вестник Нижегородского университета им. Н. Н. Лобачевского. Серия Биология. – 2005. – Вып. 1 (9). – С. 77–84.
24. Глухов А.З., Штирц Ю.А., Демкович А.Е., Жуков С.П. Оценка проявления флюктуирующей асимметрии билатеральных признаков листовой пластинки *Acer pseudoplatanus* L. в условиях придорожных экосистем промышленного города (на примере г. Донецка) // Промышленная ботаника. – 2011. – Вып. 11. – С. 90-96.
25. Shtirts Yu. A. Variation of leaf margin serration in *Populus nigra* of industrial dumps // Acta Biologica Sibirica. – 2017. – № 3 (2). – Р. 46-51.
26. Хузина Г.Р. Характеристика флюктуирующей асимметрии билатеральных признаков листа липы мелколистной (*Tilia cordata* L.) // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». – 2011. – Вып.3. – С. 47-52.
27. Луговская Л.А., Землякова А.В., Межова Л.А., Луговской А.М. Оценка комфортности среды по флюктуирующей асимметрии дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) // Региональные геосистемы. – 2016. – №18 (239). – С. 87-94.
28. Приходько С.А., Штирц Ю.А. Оценка изменчивости формы листовой пластинки *Populus nigra* L. s.l. в условиях промышленных отвалов методами геометрической морфометрии // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. – 2019. – Т. 28. – № 2. – С. 219-229. DOI 10.24411/2073-1035-2019-10222

29. Наумова А. А., Стрельцов А. Б. Методика оценки степени флуктуирующей асимметрии листовых пластинок на примере бересы повислой (бородавчатой) (*Betula pendula* Roth.) // StudNet. – 2020. – №3. С. 303-311.
30. Федорова Т.А. Флуктуирующая асимметрия листа липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) как биоиндикационный параметр оценки качества среды // Вестник Курганского государственного университета. – 2013. – №3 (30). – С. 41-43.
31. Захаров В. М., Баранов А. С., Борисов В. И., Валецкий А. В., Кряжева Н. Г., Чистякова Е. К., Чубинишвили А. Т. Здоровье среды: методика оценки — М.: Центр экологической политики России, 2000. — 68 с.
32. Мелькумов Г. М., Волков Д. Э. Флуктуирующая асимметрия листовых пластинок клена остролистного (*Acer platanoides* L.) как тест экологического состояния паркоценозов городской среды // Вестник ВГУ. – 2014. – №3. – С. 95-98.
33. Кольченко О. Р., Корниенко В. О. Методический подход к оценке флуктуирующей асимметрии клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях г. Донецка // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2019. – №1. – С. 107-114.
34. Луговская Л. А., Землякова А. В., Межова Л. А., Луговской А. М. Оценка комфортности среды по флуктуирующей асимметрии дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) // Научные ведомости. Серия Естественные науки. – 2016. – №18 (239). – Вып. 36. – С. 87-94.
35. Турмухаметова Н.В. Особенности морфогенеза побегов и феноритмов *Betula pendula* Roth и *Tilia cordata* Mill в условиях городской среды // Автореф. дисс. на соискание уч. степ. кан. биол. наук. Новосибирск, 2005. – 19 с.

FLUCTUATING ASYMMETRY OF THE LEAF OF WOODY PLANTS AS AN INDICATOR OF THE RESISTANCE OF ORGANISMS TO ENVIRONMENTAL FACTORS

Annotation. The paper provides a local analysis of the ecological state of the urbanized environment of Donetsk using *Acer platanoides* L. leaf plates. as a bioindicator. In the course of the study, experimentally obtained indicators of the fluctuating asymmetry of maple leaf plates in areas with varying degrees of anthropogenic impact were compared.

Keywords: plants, fluctuating asymmetry, bioindication, anthropogenic load.

Kotenko D.A.

Scientific director: Kornienko V.O., PhD in Biological sciences, Senior Lecturer
Donetsk state university
E-mail: darinka.kotenko1820@mail.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОВЕДЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШИХ ФИТОМОНИТОРИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ПРОМЫШЛЕННОЙ АГЛОМЕРАЦИИ Г. ШАХТЁРСКА ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

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 по фитомониторингу состояния древесных растений, находящихся в непосредственной близости от породных отвалов и крупных автотранспортных магистралей, были проанализированы картографические материалы и выявлены перспективы для проведения необходимых дальнейших исследований в промышленной агломерации г. Шахтёрска.

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

В связи со сложившимися природно-климатическими и антропогенно-токсическими факторами [1] в промышленных городах Донецкой Народной Республики существует острая необходимость изучения и мониторинга экологической ситуации. Исходя из этого биомониторинговые, диагностические и индикационные исследования являются неотъемлемой частью изучения влияния действия антропогенных факторов и оценки состояния техногенно-трансформированных экосистем в промышленном регионе Донбасс. В Донецком государственном университете на кафедре ботаники и экологии в рамках инициативной государственной темы «Ботаника антропотехногенеза: индикация и оптимизация» [2] молодыми учеными и студентами на регулярной основе проводятся исследования и сбор информации, в том числе по фитоиндикационным данным и фитомониторингу антропогенно трансформированных сред [1; 3-6].

На основании проведённых множественных исследований принято считать, что породные отвалы являются одним из факторов техногенной трансформации экосистем и оказывают негативные влияние на биосистемы [7]. По данным исследования фенотипической пластичности древесных растений в зоне резко повышенной фоновой радиации промышленной агломерации г. Шахтёрск в 2023 году было выявлено, что древесные насаждения вблизи породных отвалов (которые являются источником повышенного радиационного фона) приобретают внешние модификации, такие как искривление ствола и изменения цвета коры [8; 9]. Также отмечено высокое содержание техногенной пыли на листовом аппарате сосны обыкновенной, что указывает ещё и на то, что породные отвалы являются источником большого количества пыли. При дальнейших скрининговых исследованиях была выявлена экранизирующая способность древесных насаждений в период вегетации [10], а также эффективность деревьев в процессе улавливания (осаждения и поглощения) пыли промышленного и транспортного происхождения, в том числе вдоль автотрасс [11].

Рассмотрение перспектив дальнейшего изучения и мониторинга антропогенного воздействия породных отвалов на экосистему является актуальным вопросом и позволит в будущем постепенно ликвидировать и предотвращать негативное действие на окружающую среду.

Цель работы – выявить перспективные направления для ведения фитомониторинговых исследований на территории промышленной агломерации города Шахтёрска.

Проблема большого количества породных отвалов, как побочное явление деятельности многочисленных угледобывающих шахт, на протяжении многих лет

сохраняет актуальность не только среди учёных, но и среди органов власти [12; 13; 14]. Так, по данным государственного комитета по экологической политике и природным ресурсам при главе Донецкой Народной Республики на 08.06.2021 год на территории республики зафиксировано 594 породных отвала (рис.1) [12; 15], 69 из которых находятся на территории промышленной агломерации г. Шахтёрска (рис. 2), что составляет 12% от общего количества породных отвалов в регионе (рис. 3).



Рисунок 1 - Расположение породных отвалов на территории ДНР

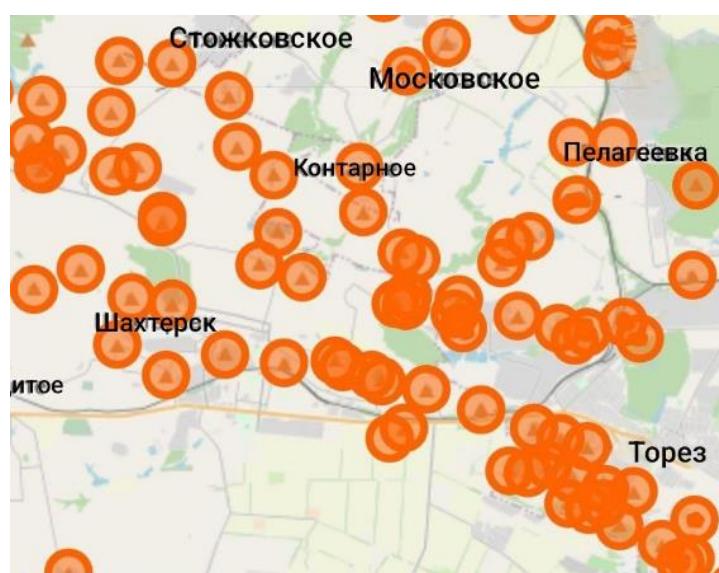


Рисунок 2 - Расположение породных отвалов на территории города Шахтёрска и ближайших населённых пунктов



Рисунок 3 - Соотношение процентного состава породных отвалов в разных городах республики



Рисунок 4 – Крупные породные отвалы г. Шахтёрска (красным обведены породные отвалы, зелёным – жилой сектор)

Исходя из исследований, проводимых в 2023 году [8; 9], можно сделать вывод, что как минимум 3 из 69 породных отвалов г. Шахтерска являются источниками повышенного радиационного фона в непосредственной близости к себе (до 500-1000 м), что, несомненно, создаёт негативные условия для формирования и роста древесных растений.

На картографических материалах (рис. 4) представлены примеры крупных породных отвалов (поллютантное действие которых в перспективе предстоит выяснить), находящихся в непосредственной близости к жилому сектору.

Основываясь на исследованиях, проводимых в других промышленных городах Донецкой Народной Республики [16], в перспективе фитоиндикационных исследований стоит рассмотреть внутренние анатомо-морфологические модификации в строении листовых аппаратов растений-индикаторов, являющихся восприимчивыми к повышенному радиационному фону (Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), Дуб черешчатый (*Quercus robur*), Ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior*)) и растениями, которые наиболее эффективно улавливают и осаждают пыль (Берёза повислая (*Betula pendula*), Робиния ложноакацьевая (*Robinia pseudoacacia*), Тополь чёрный (*Populus nigra*) и Грецкий орех (*Juglans regia*)).

Установлено, что для проведения фитоиндикационных исследований и мониторинга показателей в промышленной агломерации г. Шахтёрска есть достаточное количество объектов, которые нуждаются в регулярном наблюдении и исследовании для снижения негативного действия побочной промышленной деятельности шахт – породных отвалов, и антропогенной нагрузки в городской среде.

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. Сафонов А. И. Опорные разработки в рамках тематического направления по ботанике антропотехногенеза (2022 г.) // Донецкие чтения 2022: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. Донецк: ДонНУ, 2022. С. 113. EDN: ZSZAOG.
3. Калинина А. В. Диагностика эдафотопов некоторых отвалов угольных шахт г. Макеевки методами фитотестирования // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2019. № 1–2. С. 6–12. EDN: OJDSTP.
4. Калинина А. В., Гермонова Е. А. Геостратегическая визуализация фитоценозов породных отвалов угольных шахт г. Макеевки в условиях самозарастания и рекультивации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018. № 3–4. С. 28–34. EDN: KDDDQU.
5. Мирненко Н. С. Оценка состояния пыльцы цветковых растений агломерации г. Донецка // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: сб. матер. науч. конф. ДонНТУ, 2023 б. С. 41–42. EDN: UJGRUE
6. Glukhov A. Z., Safonov A. I. Phytomonitoring concept for anthropogenically disturbed regions // Scientific research of the SCO countries: synergy and integration. Beijing. 2024. Р. 96–104. DOI: 10.34660/INF.2024.87.72.160. EDN: WLKXRD.
7. Закруткин В.Е., Зубова Л.Г., Гибков Е.В., Зубов А.Р., Воробьёв С.Г. Терриконы углепромышленных районов Донбасса как источник воздействия на окружающую среду // Известия вузов. Северокавказский регион. Естественные науки. 2017. №3. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/terrikony-uglepromyshlennyyh-rayonov-donbassa-kak-istochnik-vozdeystviya-na-okruzhayushchuyu-sredu/viewer>
8. 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.
9. 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
10. Крамаренко А.А. Фоновый радиационный учёт в Донбассе в аспекте дендроиндикации // Донецкие

- чтения 2023: образование, наука, инновации, культура и вызов современности. Донецк: ДонНУ, 2023. С. 104.
11. Крамаренко А. А. Эффективность деревьев по пылеосаждению в индустриально загрязненных точках Донбасса // Наука и инновации – современные концепции: сб. статей Международного научного форума, г. Москва, Москва: Инфинити, 2023. С. 167–174. <https://doi.org/10.34660/INF.2023.45.48.011>.
12. Сколько в ДНР терриконов?: сайт ГК Экопол ДНР – 2021 [Электронный ресурс]. URL: [https://gkecopoldnr.ru/08/06/2021/news/terricon/?ysclid=m77ipyidgu557737983_\(18.02.2025\)](https://gkecopoldnr.ru/08/06/2021/news/terricon/?ysclid=m77ipyidgu557737983_(18.02.2025))
13. В республике занимаются минимизацией негативного влияния на окружающую среду породных отвалов: официальный сайт ДНР – 2018 [Электронный ресурс]. URL: [http://archive2018-2020.dnronline.su/2018/08/21/v-respublike-zanimayutsya-minimizatsiej-negativnogo-vliyaniya-na-okruzhayushhuyu-sredu-porodnyh-otvalov/?ysclid=m7b0xiati417154691_\(дата обращения 18.02.2025\)](http://archive2018-2020.dnronline.su/2018/08/21/v-respublike-zanimayutsya-minimizatsiej-negativnogo-vliyaniya-na-okruzhayushhuyu-sredu-porodnyh-otvalov/?ysclid=m7b0xiati417154691_(дата обращения 18.02.2025))
14. Представляют опасность, но таят сокровища: Терриконы в ДНР могут стать источником сырья для промышленности: сайт газеты Комсомольская правда – 2024 [Электронный ресурс]. URL: [https://donetsk-kp-ru.turbopages.org/donetsk.kp.ru/s/daily/27677/5029138/_\(дата обращения 18.02.2025\)](https://donetsk-kp-ru.turbopages.org/donetsk.kp.ru/s/daily/27677/5029138/_(дата обращения 18.02.2025))
15. Отношение: Донецкая область: география терриконов (7749923) Версия № 46 – 2024: [https://www.openstreetmap.org/relation/7749923#map=11/48.0564/38.5247&layers=_\(18.02.2025\)](https://www.openstreetmap.org/relation/7749923#map=11/48.0564/38.5247&layers=_(18.02.2025))
16. Городина И.С. Анатомо-морфологические особенности Сосны обыкновенной в рекреационных зонах г. Макеевки// Вестник СНО ДОННУ. Выпуск 14. Том 1: Естественные науки. – 2022 - С. 37

PROSPECTS FOR FURTHER PHYTOMONITORING STUDIES IN THE INDUSTRIAL AGGLOMERATION OF SHAKHTERSK, DONETSK PEOPLE'S REPUBLIC

Annotation. Based on studies conducted in 2023-2024 on phytomonitoring of the condition of woody plants located in the immediate vicinity of rock dumps and large highways, cartographic materials were analyzed and prospects for conducting the necessary further research in the industrial agglomeration of Shaktersk were identified.

Keywords: phytomonitoring, phytoindication, Donbass, rock dumps, 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

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ВИДОВ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИОННЫХ РАБОТ В ТЕХНОГЕННЫХ ЭКОТОПАХ ДОНБАССА

Кувшинова Е.М.

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

Аннотация. В числе самых действенных методов по восстановлению нарушенных территорий в практике экологического контроля определены методы и способы фиторекультивационных работ, то есть поэтапного создания устойчивого растительного покрова, сохраняющего как грунтово-почвенный слой и предотвращающего эрозию, а также формирующего благоприятную микроклиматическую среду в урбанизированных или техногенных экотопах. В работе проанализированы экспозиции террикоников по наиболее благоприятным местам в испытании фиторекультивантов из числа природной флоры региона для территории Центрального Донбасса.

Ключевые слова: фитооптимизация, рекультивация, фитоиндикация, полемостресс, Донбасс, фитоквантификация, экологический мониторинг, диагностика экосистем.

Индикационные работы по оценке состояния урбанизированных и промышленных экосистем Донбасса [1] являются приоритетной частью работ кафедры ботаники и экологии Донецкого государственного университета [2-5], где решаются как технологические задачи в осуществлении ряда оптимизационных работ, так и внедряются в практику высшего образования [6] те локальные достижения, которые осуществляются с целью ландшафтного, декоративного обогащения техногенных и густонаселенных территорий Северного Приазовья. Рационализаторской задачей таких работ служит накопление практической информации о наиболее адаптированных и приспособленных представителях растительного мира как части реализуемого ресурсного потенциала территории, ёмкость которой для компактизации жизненно важного пространства нуждается в наполнении объектами, регулирующими микроклимат и своим присутствием обеспечивающими восстановительные работы в нарушенных биотопах и экотопах [7, 8].

Цель работы – представить результаты скрининговых работ по определению наиболее удачных (приемлемых) участков для экспериментов по фиторекультивационным работам в новых реальных условиях состояния локальных экосистем Центрального Донбасса. Нужно отметить, что такое направление весьма оправдано, поскольку интегрирует государственный и социальный запрос в регионе в связи с глубокой трансформацией экосистем вследствие как индустриализации, так и обострения полемостресса.

Методической основой для выбора объектов научной специализации в исследовании и мониторинга являются как актуальные сведения о состоянии биотопов в регионе [9–14], включая в первую очередь диагностику по критериям фитокомпонентов, а также сведения и технологические приемы, полученные и апробированные в других территориях России [15–17] по новейшим разработкам дистанционного зондирования и полевого опытного контроля при совмещении данных со спутников и непосредственной наземной инструментальной работы ученых. Промышленная ботаника, фитотестирование и установление адаптационных механизмов растений [18–20] определенно сопряжены со сложной картиной биогеохимических процессов [21–23], анализируемых как в ретроспективном отношении [24], так и требующих актуальной перспектификации данных для рационального природопользования в экологически напряженных регионах, среди которых выделяется и Донбасс.

За основу для достижения цели были взяты модельные терриконы (терриконики), которые по специфике расположения и реальной доступности к исследованиям представляют собой площадки в многолетних уже реализуемых работах, а также, безусловно, нуждаются в постоянном мониторинге успешности существующих и разработке более продуктивных способов озеленения. Локации учетных площадок представлены на рисунке 1.



Рис. 1 – Схема расположения учетных площадок для анализа проективного покрытия
ремедиантами в техногенных экосистемах Донецка и Макеевки

Наиболее комфортными для эффективности озеленения террикона являются северо-восточные склоны. Ортодоксально восточные экспозиции больше подвержены золовым процессам в Донбассе, южные и западные экспозиции являются критически сложными по причине высоких летних температур, что нивелирует возможность фиторекультивационных работ в условиях отсутствия предварительных манипуляций грунтоподготовки и формирования первичного травянистого яруса.

Более детально на рисунке 2 продемонстрированы характеры растительного покрова травянистого яруса для терриконов 3 и 7, что даёт возможность проводить дифференциацию на микроэкотопическом уровне. Нужно отметить, что процент абсолютного задернения (98-100% проективного покрытия) характерен только до 45-55% учетных площадок, что создает необходимость продолжения оптимизационных работ на этих территориях.

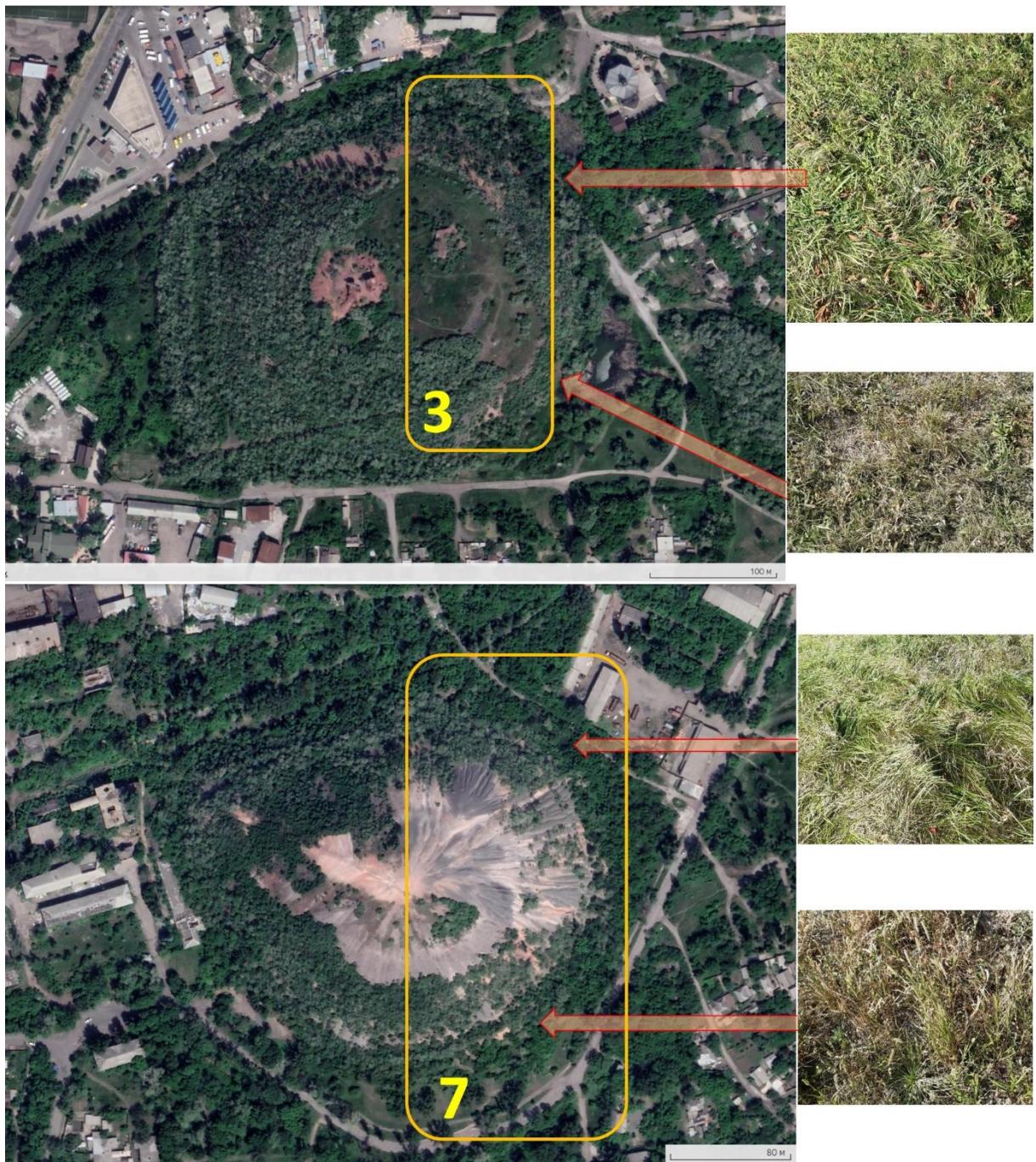


Рис. 2 – Детализация учетных площадок по формированию растительного покрова в разных частях одной учетной площадки мониторинга техногенного объекта

Составлен список видов растений, полноценно представленных в сообществах успешного формирования растительного покрова травянистого яруса: *Phleum pratense* L. (в большинстве случаев формирует монодоминантные заросли и выдерживает высокий

уровень токсической нагрузки), *Plantago lanceolata* L., *Elytrigia stipifolia* (Czern.) Nevski, *Astragalus cicer* L., *Trifolium campestre* Schreb., *Echium vulgare* L. (в экспериментальных сообществах могут выступать в качестве субдоминантов, удобны для сбора семенного материала и распространения элементов диссеминации в пределах своей субпопуляционной структуры на терриконе), *Picris hieracioides* L., *Verbascum lychnitis* L., *Trifolium pratense* L., *Oenothera biennis* f. *stenopetala* (E.P.Bicknell) B.Boivin, *Cirsium vulgare* (Savi) Ten., *Setaria verticillata* (L.) P. Beauv. (с точки зрения геоботанической представленности рассматриваются в качестве ассектаторов, играют важную диагностическую функцию, однако их представленность в разные годы может сильно варьировать, что, по-видимому, связано с индивидуальными видовыми особенностями, т.е. таксоноспецифично на видовом уровне при оценке рекультивационного успеха).

Таким образом, в числе самых действенных методов по восстановлению нарушенных территорий в практике экологического контроля определена важность поэтапного создания устойчивого растительного покрова, сохраняющего как грунтово-почвенный слой и предотвращающего эрозию, а также формирующего благоприятную микроклиматическую среду в урбанизированных или техногенных экотопах с помощью отдельных видов растений.

Исследование выполнено в рамках молодежной лаборатории «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (номер госрегистрации 124051400023-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Phytomonitoring in Donbass for Identifying New Geochemical Anomalies / I.I. Zinicovscaia, 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.
2. 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.
3. Сафонов А.И. Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций: монография. – Донецк: Издательский дом «ЭДИТ», 2024. – 289 с. – ISBN 978-5-605-24266-6. – EDN QVJSQE.
4. Сафонов А.И., Калинина Ю.С., Палагута А.П. Тератогенные эффекты как индикаторные свойства цветковых растений урбанизированных территорий Донецкой агломерации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2024. – № 2. – С. 20-30. – DOI 10.5281/zenodo.13949289. – EDN CZPYKY.
5. Калинина Ю.С., Сафонов А.И. Рабочая схема ландшафтной индикации в Донецке: дизайн и критерии устойчивости геосистем // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2024. – № 3. – С. 14-23. – DOI 10.5281/zenodo.14531840. – EDN GAKMLH.
6. Сафонов А.И., Калинина Ю.С. Внедрение научных разработок по озеленению в образовательный процесс ДонГУ // Ботанические сады и озеленение населенных мест. – Симферополь: КФУ, – 2024. – С. 252-254. – DOI 10.5281/zenodo.12813138. – EDN HLNNBF.
7. 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.
8. 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.
9. Сафонов Р.А., Калинина Ю.С. Научно-технологические перспективы палеонтологического краеведения в Донбассе // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. – Донецк: ДонНТУ, 2024. – С. 240-241. – EDN JJXAYE.
10. Калинина Ю.С., Сафонов Р.А. 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.

11. 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.
12. 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.
13. Корниенко В.О. Ретроспективный анализ антропогенного загрязнения города Донецка. Вибрационно-акустическое зашумление // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2024. – № 1. – С. 93-100. – DOI 10.5281/zenodo.12532574. – EDN TSWEOI.
14. Антропова Л.П. Жизнеспособность древесных растений города Горловки, ДНР // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет". – 2024. – Т. 1, № 16. – С. 27-33. – EDN AHJSFR.
15. Епринцев С.А., Шекоян С.В., Жигулина Е.В. Оптимизация экологических условий городов как механизм обеспечения устойчивого развития территории // Донецкие чтения 2021: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. – Донецк: ДонНУ, 2021. – С. 77-80. – EDN DBYYIZ.
16. 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.
17. Епринцев С.А., Клепиков О.В., Шекоян С.В. Дистанционное зондирование Земли как способ оценки качества окружающей среды урбанизированных территорий // Здоровье населения и среда обитания - ЗНиСО. – 2020. – № 4(325). – С. 5-12. – DOI 10.35627/2219-5238/2020-325-4-5-12. – EDN EPIXWM.
18. Галактионова Е.В. Совместные разработки по ризологическому фитотестированию почв в нарушенных биотопах // Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2024. – С. 45. – EDN CGDODP.
19. Glukhov A.Z. Adaptive mechanisms in plants under conditions of anthropogenic transformation of the environment // Science. Education. Practice. – Delhi: Scientific publishing house Infinity, 2024. – Р. 108-115. – DOI 10.34660/INF.2024.63.35.069. – EDN AZWMYE.
20. Крамаренко А.А. Экспериментальные данные по фитооптимизации техногенной среды - образовательный ресурс // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. – Донецк: ДонНТУ, 2024. – С. 234-235. – EDN HMUXXQ.
21. Сафонов А.И., Догадкин Д.Н., Неспирный В.Н. Фитогеохимические особенности некоторых отвалов угольных шахт в Донбассе // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2024. – № 3. – С. 86-99. – DOI 10.5281/zenodo.13758560. – EDN OZLOUB.
22. Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Сборник материалов Всероссийской научной конференции (с международным участием) аспирантов и обучающихся, Донецк, 17–18 апреля 2024 года. – Донецк: ДонНТУ, 2024. – 417 с. – EDN AYSIFI.
23. 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.
24. Петкогло О.В. Ретроспективный анализ интерьерной и ландшафтной фитооптимизации промышленной среды (к 100-летию профессора М.Л. Ревы) // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2022. – № 3. – С. 72-79. – EDN GTDDEL.

RATIONALE FOR THE CHOICE OF PLANT SPECIES FOR RECLAMATION WORKS IN TECHNOGENIC ECOTOPES OF DONBASS

Annotation. Among the most effective methods for restoring disturbed territories in the practice of environmental control are defined methods and ways of phytoreclamation works, that is, the step-by-step creation of a stable vegetation cover that preserves both the ground and soil layer and prevents erosion, as well as forms a favorable microclimatic environment in urbanized or technogenic ecotopes. The work analyzes the exposure of waste heaps in the most favorable places in testing phytorecultivants from among the natural flora of the region for the territory of Central Donbass.

Keywords: phytoreoptimization, recultivation, phytoindication, polemostress, Donbass, phytoquantification, environmental monitoring, ecosystem diagnostics.

Kuvshinova E.M.

Scientific adviser: Sаfonov A.I. Ph.D., Head of the Department of Botany and Ecology
Donetsk State University
E-mail: kf.botan@donnu.ru

ВИБРАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА, КАК ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ В ГОРОДЕ ДОНЕЦКЕ

Реуцкая В.В.

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

Аннотация. В статье представлены результаты исследования вибрационного воздействия трамваев на деревья различных пород (*Populus nigra*, *Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus laevis*). Анализ показал, что движение трамваев вызывает вибрации с пиковыми значениями амплитуды около 10 мкм и доминирующими низкими частотами (<10 Гц) и высокими частотами (27-130 Гц). Вибрации от поездов имеют более широкий частотный диапазон (1-200 Гц и выше). Параллельно с исследованием вибраций, был проведен анализ транспортного потока вдоль пр. Павших Коммунаров, выявивший преобладание легкового транспорта (10-12 ед./мин). Максимальный уровень шума, зафиксированный в районе депо вдоль пр. Павших Коммунаров, составил 80,9 дБ.

Ключевые слова: вибрация, шум, транспортный поток, древесные растения, экология.

Введение. Вибрации являются неотъемлемой частью окружающей среды, оказывая как статическое, так и динамическое воздействие на живые организмы. Основными источниками загрязнения и как следствие проявление экологических нарушений в городской среде Донбасса является автотранспорт, результаты военных действий, промышленные предприятия, ветер, осадки, перемещение животных и др. [1-18]. Динамическое воздействие вибраций от железнодорожного транспорта проявляется в изменениях давления в почве и окружающем воздухе. Подобно ветровым нагрузкам, вибрации порождают колебания почвы и акустические волны, каждое из которых оказывает специфическое влияние [9–11]. Однако вибрация – это не только потенциальная помеха, но и важный источник информации об изменениях в окружающей среде, особенно в городской среде [12–16], подверженной воздействию железнодорожного транспорта. Подобно тому, как животные создают вибрации, железнодорожный транспорт является источником постоянных колебаний, действующих на почву, здания и инфраструктуру, а также оказывающих влияние на живые организмы. Подобно тому, как ветер по-разному действует на различные части растения, вибрации от железнодорожного транспорта могут неодинаково влиять на окружающую городскую среду, распространяясь на разные расстояния и взаимодействуя с различными типами почв. В то время как в естественной среде вибрации могут нести информацию о наличии фитофагов и быть важным (хотя и не всегда благоприятным) источником информации для растений, вибрации от железнодорожного транспорта служат сигналом об антропогенном воздействии. Таким образом, вибрации представляют собой важную экологическую составляющую городской среды, требующую тщательного изучения и оценки [17,18].

В связи с вышеизложенным, основной целью данной работы является исследование влияния вибрационно-акустического шума на жизнеспособность тополя Болле, произрастающего на проспекте Павших Коммунаров и улице Ивана Ткаченко в городе Донецке.

Материалы и методы. Исследовано вибрационное воздействие железнодорожного транспорта, трамвай по маршруту №3, г. Донецк, на живые ткани деревьев. Изучены участки трамвайной колеи с различным расположением насаждений (*Populus nigra*, *Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia* и др.) относительно путей. Измерения вибраций проводились на корнях и стволах деревьев. Например, движение трамвая (до

15 км/ч) вызывало на корне *Acer negundo* вибрации длительностью до 7,5 с, с пиковыми значениями амплитуды около 10 мкм.

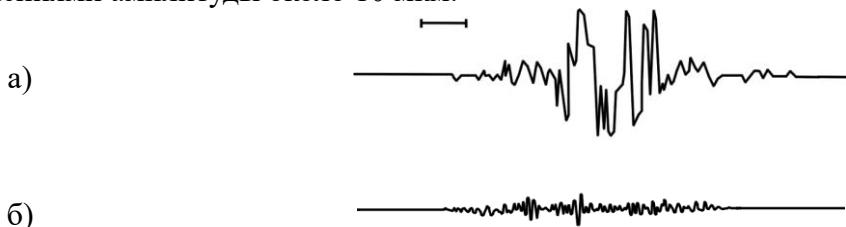


Рисунок 1 – Осциллограмма вибрации корня *Acer negundo* (а) и *Robinia pseudoacacia* (б) в том же ряду. Масштаб черты – 1с

Вибрационно-акустические исследования проводили вдоль пр. Павших Коммунаров и ул. Ивана Ткаченко г. Донецка (рис. 2). Измерения уровня шума и вибраций проводили с шагом 30-50 метров в непосредственной близости от автотрассы с использованием откалиброванного шумометра.

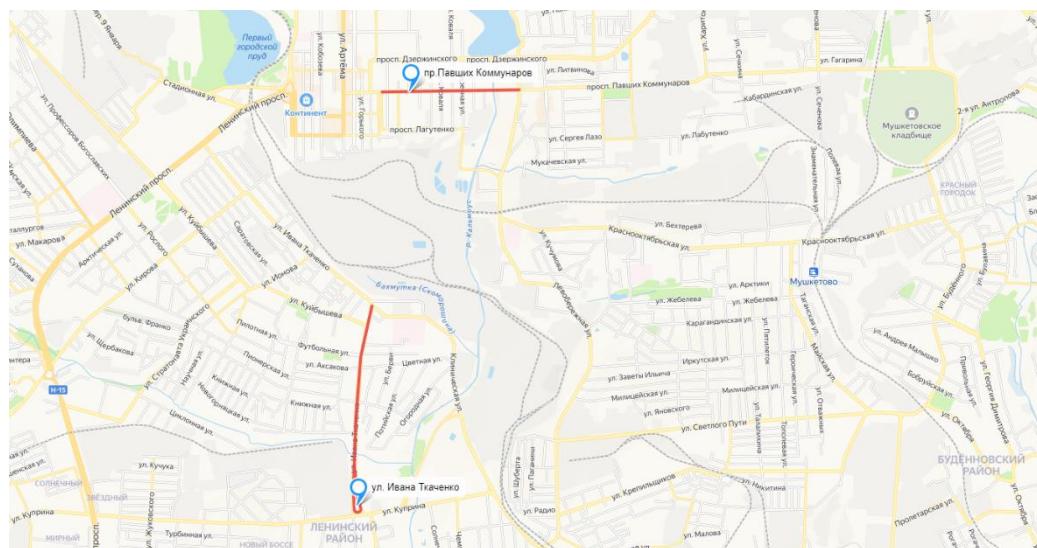


Рисунок 2 – территория исследуемых объектов вдоль пр. Павших Коммунаров и ул. Ивана Ткаченко

Жизнеспособность и общее состояние древесных растений оценивались с применением интегральной общепринятой шкалы Алексеева.

Результаты исследований и их обсуждения. В районе депо пр. Павших Коммунаров зафиксированы следующие значения уровня шума: максимальный – 80,9 дБ, минимальный – 59,0 дБ (рис. 3). Проведен анализ интенсивности транспортного потока вдоль исследуемых участков. Отмечено преобладание легкового транспорта (10-12 ед./мин), при этом автомобили отечественного производства составляют меньшую долю (4-5 ед./мин). Внедорожники встречаются реже (около 1 ед./мин), автобусы – менее 1 ед./мин.

Среди общественного транспорта доминируют микроавтобусы, что свидетельствует о специфике транспортной инфраструктуры города. Количество больших и средних автобусов значительно ниже, троллейбусы курсируют с интервалом около 8-10 минут. В грузовом потоке преобладают грузовые микроавтобусы, что может указывать на особенности логистики и грузоперевозок в данном районе.

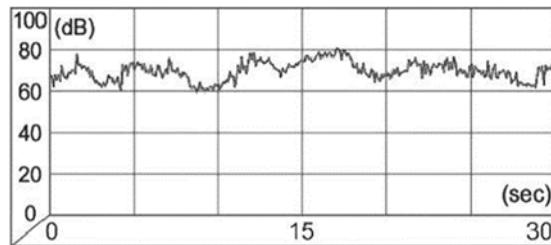


Рисунок 3 – Амплитудно-частотный спектр, полученный в месте Депо на проспекте Павших Коммунаров

Вибрационный анализ *Robinia pseudoacacia* выявил доминирующие низкие частоты (<10 Гц): 4; 0,8; 1,25; 1,88 Гц. В диапазоне высоких частот: 27-33; 60-74; ~108; ~120; ~130 Гц. Амплитуда вибраций зависит от направления и глубины корневой системы. При креплении датчика на высоте 25-30 см у *R. pseudoacacia* преобладают частоты 60-70 Гц (с меньшей амплитудой 120-140 Гц). У деревьев второго ряда доминируют частоты 30-35 и 60-65 Гц (пики меньшей амплитуды ~100 Гц). Колебания от трамваев у *R. pseudoacacia* первого ряда незначительно выше, чем во втором (рис. 4). Анализ вибрационного воздействия на *R. pseudoacacia* и *Populus pyramidalis* показал преобладание частот 30-60 Гц (пики меньших амплитуд ~8, ~16, ~100 Гц, в некоторых случаях 170-180 и >200 Гц). Амплитуды вибраций на деревьях первого ряда незначительно выше, чем во втором (расстояние ~3 м).

а

б

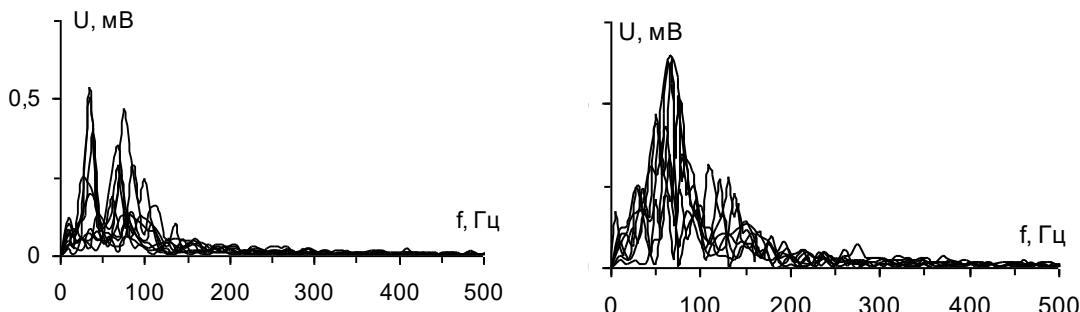


Рисунок 4 – Амплитудные спектры вибрации стволов *Robinia pseudoacacia* от движения трамвая: а – в первом ряду; б – во втором ряду зеленой полосы

а

б

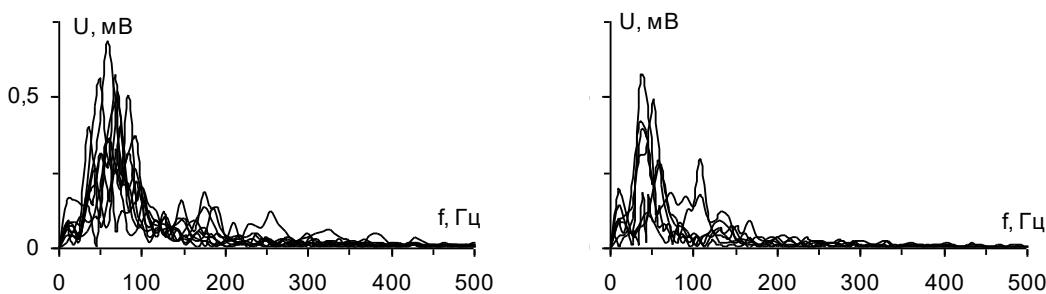


Рисунок 5 – Амплитудные спектры вибрации стволов *Robinia pseudoacacia* от движения трамвая; а – в первом ряду; б – во втором ряду зеленой полосы

Вибрации *R. pseudoacacia* между трамвайными путями значительно сильнее и продолжительнее, чем описанные ранее (рис. 5 б, 4а). Частотный диапазон – от долей

герца до 100 Гц и выше (рис. 6 б). Пиковые значения различаются у разных деревьев из-за близости к дефектам трамвайных путей, вызывающим эти сильные вибрации.

На участке трамвайной колеи дефекты вызывают вибрацию грунта. Амплитуда вибрации выше на деревьях *Pinus excelsa* на заасфальтированной площадке (Рис. 6 а), чем на самой площадке (Рис. 6 б), из-за распространения волны по корням с меньшим затуханием. Кирпичный забор снижает амплитуду на площадке. Вибрации *Ulmus laevis* от товарных поездов имеют более широкий частотный диапазон (1-2, ~8, ~30, ~55, 75-90, 115-120, 145-160, 190-200 Гц). Низкие частоты модулируются скоростью и расстоянием между колесами вагонов, высокие перекрываются с трамвайными и соответствуют акустическому шуму. Вибрации передаются на ствол дерева как через грунт, так и по воздуху.

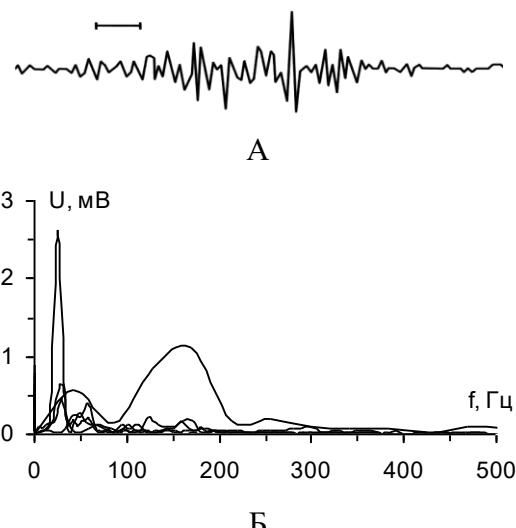


Рисунок 6 – Пример осциллограммы вибрации ствола робинии псевдоакации (а), от движения трамвая. Масштаб черты – 1с. Амплитудные спектры осциллограмм вибраций (б)

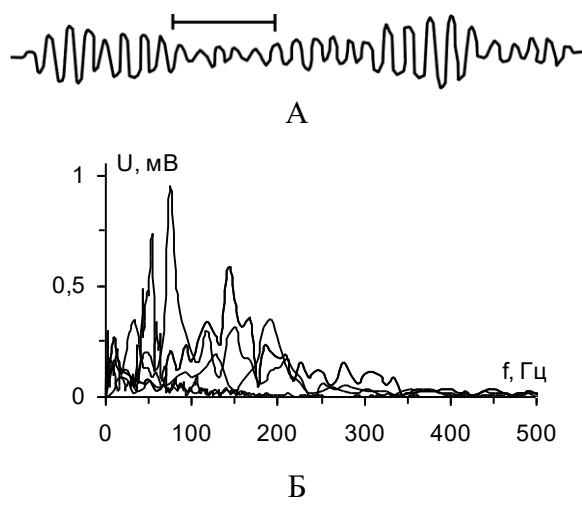


Рисунок 7 – Пример осциллограммы вибрации ствола вяза гладкого, вызванной движением товарного поезда (а). Масштаб черты – 100 мс. Амплитудные спектры осциллограмм (б)

Движение жд транспорта вызывает вибрации деревьев в диапазоне частот от единиц до 200 Гц и выше, с пиками в районе 30-80 Гц. С экологической точки зрения, эти

вибрации являются постоянным фактором воздействия, требующим изучения биологических эффектов. Различия в свойствах деревьев могут влиять на их устойчивость к вибрационному и химическому воздействию транспорта в городской среде, что требует дальнейших исследований. Частично первые шаги в этом направлении были сделаны в 2024 году и оценено состояние тополя Болле (рис. 8).

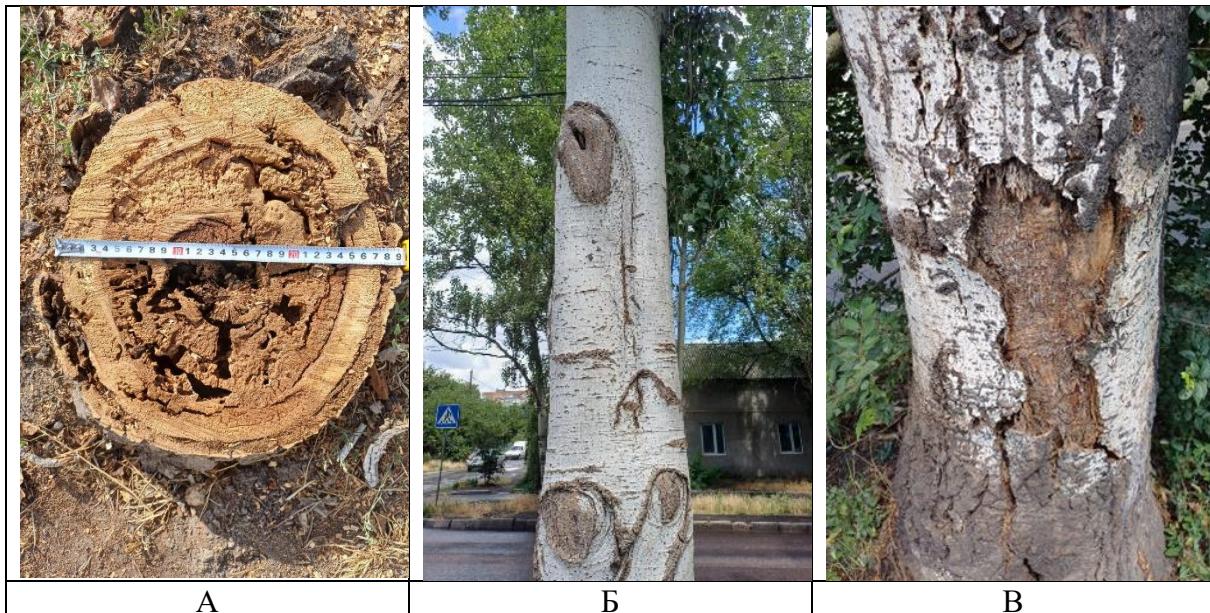


Рисунок 8 – Нарушенія ствала *Populus bolleana* L. на улице Ивана Ткаченко и пр. Павших Коммунаров

Примечания: А – стволовая гниль; Б – открытые раны после неправильной обрезки или облома скелетных ветвей; В – отслоение коры дерева.

Выходы. Анализ данных показал, что движение трамваев вызывает вибрации с пиковыми значениями амплитуды около 10 мкм и доминирующими низкими частотами (<10 Гц) и высокими частотами (27-130 Гц). Параллельно с исследованием вибраций, был проведен анализ транспортного потока вдоль, выявивший преобладание легкового транспорта (10-12 ед./мин) и зашумления территории: максимальный уровень шума, зафиксированный в районе депо вдоль пр. Павших Коммунаров, составил 80,9 дБ. Дальнейшие исследования будут направлены на поиск ответных реакций древесных растений, а также оценке состояния видов в условиях действия выявленных значений физических факторов.

Исследование выполнено в рамках деятельности молодежной лаборатории «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (№ госрегистрации НИОКР 124051400023-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корниенко В. О. Влияние экологических факторов на физико-механические свойства, морфометрию и аллометрию древесных растений урбоэкосистем (на примере города Донецка): спец. 1.5.15 "Экология (биологические науки)": дис. ...канд. биол. наук / Корниенко Владимир Олегович. - Донецк, 2022. - 166 с. EDN: [QYUEP](#)
2. Сафонов А. И. Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций // Донецк: ДонГУ, 2024. – 288 с. EDN: QVJSQE
3. 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. – №. 7. – P. 806–816.

4. Kharchenko N.N., Kalaev V.N., Kornienko V.O. Mechanical resistance of *Quercus robur* L. at the environmental boundary of the species distribution in the steppe // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – P. 12049. DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/012049 EDN: HNQTEI
5. Zinicovscaia I.I., Safonov A.I., Yushin N.S., Nespirnyi V.N., Germonova E.A. Phytomonitoring in Donbass for Identifying New Geochemical Anomalies // Russian Journal of General Chemistry. – 2024. – Vol. 94. – P. 3472–3482 DOI:10.1134/S1070363224130048
6. 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
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. Safonov A. Changes in plant CSR strategies under new anthropogenic transformations // E3S Web of Conferences. – 2025. – Vol. 614. – P. 04022 DOI:10.1051/e3sconf/202561404022
9. 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/snv2024131104 EDN: LYEGSZ
10. Корниенко В. О., Калаев В. Н. Механическая устойчивость можжевельника виргинского в условиях степной зоны Восточно-европейской равнины // Лесоведение. – 2024. – № 1. – С. 70-78. DOI: 10.31857/S0024114824010084 EDN: SLLJXY
11. Сафонов А.И., Догадкин Д.Н., Неспирный В.Н. Фитогеохимические особенности некоторых отвалов угольных шахт в Донбассе // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2024. – № 3. – С. 86-99. DOI: 10.5281/zenodo.13758560
12. Сафонов А.И. Атипичный морфогенез фитоиндикаторов в экологическом мониторинге Донецка // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2024. – № 4. – С. 94-101.
13. Корниенко В. О., Кольченко О. Р., Матвеева Т. Б. *Acer platanoides* L. в условиях антропогенной нагрузки г. Донецка // Самарский научный вестник. – 2019. – Т. 8. – № 3 (28). – С. 46-52. DOI: 10.24411/2309-4370-2019-13107
14. 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
15. Корниенко В.О. Ретроспективный анализ антропогенного загрязнения города Донецка. Вибрационно-акустическое зашумление // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2024. – № 1. – С. 93-100. DOI: 10.5281/zenodo.12532574
16. 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
17. Корниенко В.О., Хархота Л.В. Мониторинг состояния древесных растений центральной части города Донецка // Самарский научный вестник. – 2023. – Т. 12. – № 2. – С. 46-51. DOI: 10.55355/snv2023122107
18. Кольченко О. Р., Корниенко В. О. Методический подход к оценке флюктуирующей асимметрии клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях г. Донецка // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2019. – №1. – С. 107-114.

ANTHROPOGENIC FACTORS AND THEIR IMPACT ON THE BIODIVERSITY OF WOODY PLANTS IN CITIES. (REVIEW OF THE LITERATURE)

Annotation. The article presents the results of a study of the vibration effect of trams and trains on trees of various species (*Populus nigra*, *Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus laevis*). The analysis showed that the movement of trams causes vibrations with peak amplitude values of about 10 microns and dominant low frequencies (<10 Hz) and high frequencies (27-130 Hz). Train vibrations have a wider frequency range (1-200 Hz and higher). In parallel with the vibration study, an analysis of the traffic flow along the ave. Fallen Communards, which revealed the predominance of light transport (10-12 units/min). The maximum noise level recorded in the depot area along the ave. The number of fallen Communards was 80.9 dB.

Keywords: vibration, noise, traffic flow, woody plants, ecology.

Reutskaya V.V

Scientific director: Kornienko V.O., PhD in Biological sciences, Associate Professor Donetsk state university
E-mail: reutskaya_lerochka@mail.ru

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СОСТОЯНИЕ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДАХ

Реуцкая В.В.

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

Аннотация. Данная работа посвящена аналитическому обзору современных источников информации по влиянию антропогенных факторов на состояние древесных растений в городской среде и вблизи промышленных предприятий. Рассмотрены результаты исследований, посвященных оценке состояния почв и растений, произрастающих на территориях с разной степенью антропогенной нагрузки. Особое внимание уделено воздействию загрязнения воздушной среды и почв, на жизненное состояние, видовой состав и физиологические характеристики древесных растений. В работе дается оценка устойчивости различных видов деревьев к антропопрессингу, анализируются диагностические признаки ухудшения состояния растений и рассматриваются стратегии улучшения состояния уличных насаждений.

Ключевые слова: зелёные насаждения, древесные растения, антропогенный фактор, урбанизация, городская среда.

Введение. Городская среда существенно отличается от естественных условий, в которых происходило формирование физиологических и морфологических особенностей древесных растений. Становление городов ведет к созданию новых экосистем, где взаимодействие антропогенных факторов с природными процессами становится ключевым аспектом [1-3]. В условиях урбанизации древесные растения подвергаются воздействию множества абиотических и биотических стрессоров, таких как загрязнение воздуха и почвы, недостаток влаги, повышенная температура, механические повреждения, вибрационно-акустический шум, что может приводить к снижению видового состава древесной растительности [4,5]. Комплексное воздействие этих факторов может вызывать изменения в морфологии (например, изменение формы кроны), физиологии (например, снижение интенсивности фотосинтеза) и устойчивости к неблагоприятным условиям окружающей среды [6-8]. Неправильные подходы к озеленению с использованием интродукцентов без учета экологических особенностей местности также приводят к негативным последствиям [9,10]. Важно проводить мониторинг состояния древесных насаждений в различных зонах урбанизированной среды, чтобы выявить ключевые проблемы и найти пути их решения.

В статье Н.Е. Серебрякова с соавторами [11] исследуется влияние антропогенно трансформированных почв (урбопочв) на устойчивость древесных пород в условиях городской среды Йошкар-Олы. Изучалось состояние почв и растений в различных локациях города, характеризующихся разной степенью антропогенной нагрузки. Отмечено, что гранулометрический состав почвы на исследуемых участках преимущественно суглинистый, с тенденцией к утяжелению в придорожных зонах и на площадях, что свидетельствует о повышенной антропогенной нагрузке (например, уплотнении). Уплотнение почвы, особенно выраженное вблизи автодорог и автопарковок, негативно сказывается на росте и развитии деревьев, вызывая суховершинность. Выявлено повышенное содержание нефтепродуктов в почвах с интенсивным движением автотранспорта, что приводит к изменениям физико-химических и микробиологических свойств почвы, снижая продуктивность биоценозов. Также зафиксирована щелочная реакция почвы (рН до 8.2), что может ограничивать доступность ряда питательных элементов для растений, не адаптированных к таким условиям. Несмотря на это, отмечается высокое содержание подвижных форм калия и легкорастворимых соединений фосфатов, необходимых для роста растений. Однако, это

может быть связано с антропогенным загрязнением (например, отходами дорожного движения или внесением удобрений). Оценка жизнестойкости растений (рябина обыкновенная, липа мелколистная, ель колючая *"Glaucia"* и ель европейская) по импедансу ПКТ ствола показала общее снижение жизненности в городских условиях, особенно выраженное у рябины на участках с сильным уплотнением и щелочной почвой. У липы мелколистной результаты варьировались в зависимости от года наблюдения, что может быть связано с колебаниями антропогенной нагрузки или адаптацией вида. Ель колючая *"Glaucia"*, считающаяся устойчивой, также демонстрировала признаки ослабления на центральной площади с сильно уплотненной почвой.

Т. В. Терещенко в своей статье [12] рассматривает влияние антропогенных факторов городской среды на состояние древесных растений. Подчеркивая, что деревья в городах, таких как Волгоград, подвержены воздействию загрязненного воздуха (твердые частицы, озон, диоксид серы, оксид углерода, оксид азота) и транспортной пыли, автор исследует, как это воздействие отражается на здоровье липы мелколистной и каштана конского. Исследование, проведенное на 9 участках Волгограда, основывается на визуальной оценке состояния деревьев и анализе химического состава листьев и почвы. Использовались методы ГОСТ и статистические инструменты (Excel, Salstat for Windows) для выявления корреляций между состоянием деревьев (оцениваемым по балльной системе) и содержанием химических элементов. Результаты показали, что на большинстве участков состояние деревьев оценивается как хорошее. Статистический анализ выявил значимые корреляции между содержанием определенных элементов (Са и Mn в листьях липы, K и Cd в почве на участках произрастания конского каштана) и состоянием деревьев. Высокое содержание K, Ca и Fe в листьях липы положительно коррелировало со здоровьем деревьев. Для каштана было установлено, что содержание калия в почве положительно влияет на состояние деревьев.

А.Н. Сидоренко в своей работе [13] посвятил оценке состояния древесных насаждений центральных улиц г. Уссурийска, акцентируя внимание на их ионизирующей способности и фитонцидной активности. Автором были выделены наиболее устойчивые местные виды, такие как абрикос маньчжурский, груша уссурийская и ясень маньчжурский, а также показана уязвимость интродуцированных видов (тополь черный, клен ясенелистный) к городским загрязнениям и низким температурам. Оценка состояния растений проводилась по методикам В.А. Алексеева и Н.С. Шиховой, что позволяет сравнивать полученные результаты с данными других исследований в этой области. Большинство видов имеют высокий индекс жизнеспособности и относятся к здоровым или слабо поврежденным. Преобладают молодые и средневозрастные растения. Повреждения вредителями и болезнями оценивались по 3-балльной шкале, большинство растений слабо поражены.

Е.А. Парахина и др. [14] представили исследование эколого-биологических особенностей древесных растений уличных насаждений в городе Орел. Авторы фокусируются на видовом составе, жизненном состоянии и экологическом статусе деревьев в городской среде. В Орле выявлено ограниченное видовое разнообразие уличных насаждений (10 видов), с преобладанием конского каштана, березы, кизильника, ясения и ивы белой. Отмечены различия в видовом составе в зависимости от типа застройки. Оценка жизненного состояния показала преобладание поврежденных растений (45.5%), при этом ясень обыкновенный и конский каштан особенно подвержены воздействию вредителей. Неправильная обрезка негативно сказывается на санитарно-гигиенических и декоративных качествах деревьев. Кустарники проявляют большую устойчивость к городским условиям, однако требуют тщательного ухода. Авторы подчеркивают необходимость расширения видового состава и улучшения ухода за уличными насаждениями для поддержания экологического баланса и предотвращения аварийных ситуаций.

Д. Котова и И.В. Волкова [15] проводили исследования в различных зонах города Астрахани, которые показали различия в доминирующих видах древесных пород. В фоновой зоне (остров Городской) преобладают вяз малый и ясень обыкновенный, тогда как в селитебной зоне (ул. 28-й Армии) — вяз малый и тополь белый. В зонах повышенной антропогенной нагрузки (пересечение ул. Савушкина и ул. А. Барбюса) доминирует вяз малый, а в рекреационной зоне (Братский сад) — гибискус сирийский, ель голубая и сосна обыкновенная. Состояние древостоя в фоновой зоне оценивается как здоровое ($K < 1,5$), что указывает на относительно благоприятные условия для роста деревьев.

В исследовании А.А. Мастич [16] анализируется влияние антропогенной нагрузки на рост и развитие ели колючей (*Picea pungens*) в городской среде Гомеля. Автор выявляет, что основные загрязнители воздуха (формальдегид, фтористый водород, твердые частицы, фенол, аммиак, оксид углерода) негативно влияют на жизнеспособность деревьев, снижая их высоту и диаметр. Сравнительный анализ различных форм ели колючей (голубой, зеленой и переходной) демонстрирует, что переходная форма обладает большей адаптивностью к городским условиям, в то время как голубая форма проявляет меньшую устойчивость, что может быть связано с особенностями строения и функционирования воскового налета на хвое.

Исследования экологического состояния зеленых насаждений в промышленных районах [17] показывают, что их жизнеспособность зависит от уровня техногенного воздействия. Методика оценки состояния деревьев оценивали В.А. Алексеевым и В.П. Тарабриным. Основанные на анализе морфометрических параметров (развитость кроны, степень изреженности, наличие сухих ветвей и др.). Жизненное состояние растений оценивалось по шкале: здоровые (100–80 %), ослабленные (79–50 %), сильно ослабленные (49–20 %) и разрушенные (менее 19 %). Анализ данных показал, что с увеличением интенсивности загрязнения снижается жизненное состояние деревьев. В зоне влияния Новолипецкого металлургического комбината большинство тополей итальянских классифицируются как сильно ослабленные. Аналогичная тенденция наблюдается вблизи АО «Липецкцемент», где преобладают ослабленные деревья. Диагностическими признаками ухудшения состояния насаждений являются дехромация листьев, хлорозы, верхушечные некрозы и повреждения фитопатогенами. В жилых и рекреационных зонах состояние насаждений лучше, однако даже там наблюдаются повреждения насекомыми-вредителями и галлобразователями. В парках города Липецка представлены все категории жизненного состояния, но здоровые деревья преобладают (более 80 %). В то же время в исторических парках, таких как Нижний парк и «Быханов сад», состояние насаждений различается в зависимости от удаленности от источников загрязнения. Так, вблизи дорог и промышленных объектов отмечаются сильно ослабленные и сухостойные экземпляры, тогда как на удаленных участках преобладают здоровые деревья.

В. В. Иеронова [18] оценивала экологическое состояние древесной растительности в городской среде Тюмени, используя шкалу Д.Н. Цыганова для анализа экологической структуры. В исследуемом городе выявлено доминирование семейств *Rosaceae*, *Salicaceae* и *Pinaceae*, что соответствует общегородским тенденциям. Основные древесные породы, такие как *Betula pendula*, *Populus balsamifera* и *Pinus sylvestris*, демонстрируют различную степень устойчивости к стрессовым факторам городской среды. Однако общее жизненное состояние деревьев оценивается как критическое, с преобладанием сильно ослабленных экземпляров (2 балла по оценочной шкале), особенно вблизи автодорог. Наиболее благоприятные условия для растительности наблюдаются в лесопарковых зонах, вдали от интенсивного загрязнения, где доминируют деревья с минимальной степенью ослабленности. Флористический анализ выявил 29 видов древесно-кустарниковых растений, относящихся к 15 семействам, где

преобладают древесные формы (65,5%). Эколого-ботаническая оценка подтверждает доминирование мезофитов (74,0%). Особое внимание уделяется влиянию антропогенной нагрузки, в частности воздействию автотранспорта, которое является ключевым фактором ухудшения состояния растительности. Хотя разовые выбросы загрязняющих веществ в целом не превышают установленные нормы, их концентрация приближается к предельным значениям, что усугубляет негативное воздействие на деревья.

К. В. Шестак и А. И. Пулатова [19] провели исследование роста и развития древесных растений в условиях антропогенного воздействия, изучив влияние городской среды Центрального района Красноярска на их физиологическое состояние и декоративные качества. В зоне городского озеленения было установлено замедление роста у *Acer negundo*, *Juglans mandshurica*, *Tilia cordata* и других видов. Хотя явные признаки угнетения у большинства растений отсутствовали, наблюдалось снижение интенсивности роста побегов и уменьшение размеров листовых пластин, что указывало на наличие физиологических нарушений. Исследователи оценили декоративность видов в разные фенологические периоды, выделив *Berberis vulgaris*, *Sorbus aucuparia* и *Malus baccata* как наиболее привлекательные в городских условиях благодаря длительной эстетической привлекательности, осенней окраске и обильности плодов, а также эффектному цветению, соответственно. *Syringa josikaea*, *Tilia cordata* и *Juglans mandshurica*, несмотря на повреждения, сохраняли высокую декоративность, в то время как *Populus balsamifera* был признан наименее декоративным. Анализ существующих насаждений выявил их низкое декоративно-эстетическое состояние, обусловленное преобладанием лиственных пород с бедным видовым составом (*Populus balsamifera*, *Acer negundo*, *Ulmus pumila*), что снижает общую устойчивость и эстетическую ценность. Такие декоративные и устойчивые виды, как *Juglans mandshurica*, *Sorbus aucuparia* и *Tilia cordata*, встречались значительно реже. Кустарники были представлены ограниченным набором видов (*Berberis vulgaris*, *Syringa josikaea*, *Caragana arborescens*). Авторы отметили преобладание рядовых, часто однопородных посадок, а также загущенность и недостаточное композиционное разнообразие.

М. В. Попова в своей работе [20] провела анализ состояния древесной растительности в зелёных зонах г. Воронежа, расположенных вблизи промышленного предприятия АО "Воронежсинтезкаучук". Исследование было выполнено на четырёх реперных точках: в скверах им. Шукшина, "Защитников Воронежа", "Чижовский" и парке "Южный", а также в контрольной точке – лесном массиве "Чижовская дача". На основании анализа флористического состава выделены индикаторные виды химического загрязнения (берёза повислая, клён остролистный, тополь дрожащий, липа сердцевидная) и перспективные виды для мониторинга загрязнения воздуха (вяз приземистый и гладкий, тополь чёрный и итальянский, клён полевой). Показано, что степень поражения листьев на первых двух реперных точках достигает 30-40%, тогда как в условно чистой зоне не превышает 5%. Наибольшему воздействию поллютантов подвергаются насаждения, расположенные ближе к источнику выбросов и прилегающие к жилой застройке и автодорогам. Третья и четвёртая точки находятся в условиях умеренного загрязнения благодаря большему удалению от источника и проведённым санитарно-гигиеническим мероприятиям. Минимальное антропогенное воздействие отмечено в контрольной точке "Чижовская дача". Среди патологических признаков отмечены некрозы листьев, усыхание скелетных ветвей, водяные побеги, патологические формы ствола и другие нарушения.

Заключение. Антропогенное воздействие, в особенности от автотранспорта и промышленных предприятий, оказывает негативное влияние на древесные растения в городской среде. В первую очередь страдают почвенная экосистема и физиологические процессы деревьев (водный баланс, фотосинтез, минеральное питание), что приводит к

ослаблению иммунитета и повышению уязвимости к вредителям и болезням. Также наблюдается снижение видового разнообразия и деградация структуры насаждений.

Исследования в городах России выявили неоднородное влияние городской среды на деревья. В Йошкар-Оле урбопочвы уплотнены, загрязнены нефтепродуктами, имеют щелочную реакцию (рН до 8,2) и богаты калием и фосфатами, что негативно сказывается на рябине и ели колючей. В Волгограде более 50% лип и каштанов находятся в хорошем состоянии, возможно, благодаря адаптации. В Орле наблюдается ограниченное видовое разнообразие и повреждение 45,5% растений (ясень, конский каштан). В Астрахани в зонах высокой нагрузки преобладает вяз малый. В Гомеле снижена жизнеспособность ели колючей, причем голубая форма менее устойчива на 20–30%. В Липецке экологическое состояние неоднородно: в промышленных зонах 20–79% деревьев ослаблены, а в рекреационных зонах состояние лучше. В Тюмени вдоль дорог преобладают сильно ослабленные деревья. В Уссурийске местные виды устойчивы, а интродуцированные – уязвимы. В Красноярске у *Acer negundo*, *Juglans mandshurica* и *Tilia cordata* замедлен рост, при этом доминируют *Populus balsamifera*, *Acer negundo* и *Ulmus pumila* (содержание *Acer negundo*: 13,3%, *Juglans mandshurica*: 13,3%). В Воронеже, возле предприятия «Воронежсинтезкаучук», поражение листьев в скверах достигает 30–40%, а в контрольной зоне («Чижовская дача») – менее 5%.

Исследование выполнено в рамках деятельности молодежной лаборатории «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (№ госрегистрации НИОКР 124051400023-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корниенко В. О., Хархата Л. В. Мониторинг состояния древесных растений центральной части города Донецка // Самарский научный вестник. – 2023. – Т. 12. – № 2. – С. 46-51. – DOI 10.55355/snv2023122107. – EDN BATLWA.
2. Корниенко В. О. Влияние природно-климатических факторов на механическую устойчивость и аварийность древесных растений на примере *Juniperus virginiana* L // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2020. – № 134. – С. 93-100. – DOI 10.36305/0513-1634-2020-134-93-100. – EDN EXLREC.
3. Корниенко В. О. Нецеветов М. В. Влияние отрицательных температур на механическую устойчивость дуба красного (*Quercus rubra* L.) // Промышленная ботаника. – 2013. – Т. 13. – С. 180-186. – EDN YZUCEX.
4. Сафонов А. И. Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций // Донецк: ДонГУ, 2024. – 288 с. EDN: QVJSQE
5. Zinicovscaia I.I., Safonov A.I., Yushin N.S., Nespirnyi V.N., Germonova E.A. Phytomonitoring in Donbass for Identifying New Geochemical Anomalies // Russian Journal of General Chemistry. – 2024. – Vol. 94. – P. 3472–3482 DOI:10.1134/S1070363224130048
6. Корниенко В. О. Влияние экологических факторов на физико-механические свойства, морфометрию и аллометрию древесных растений урбоэкосистем (на примере города Донецка): спец. 1.5.15 "Экология (биологические науки)": дис. ...канд. биол. наук / Корниенко Владимир Олегович. - Донецк, 2022. - 166 с. EDN: QYUEPJ
7. Корниенко В. О., Калаев В. Н. Механическая устойчивость можжевельника виргинского в условиях степной зоны Восточно-европейской равнины // Лесоведение. – 2024. – № 1. – С. 70-78. DOI: 10.31857/S0024114824010084 EDN: SLLJXY
8. Корниенко В.О. Ретроспективный анализ антропогенного загрязнения города Донецка. Вибрационно-акустическое зашумление // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2024. – № 1. – С. 93-100. DOI: 10.5281/zenodo.12532574
9. Макаренко В. П., Жучков Д. В. Современные проблемы озеленения малых и средних городов России // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. – 2022. – № 1(46). – С. 62-78. – DOI 10.24412/2227-1384-2022-146-62-78. – EDN SLALKX.
10. Каппушева М. Б. Зеленые насаждения и их роль в современном городе // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2023. – № 4-3(79). – С. 21-24. – DOI 10.24412/2500-1000-2023-4-3-21-24. – EDN ENVNRF.

11. Серебрякова Н. Е. Гринченко К. В., Карасев В. Н. Влияние антропогенной трансформации почв на состояние древесных видов города Йошкар-Олы // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2019. – № 4(11). – С. 78-85. – EDN QZSJLO.
12. Терещенко Т. В., Срослова Г. А., Постнова М. В. Влияние антропогенных факторов на состояние древесных растений г. Волгограда // Природные системы и ресурсы. – 2021. – Т. 11, № 1. – С. 5-11. – DOI 10.15688/nsr.jvolsu.2021.1.1. – EDN GCPPZS.
13. Сидоренко, А. Н. Оценка жизненного состояния древесных растений города Уссурийска // Вестник КрасГАУ. – 2017. – № 7(130). – С. 166-174. – EDN ZDUDMB.
14. Парахина Е. А., Киселева Л. Л., Фесенко А. С., Сотникова Н. В. Экологическое состояние древесных растений уличных насаждений г. Орла // Механизмы регуляции продукционного процесса растений: от молекул до экосистем: Материалы Международной научной конференции. В чтения, посвященные памяти профессора Ефремова Степана Ивановича, Орёл, 26 ноября 2021 года. – Орёл: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, 2022. – С. 129-137. – EDN RUFQXP.
15. Котова Д., Волкова И. В. Мониторинг состояния древесных культур в различных функциональных зонах урбанизированной среды // Актуальные решения проблем водного транспорта : сборник материалов II Международной научно-практической конференции, Астрахань, 29 мая 2023 года. – Астрахань: Индивидуальный предприниматель Сорокин Роман Васильевич (Издатель: Сорокин Роман Васильевич), 2023. – С. 115-121. – EDN CYHDRB.
16. Мастич А. А., Липская О. А. Влияние антропогенного фактора на произрастание ели колючей в условиях города Гомеля // Передовые технологии и материалы будущего: Сборник статей IV Международной научно-технической конференции. В 3-х томах, Минск, 09 декабря 2021 года. Том 2. – Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2021. – С. 112-116. – EDN CZDDQY.
17. Клевцова М. А., Михеев А. А. Оценка экологического состояния зелёных насаждений в промышленных районах // Современные исследования в науках о Земле: ретроспектива, актуальные тренды и перспективы внедрения : Материалы IV Международной научно-практической конференции, Астрахань, 27–28 мая 2022 года / Составитель Е.А. Колчин . – Астрахань: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Астраханский государственный университет", 2022. – С. 74-78. – EDN XRVICW.
18. Иеронова В. В. Оценка экологического состояния древесной растительности в условиях городской среды // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2018. – № 3(14). – С. 11. – EDN YLHBWH.
19. Шестак К. В., Пулатова А. И. Древесные растения в условиях городской среды // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. – 2011. – № XIV. – С. 130-134. – EDN ONIWLV.
20. Попова М. В. Воздействие выбросов предприятий химической промышленности на состояние древесных насаждений города Воронежа // Современные проблемы экологии животного и растительного мира : Материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции, Воронеж, 19 апреля 2021 года / Отв. редактор Ю.В. Чекменева. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2021. – С. 117-121. – DOI 10.34220/MPEAPW2021_117-121. – EDN NBHIYR.

ANTHROPOGENIC FACTORS AND THEIR IMPACT ON THE BIODIVERSITY OF WOODY PLANTS IN CITIES. (REVIEW OF THE LITERATURE)

Annotation. This work is devoted to an analytical review of modern sources of information on the influence of anthropogenic factors on the condition of woody plants in the urban environment and near industrial enterprises. The results of studies devoted to assessing the state of soils and plants growing in territories with varying degrees of anthropogenic stress are considered. Special attention is paid to the effects of air and soil pollution on the vital condition, species composition and physiological characteristics of woody plants. The paper provides an assessment of the resistance of various tree species to anthropopressing, analyzes diagnostic signs of plant deterioration, and discusses strategies for improving the condition of outdoor plantings.

Keywords: green spaces, woody plants, anthropogenic factor, urbanization, urban environment.

Reutskaya V.V

Scientific director: Kornienko V.O., PhD in Biological sciences, Associate Professor Donetsk state university
E-mail: reutskaya_lerchka@mail.ru

КОРРЕКТИРОВКА ЛОКАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ФИТОМОНИТОРИНГА В ДОНЕЦКЕ

Сафонов Р.А.

*Научный руководитель: Калинина Ю.С., ассистент
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

Аннотация. В дополнение к существующим разработанным маршрутам по сбору сырья и использованию материалов в экологической фитодиагностике урбанизированных экотопов центральных районов Донецка были предложены оптимизационные модели (корректировки) маршрутных схем для реализации программ разного целевого назначения и использования: по времени, по длине траектории, для разных сезонов и долгосрочности пребывания в конкретной учетной площадке. Разработанные оптимизационные модели рассчитаны на основании опыта 2024 г. по заложенным трансектам 2023 г. в перспективе на использование в 2025 и последующие годы.

Ключевые слова: экологический мониторинг, Донецк, Донбасс, фитоиндикация, фитоквантификация, городская среда.

Оценка качества трансформированной человеком среды (и как частный пример – урбанизированной [1]) предусматривает процедуру дробной и диалектически связанной квантификации всех параметров в ранжированном ряду благоприятных и(или) неблагоприятных факторов воздействия на экосистемы [2–4] в целом и человеческую популяцию как конкретный узловой критерий стабильности жизненно важных процессов [5, 6]. Ландшафтная дифференциация местности является обязательным показателем не только разнообразия, но и глубины изменённости природных экосистем открытого типа [7, 8], требует тщательного рассмотрения для использования при сборе информации о состоянии геосистем на изучаемой территории, что и определяет актуальность представленной научной работы.

Цель работы – предложить оптимизационные варианты маршрутных траекторий для реализации экспедиционных выходов фитодиагностического целевого назначения в дополнение к ранее предложенным схемам для территорий Калининского и Ворошиловского районов г. Донецка.

Донецкая Народная Республика – территория Центрального Донбасса – является зоной интенсивной эксплуатации природных и вторично синтезированных ресурсов, поэтому отслеживание неблагоприятных тенденций в функционировании вещественно-энергетических потоков ставится первоочередной задачей перед экологами и исполнителями экологических программ [9, 10]. На сегодня для урбосистем Донецко-Макеевской агломерации накоплен богатый научный материал ботанического содержания о техногенных экотопах, их диагностике, способам оценки балансовых состояний в них [11–14]. Это позволяет констатировать высокий уровень воздействия человека на среду и необходимость владеть адекватной информацией с целью возможной оптимизации природно-техногенных процессов. Оценка стабильности, выносливости, способности к самовосстановлению и саморегуляции экосистем также является актуальной задачей для мировых научных школ [15, 16] и рассматривается как методическая основа в разрабатываемых подходах экологического мониторинга в Северном Приазовье.

Ранее созданные схемы маршрутов [17, 18] к 2025 г. предложено определённым образом изменить, учитывая дальнейшую возможность статистической обработки первичного материала для получения континуального распределения значений в том числе в картографическом материале [19, 20], а также при биогеохимической квантификации местности [21, 22].

Модельным объектом первичной маршрутизации территории была выбрана зона размещения и сопряженная местность к отвалу угольной шахты им. Калинина (рис. 1). По результатам обследования 2024 г. на 19 пунктах (узлах мониторинга) были выделены 4 зоны возможной вариации маршрута с целью его оптимизации при осуществлении сборов в полевых условиях. Опыт обработки данных 2023 г. свидетельствует о равнозначимых параметрах в фитомониторинге, полученных для сопряжённых точек 8-10; 7 и 13; 3 и 15; 17 и 18. При оценке фоновых процессов, например, геохимического контраста или запылённости, такие точки можно совместить в одну пробную площадь.



Рис. 1 – Варианты оптимизации маршрутного поля в зоне импакта шахты им. Калинина в зависимости от целевого назначения экспедиции

Количество и локацию мониторинговых точек условного регионального контроля и мест высокой техногенной нагрузки (рис. 2) также оптимально изменить в пределах тех диапазонов, которые покажут большую функциональную разницу, тогда как остальное гео-пространство информационного поля при картографировании может рассматриваться как переходные значения между существующими максимальными и минимальными значениями.

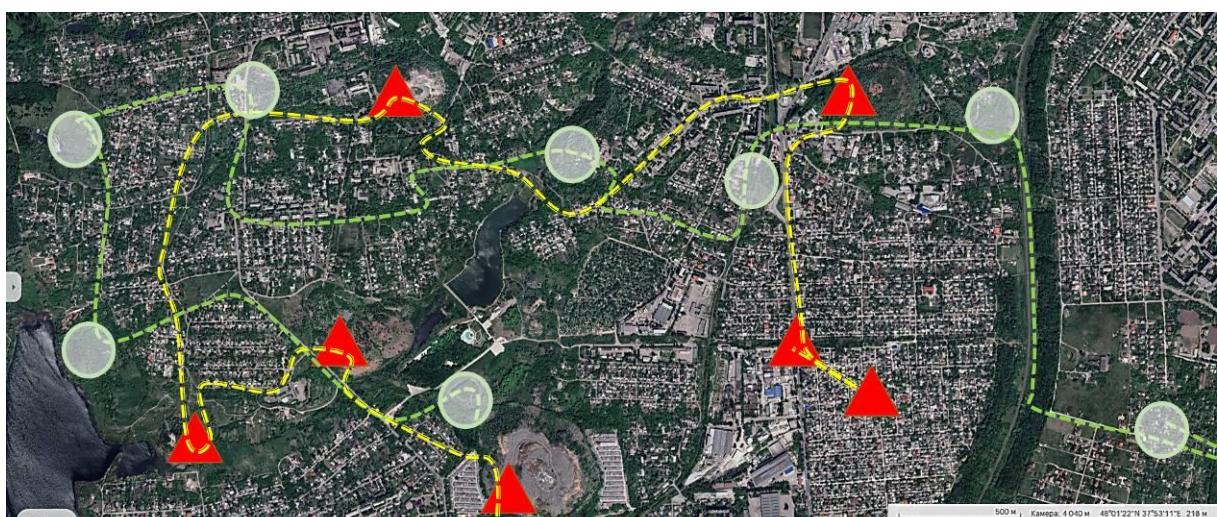


Рис. 2 – Уточненные локации точек фонового регионального контроля для забора проб фитоиндикационного мониторинга в Калининском и Ворошиловском районах

Для двухдневного маршрута, объединяющего два района г. Донецка также были пересмотрены точки сбора информации (рис. 3), чтобы убрать «дублеты» по получаемым показателям, например, индексов тератогенности растений, мутагенной активности почв, генотоксичности среды (как воздушной, так и почвенно-водной по анализу реакции растений на почвенный раствор). Сокращение мест забора образцов позволяет более детально реализовывать программу сбора на оставшихся контрастных друг другу учётных площадках.

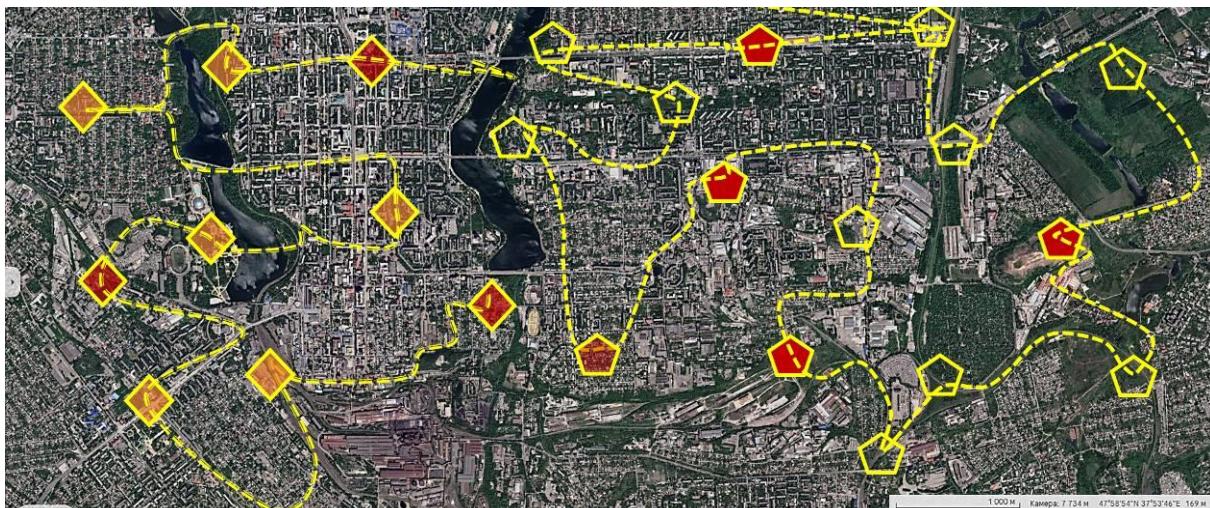


Рис. 3 – Оптимизированная схема маршрутов для Калининского и Ворошиловского районов г. Донецка на 2025 г.

Предпринят способ пространственной визуализации в 2-уровневой дифференциации пробных площадей по захвату территории для анализа (рис. 4). Это обусловлено двумя причинами: необходимостью сбора достаточного количества образцов фитоиндикаторов для достоверной выборки и получением более репрезентативной информации в первую очередь фоновых тенденций на краевых позициях геолокалитета.

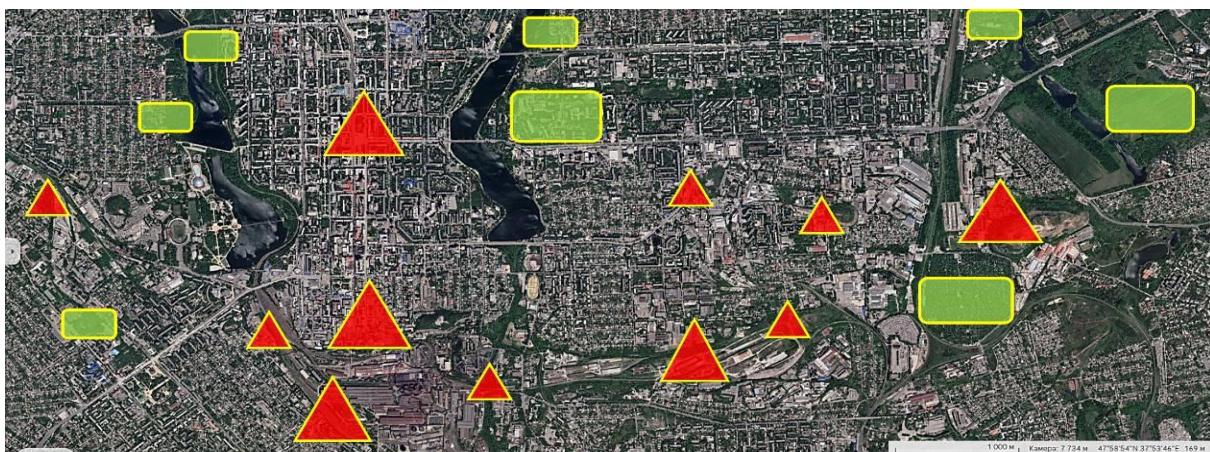


Рис. 4 – Дифференциация учетных площадок в Донецке по импактным (треугольники) и фоновым (прямоугольники) значениям в зависимости от объема выборки для проведения экологического фитомониторинга

Следовательно, предложенная ранее система локализации мониторинговых точек была пересмотрена на примере двух районов города Донецка: Ворошиловского и

Калининского, что обусловлено рядом объективных причин. Однако, общая траектория маршрутных перемещений 1-2 суточной временной протяженности сохранились.

Отмеченные на рисунках линии экспедиционного выхода формируют каркас коммуникаций экспериментаторов-мониторингологов, которые в разные сезоны могут осуществлять разработанные в том числе в целях безопасного перемещения маршруты.

Выделенные изменения оптимизируют геопространственную модель, позволяя собирать меньшее количество проб, но в более контрастных условиях, что в случае вторичного анализа при картографировании даёт более наглядный результат визуализации. Разработанные оптимизационные модели рассчитаны на основании опыта 2024 г. по заложенным трансектам 2023 г. в перспективе на функциональное использование в 2025 и последующие годы.

Отдельно обозначим, что в зимний и ранневесенний период также возможна реализация программы по сбору ценной информации в зависимости от глубины промерзания почвенного покрова и объему выпавших осадков в кристаллизованном состоянии. Если среднесуточная температура не меньше 0 °C, то реален сбор мохообразных, почвенных водорослей, а также образцов грунта для экспериментов по фитотестированию в лабораторных условиях; весьма интересен эксперимент по анализу почвенного банка семян в разных участках механической трансформации поверхностного горизонта в результате работы коммунальных и бытовых служб и(или) военных действий на территории мониторинговых исследований.

В дальнейшем считаем необходимым изучить маршруты с учетом орографии и физико-географических особенностей локальных биотопов, например, важным критерием является характер смещения воздушных масс при оценке запыленности воздуха, что, по предварительным сведениям, может являться критерием для установления очагов и(или) мест геопатогенного проявления или скопления неблагоприятных форм воздействия на здоровье населения агентов живой и неживой природы (аллергенная пыльца и промышленная пыль).

Исследование выполнено в рамках молодежной лаборатории «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (№ госрегистрации НИОКР 1023110700153-4-1.6.19; 1.6.11; 1.6.12).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуков К.О., Епринцев С.А. Качество окружающей среды городских территорий как показатель устойчивого развития // Региональные геоэкологические исследования. – Воронеж: Издательство "АртПринт", 2022. – С. 62-66. – EDN CEDHCS.
2. 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.
3. Корниенко В.О., Калаев В.Н. Влияние природно-климатических факторов на механическую устойчивость и аварийность деревьев бересклета в г. Донецке // Лесоведение. – 2022. – № 3. – С. 321-334. – DOI 10.31857/S0024114822020073. – EDN KDUHDW.
4. Kharchenko N.N., Kalaev V.N., Kornienko V.O. Mechanical resistance of *Quercus robur* L. at the environmental boundary of the species distribution in the steppe // Earth and Environmental Science. – 2021. – P. 12049. – DOI 10.1088/1755-1315/875/1/012049. – EDN HNQTEI.
5. Geoinformation modeling of socio-ecological safety of rural areas on the example of settlements of the Belgorod region / S. Yeprintsev, S. Kurolap, O. Klepikov [et al.] // E3S Web of Conferences. – Vol. 458. – EDP Sciences, 2023. – P. 08019. – DOI 10.1051/e3sconf/202345808019. – EDN YGRJYF.
6. Геоинформационный мониторинг формирования очагов экологически-обусловленной заболеваемости населения крупных городов при воздействии факторов окружающей среды / С.А. Епринцев, О.В. Клепиков, Н.А. Дьякова [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2024. – № 3. – С. 135-141. – DOI 10.17308/geo/1609-0683/2024/3/135-141. – EDN JGXNDN.

7. Кин Н.О., Струков Р.О. Беллигеративные ландшафты как форма экологического риска // Вопросы степеведения. – 2021. – № 3. – С. 4-18. – DOI 10.24412/2712-8628-2021-3-4-18. – EDN TJFJCO.
8. Fang X., Kong L. Recent trends in landscape sustainability research – a bibliometric assessment // Land. – 2024. – Vol. 13, No. 6. – P. 811. – DOI 10.3390/land13060811. – EDN VUTCAJ.
9. Авраимова Т.В. Экологические разработки в Донбассе: библиографический учёт и популяризация научных исследований // Научные и технические библиотеки. – 2023. – № 3. – С. 30-42. – DOI 10.33186/1027-3689-2023-3-30-42. – EDN BLUFHQ.
10. Гермонова Е.А. Геоинформационная визуализация данных по атипичному морфогенезу растений экотопов Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2023. – № 1-2. – С. 13-22. – EDN QECLTU.
11. Калинина А.В. Травянистые фитоценозы придорожной территории г. Макеевки // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2023. – № 3. – С. 6-11. – EDN RMXEAQ.
12. Мирненко Н.С. Пыльца как тест-система индикации неблагоприятной городской среды (на примере г. Донецка) // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2023. – № 3. – С. 12-17. – EDN JQCOXN.
13. 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.
14. Калинина Ю.С. Рабочая схема ландшафтной индикации в Донецке: дизайн и критерии устойчивости геосистем // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2024. – № 3. – С. 14-23. – DOI 10.5281/zenodo.14531840. – EDN GAKMLH.
15. Pera A. Assessing sustainability behavior and environmental performance of urban systems: A systematic review // Sustainability. – 2020. – Vol. 12, No. 17. – P. 7164. – DOI 10.3390/su12177164. – EDN HOTDPT.
16. Ryakhov R.V. Experience in analysing the landscape morphological structure based on innovative methodological approaches // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021. – P. 012094. – DOI 10.1088/1755-1315/817/1/012094. – EDN POCCMA.
17. Сафонов Р.А. Разработка маршрутов сбора образцов для экологической фитодиагностики урбогеосистем // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2024. – № 3. – С. 38-44. – DOI 10.5281/zenodo.14532148. – EDN KFZQNX.
18. 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.
19. Nespirnyi V. The importance of principal component analysis for environmental biodiagnosis of Donbass // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 555. – P. 01007. – DOI 10.1051/e3sconf/202455501007. – EDN EQEGDI.
20. Неспирный В.Н. Алгоритм восстановления пропущенных данных в выборке фитоиндикационного мониторинга с использованием метода главных компонент // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2024. – № 1. – С. 15-26. – EDN PUCOJO.
21. 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, культура и вызовы современности. – Донецк: ДонНУ, 2022. С. 69-71. EDN SQZVXC.
22. Нейтронно-активационный анализ редкоземельных элементов (Sc, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy, Yb) в диагностике экосистем Донбасса / И. Зиньковская, А. Сафонов, А. Кравцова [и др.] // Письма в журнал Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 2024. – Т. 21, № 2(253). – С. 220-221. – EDN OCFYXZ.

ADJUSTMENT OF LOCAL ROUTES FOR ECOLOGICAL PHYTOMONITORING IN DONETSK

Annotation. In addition to the existing developed routes for the collection of raw materials and the use of materials in the ecological phytodiagnostics of urbanized ecotopes in the central regions of Donetsk, optimization models (adjustments) of route schemes were proposed for the implementation of programs for various purposes and uses: time, length of trajectory, for different seasons and long-term stay at a specific accounting site. The developed optimization models are calculated based on the experience of 2024 for the laid transects of 2023 in the future for use in 2025 and subsequent years.

Keywords: environmental monitoring, Donetsk, Donbass, phytoindication, phytoquantification, urban environment.

Safonov R.A.

Scientific adviser: Kalinina Yu.S., assistant of the Department of Botany and Ecology
Donetsk State University
E-mail: kf.botan@donnu.ru

БАКТЕРИОПЛАНКТОН КАК СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ БИОГЕОЦЕНОЗОВ ВОДОЕМОВ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ВОДЫ

Скорик В.А.

Научный руководитель: Мирненко Э.И., старший преподаватель
ФГБОУ ВО «ДонГУ»

Аннотация. В данной работе рассматриваются бактериальные сообщества водоемов, их распределение в различных экологических зонах, а также факторы, влияющие на численность микроорганизмов в воде. Особое внимание уделено сапрофитным бактериям, их зависимости от содержания органических веществ и сезонных изменений. Освещены ключевые санитарно-бактериологические показатели качества воды, в частности роль кишечной палочки как индикатора фекального загрязнения. Описаны методы оценки бактериального загрязнения с использованием коли-титра и коли-индекса, их нормативные значения и влияние на безопасность водных экосистем. Представленные материалы подчеркивают значимость бактериального состава воды как индикатора экологического состояния водоемов и необходимости комплексного мониторинга для обеспечения санитарно-гигиенической безопасности.

Ключевые слова: бактериопланктон, сапрофитные бактерии, экологические зоны водоемов, органическое загрязнение, кишечная палочка, коли-титр, коли-индекс, санитарно-бактериологические показатели, фекальное загрязнение, качество воды, микробное сообщество, мониторинг водоемов.

Вода – это естественная среда обитания большинства микроорганизмов. Количество микроорганизмов в воде зависит от многих абиотических, биотических и антропогенных факторов: содержания органических веществ, скорости течения воды, температуры окружающей среды, времени года, загрязнения водоема и др. Качество воды и первичная продукция водоемов в значительной степени определяются функционированием бактериального населения.

Экологический метаболизм природных экосистем во многом определяется именно функционированием бактериофлоры. Трансформация органического вещества, осуществляемая бактериями в водоемах, включает его продукцию за счет размножения бактериальных популяций, изменение за счет перехода на следующий трофический уровень вследствие потребления бактерий водными животными, а также деструкция органических соединений в процессе бактериального дыхания [1].

Качественный состав микрофлоры водоёмов очень разнообразен как в отношении входящих в него различных систематических групп организмов (бактерий, актиномицетов, дрожжевых и плесневых грибов и др.), так и в отношении биохимических свойств, определяющих их участие в разнообразных процессах круговорота углерода, азота, серы, фосфора и других элементов в водоёмах. В искусственных водоемах обитают представители всех групп бактерий. Согласно наиболее расширенной классификации к бактериям относятся, также актиномицеты, которые имеют палочковидную, нитчатую или кокковидную форму с боковыми разветвлениями без клеточных перегородок и своей формой напоминают микроскопические грибы. К ним принадлежат бактерии рода *Actinomyces* или собственно актиномицеты (для них характерно спорообразование), микобактерии (р. *Mycobacterium*), микромоноспоры (р. *Micromonospora*). Актиномицеты и родственные с ними организмы достаточно распространены в гидросфере, в частности в иле водоемов [2].

К наиболее распространенным в водных экосистемах микроорганизмам принадлежат: *Pseudomonas fluorescens*, *Micrococcus agilis*, *Micrococcus roseus*, *Proteus vulgaris*, *Spirillum rubrum*, *Sarcina lutea*, представители р. *Cladotrix*, *Sphaerotilus*,

Corynebacterium, Artrobacter, Mycobacterium globiformis, Mycobacterium luteum, Bacillus mycoides, Bacillus subtilis и др. [13].

В поверхностном слое воды, где наблюдается наибольшая концентрация питательных веществ и высокий уровень кислорода, количество бактериальных клеток варьируется от 300 миллионов до 4 миллиардов на 1 см³. Значительная часть бактериопланктона сосредоточена во второй экологической зоне, расположенной на глубине 20–50 см. Здесь создаются оптимальные условия освещенности, способствующие активному развитию фитопланктона [1].

Третья экологическая зона совпадает с термоклином – слоем резкого температурного перехода, что приводит к увеличению плотности воды и концентрации бактерий. В этом слое задерживаются частицы дегрита и остатки погибшего планктона, на которых активно поселяются бактерии. Это объясняет значительный рост их численности по сравнению с поверхностными слоями [4].

В придонных слоях, соседствующих с анаэробной зоной, формируются особые экологические условия. Здесь еще присутствует растворенный кислород, но также начинают накапливаться восстановленные вещества, поступающие из бескислородных придонных слоев. В этой микроаэрофильной среде активно развиваются железобактерии, метанотрофные микроорганизмы, бактерии, окисляющие водород, и серобактерии. Ниже этого слоя располагается анаэробная зона, в которой обитают сульфатредуцирующие и маслянокислые анаэробные бактерии. С экологической точки зрения микронаселение водоёмов делится на собственное (автохтонное), обусловленное физическими и химическими свойствами воды и её происхождением, и поступающее в них извне, из различных источников загрязнения (аллохтонное). Последнее обычно бывает обречено на вымирание, если новые условия обитания существенно отличаются от тех, которые для него является обычным. Более длительно микрофлора живёт и сохраняет способность к размножению, если одновременно попадает в водоём и тот субстрат, в котором она ранее обитала [2].

В зависимости от потребности и чувствительности к кислороду среди микроорганизмов выделяют аэробов (требуют высокого содержания в воде кислорода), микроаэробы (развиваются при пониженном парциальном давлении кислорода), и факультативные анаэробы (могут использовать кислород, а могут существовать без него). Специфическую группу составляют облигатные анаэробы, кислород для них является токсическим элементом [7-9].

Сапрофитные бактерии способны существовать как в аэробных, так и в факультативно-анаэробных условиях, используя в качестве источника питания растворенные органические вещества – остатки отмерших растений и животных. Эти микроорганизмы можно обнаружить при культивировании воды на специальных питательных средах, обогащенных органикой, таких как мясо-пептонный агар (МПА) [4].

Общее количество сапрофитных бактерий в водоемах является переменным показателем, зависящим от погодных условий (осадки, ветер, колебания температуры воды и др.), а также от уровня содержания органических соединений, поступающих из природных (автохтонных) или внешних (аллохтонных) источников. Для получения объективных данных о бактериальном составе водоема необходимо проводить многократный отбор проб воды из различных участков и в разные сезоны года. При этом важно не только оценивать общее число бактерий, но и анализировать численность отдельных физиологических групп в водной толще и донных отложениях, так как бактериальная популяция этих сред отражает степень трофности водоема [3].

Основным фактором, влияющим на массовое развитие микроорганизмов, является концентрация органических веществ в воде. Чем выше уровень органического загрязнения, тем больше в ней бактерий. Например, в сформированных водохранилищах

содержание бактерий в планктоне достигает 0,7–3,3 млн клеток на 1 см³, что превышает показатели рек. В прудах же численность бактерий может доходить до нескольких миллионов на 1 см³ [13,14].

В связи с выше сказанным, в литературе [2] встречается еще одна классификация микроорганизмов, принятая в санитарно-гигиенической практике. В данном случае микроорганизмы разделяются на гетеротрофы, обеспечивающие минерализацию органических загрязнителей в водоёмах, или, следуя экологической классификации, сапрофиты, обитающие на остатках растительного и животного происхождения [5] и автотрофы, продуцирующие органические вещества в процессе фотосинтеза или хемосинтеза.

Распределение и качественный состав микрофлоры в водоёме зависит от температуры. Её повышение стимулирует развитие фитопланктона и его фотосинтетическую деятельность, что ведёт к обогащению водоёма органическим веществом и косвенно – к увеличению числа бактерий. Обычно, максимальное количество микроорганизмов приходится на май – июнь, несмотря на то, что содержание питательных веществ в эти месяцы не является максимальным. Это явление связывают [6] с изменением температуры воды в этот период.

Кроме того, определена зависимость горизонтального распределения бактериофлоры в водоёмах различных типов. Установлено [1], что большее количество их находится в прибрежной зоне и на поверхности, меньшее – вдали от берегов и на глубине.

Микроорганизмы, являясь неотъемлемой частью водных экосистем, вступают в разнообразные взаимоотношения с другими компонентами биотической составляющей. Например, бактериальное население воды находится в тесном взаимоотношении с растениями водоёма и, в первую очередь, с водорослями. Эти взаимосвязи легко прослеживаются при анализе данных по одному из основных процессов, протекающих в водоёме – круговороту органического вещества [1, 11].

Микробиологическая минерализация органических соединений в загрязненном водоёме и отмирание в связи с этим сапрофитных патогенных микроорганизмов является одним из доминирующих процессов самоочищения. В этом процессе важнейшую роль играют массовые формы, зеленых протококковых водорослей, обогащающих воду кислородом, необходимым для минерализации органических веществ, но их роль этим не ограничивается – водоросли являются антагонистами бактерий.

Обычно в водоёме максимуму числа водорослей соответствует минимум числа бактерий [2,11]. Существование этой корреляции было подтверждено рядом наблюдений проф. Г. Г. Винберга с сотрудниками [2]. Однако мнения исследователей относительно сторон взаимоотношений водорослей и бактерий разошлись. Одни утверждают, что быстрое отмирание бактерий вызвано в основном подщелачиванием воды до pH 9 – 10 водорослями, ассимилирующими свободную и бикарбонатную углекислоты [2]. Вторые полагают, что в основе антагонистических взаимоотношений водорослей и бактерий лежит конкуренция за растворенные органические вещества. Наконец, третьи считают, что клетки водорослей выделяют в окружающую среду органические вещества, тормозящие развитие бактериофлоры.

Эксперименты с *Chlorella vulgaris* Beij., *Scenedesmus obliquus* Thurn. и бактериофагами, специфичными бактериям мышного тифа и кишечной палочке, показали, что сценедесмус ингибит фаги, а хлорелла нет [12]. При этом хлорелла обладала бактерицидными свойствами, а сценедесмус лишь бактериостатическими. На основании этих данных можно предположить, что при преобладании в планктоне сценедесмуса в водоёме может быть много бактерий, так как эти водоросли ингибируют специфические бактериям фаги.

Таким образом, видимо, взаимоотношения в звене «бактерии – фаги» тоже играют важную роль в формировании санитарно-эпидемиологического режима водоема и этим нельзя пренебрегать.

Микроорганизмы не только разлагают мертвые остатки растений, но и часто используют прижизненные выделения растений, создают специфическую микропленку на поверхности тела растений (высших и низших).

Видовой состав бактерий, обитающих, например, на водорослях весьма разнообразен. Среди них обнаружены как бактерии-бациллы, так и кокковые формы [12]. Большинство представителей этой флоры относятся к микроорганизмам, участвующим в круговороте углерода, и требующим для своего роста наличие углеродсодержащих соединений.

Есть и другой тип взаимодействия бактерий и растений: некоторые водоросли угнетают патогенные микроорганизмы – шигеллы, сальмонеллы и синегнойную палочку. Показано [14], что при увеличении количества некоторых водорослей повышается их бактерицидность. Например, массовое развитие синезеленых водорослей, как правило, сопровождается угнетением сапрофитной микрофлоры. Таким образом, фитопланктон на качество воды действует двояко. С одной стороны, в результате его массового развития наблюдается поглощение биогенов и улучшение газового режима, уменьшение содержания свободной углекислоты, обогащение воды кислородом [9]. С другой стороны, в период массового развития фитопланктона повышается мутность и цветность воды, увеличивается содержание в ней органических веществ. В период естественного отмирания водорослей, после окончания вегетации, снижается или совсем исчезает ингибирующее влияние фитопланктона на бактериопланктон. Кроме того, вода значительно обогащается органическими веществами за счёт разлагающихся клеток водорослей и вновь, богатая органическим веществом вода стимулирует развитие микроорганизмов.

Бактериальное самоочищение, то есть процесс освобождения водоёма от аллохтонной сапрофитной и сопровождающей её патогенной микрофлоры, в значительной мере определяется взаимоотношениями, которые устанавливаются между ней и автохтонным населением [11]. Таким образом, бактерии определяют самоочищение природных водоемов.

Бактериопланктон при этом является и показателем загрязнения воды. Основными маркерами являются бактерии – обитатели кишечника человека и животных и сапрофитные бактерии, способные расти на стандартной МПА. Последние свидетельствуют о поступлении в водоем нестойких органических веществ. Они обнаруживаются проращиванием пробы воды на МПА при 200°C и экспозиции в 48 часов. Гнилостная микрофлора кишечника инкубируется 24 часа также на МПА, но при температуре 370°C (температура кишечника). В фекалиях человека постоянно присутствуют кишечные палочки, энтерококки и анаэробные спорообразующие бактерии, главным образом *Bacillus perfringens*.

Кишечная палочка является основным санитарно-бактериологическим индикатором загрязнения воды. Время ее выживания в водной среде превышает срок сохранения патогенных микроорганизмов кишечной группы. В водоемах, полностью свободных от фекального загрязнения и расположенных в местах, где не было человеческого вмешательства, этот микроорганизм отсутствует. Поэтому оценка бактериальной чистоты воды основывается не только на факте его присутствия, но и на количестве, содержащемся в определенном объеме воды.

Для определения уровня загрязнения используются два ключевых показателя: коли-титр и коли-индекс. Коли-титр представляет собой минимальный объем воды (в миллилитрах), в котором обнаруживается хотя бы одна кишечная палочка. Значение записывается числом без указания единиц измерения. Коли-индекс, в свою очередь,

отражает количество этих бактерий в одном дм³ воды. Согласно действующим нормативам, коли-титр должен быть не менее 300°C, а коли-индекс – не превышать 3. Если коли-титр возрастает выше 300°C, это, как правило, сопровождается полным уничтожением бактерий тифопаратифозной группы, лептоспир, туляремийной палочки и возбудителей бруцеллеза.

Важно подчеркнуть, что коли-титр является надежным санитарно-бактериологическим критерием. Экспериментальные исследования показали, что даже при значительном увеличении концентрации бактериофагов, специфичных к кишечной палочке, этот показатель остается неизменным. Это связано с тем, что зеленая планктонная водоросль рода *Scenedesmus* Тирр. быстро подавляет активность данных фагов, предотвращая их влияние на коли-титр воды.

При определении качества питьевой воды необходимо руководствоваться двумя бактериологическими показателями:

- 1) концентрацией кишечных палочек (coli-титр, коли-индекс);
- 2) общим количеством бактерий-метатрофов.

Второй индикатор бактериального благополучия воды не менее важен, чем первый. История его введения такова. В 1892 году в Гамбурге (Германия) была эпидемия холеры. Количество заболевших составляло 1075 человек в день. В то же время в пограничной с Гамбургом Альтоне ежедневная заболеваемость холерой не превышала 30 человек. Население г. Альтоне пользовалось водой, прошедшей через фильтрующую установку. Роберт Кох, анализируя причины возникновения эпидемии, отметил, что фильтрованная вода Альтоне содержала всегда менее 100 бактерий-метатрофов в 1 см³. С тех пор стали считать вторым обязательным санитарно-бактериологическим показателем количество бактерий-метатрофов в воде, причем оно должно быть не более 100 КОЕ/см³ [10].

Этот метод имеет широкое применение в практике санитарно-бактериологических исследований воды. Выращивание колоний проводится на стандартной мясопептонной агаровой среде (МПА). При анализах чистой воды (очищенная питьевая вода, вода артезианских скважин) засевают 1 см³ и 0,1 см³ натуральной воды (без разведения). При исследовании открытых водоемов (реки, пруды, озера и пр.) используются разведения от 0,1 до 0,001 см³ и более в зависимости от предполагаемого загрязнения.

Наличие фекального загрязнения воды определяется нахождением в ней бактерий группы кишечной палочки. В настоящее время известны три основных разновидности кишечной палочки *Escherichia coli*: *E. coli commune*, *E. coli citrovorum* (*Citrobacter*) и *E. coli aerogenes* (*Aerobacter aerogenes*). Каждая из разновидностей может характеризовать стадию разложения фекальных масс.

В странах бывшего СССР определяют всю группу *E. coli* в целом, а за рубежом только *E. coli commune*, являющихся показателем свежих фекальных загрязнений. Все разновидности характеризуются следующими признаками: это аэробные, короткие, грамотрицательные, неспороносные палочки, сбраживающие глюкозу с образованием газа в течение 24 часов при 43 - 45°C. На среде Эндо бактерии этой группы образуют красные колонии с золотым блеском или темно-красные и розовые колонии с темным центром.

Для чистой воды озер и водохранилищ применяют метод ультрафильтрации испытуемой воды с последующим проращиванием на мембранных фильтрах (среда Эндо), а также бродильный метод. Выращивание колоний осуществляют 24 часа при 37°C.

Факторами, определяющими жизнедеятельности бактерий в искусственных водоемах, в том числе и прудах, являются:

- 1) количественный состав органических веществ;
- 2) качественный состав органических веществ;

3) гидрологический, температурный, солевой и газовый режимы, наличие биогенных элементов.

По содержанию микроорганизмов в водоемах выделяют 3 зоны: полисапробную, мезосапробную и олигосапробную [14].

Полисапробная зона содержит до нескольких миллионов микробов в 1 см³ и большое количество легко усваиваемых органических веществ. Микробиологические процессы в этой зоне происходят в анаэробных условиях и сопровождаются выделением метана, меркаптанов аммиака, сероводорода.

В мезасапробной зоне меньшее содержание органических веществ. В ней происходят процессы минерализации, а также окисление и нитрификация. Общее количество микроорганизмов в 1 см³ воды в этой зоне не превышает 1 миллион.

Олигосапробную зону характеризует отсутствие кишечной палочки и снижение общего количества микроорганизмов до нескольких десятков или сотен микробных клеток в 1 см³ воды. В воде олигосапробной зоны происходят процессы окисления нитритов и железа [3].

Таким образом, бактериопланктон является составной частью экосистем, определяет процессы самоочищения и вступает в сложные взаимоотношения с биотической компонентой экосистем. Его рекомендуют использовать как показатель загрязнения водоемов разных типов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беззубова Е.М. Гетеротрофный бактериопланктон шельфа моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря в области влияния пресноводного стока / Е. М. Беззубова, А. М. Селиверстова, И. А. Замятин, Н. Д. Романова // Океанология. – 2020. – Т. 60, № 1. – С. 74-86. – DOI 10.31857/S0030157420010025. – EDN FLYGML.
2. Зилов Е.А. Гидробиология и водная экология (организация, функционирование и загрязнение водных экосистем) : учеб. пособие. – Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2009. – 147 с.
3. Косолапов Д. Б. Пространственное распределение и межгодовая динамика бактериопланктона в Тайширском и Дургунском водохранилищах (Западная Монголия) / Д. Б. Косолапов // Биология внутренних вод. – 2020. – № 4. – С. 343-354. – DOI 10.31857/S0320965220040105. – EDN GXAAOM.
4. Кузнецова, Е. В. Сезонная и межгодовая динамика активной части бактериопланктона в зарастающей лitorали Рыбинского водохранилища: влияние колониальных поселений чаек / Е. В. Кузнецова, Д. Б. Косолапов // Экология. – 2018. – № 4. – С. 306-311. – DOI 10.7868/S036705971804008X. – EDN UVCBFK.
5. Макарова, Е. М. Бактериопланктон северо-западного плеса озера Мунозеро (Республика Карелия) / Е. М. Макарова // Водные биоресурсы и среда обитания. – 2019. – Т. 2, № 2. – С. 57-65. – DOI 10.47921/2619-1024_2019_2_2_57. – EDN UYFHKK.
6. Мирненко Э. И. Разработка региональной базы фитопланктона континентальных водоемов Донбасса / Э. И. Мирненко // Донецкие чтения 2023: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : Материалы VIII Международной научной конференции, Донецк, 25–27 октября 2023 года. – Донецк: Донецкий государственный университет, 2023. – С. 111-112. – EDN EKIMYH.
7. Мирненко Э. И. Особенности развития фитопланктона Старобешевского водохранилища / Э. И. Мирненко // Экология родного края: проблемы и пути их решения : Материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Киров, 24–25 апреля 2023 года. Том Книга 1 Киров: Вятский государственный университет, 2023. – С. 208-211.
8. Мирненко Э. И. Диатомовый анализ водохранилищ, расположенных на р. Кальмиус / Э. И. Мирненко // Самарский научный вестник. – 2023. – Т. 12, № 1. – С. 82-86. – DOI 10.55355/snv2023121112. – EDN OHMYXH.
9. Мирненко Э. И. Минерализация водных экосистем как фактор трансформации комплексов фитопланктона прудов г. Донецка / Э. И. Мирненко // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2021. – № 3-4. – С. 30-35.
10. Холера: хронология событий и эволюция противохолерных мероприятий в России / Г. Г. Онищенко, Ю. М. Ломов, Э. А. Москвитина, Л. С. Подосинникова // Научная мысль Кавказа. – 2002. – № 3. – С. 12-24.
11. Состояние бактериопланктона Северного Каспия в современных условиях / С. А. Дьякова, О. Б. Сопрунова, Е. Р. Галяутдинова [и др.] // Вестник Астраханского государственного технического

- университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2021. – № 4. – С. 31-38. – DOI 10.24143/2073-5529-2021-4-31-38. – EDN TCEVVC.
12. Фармакотехнологические исследования биомассы *Chlorella vulgaris* С-2019 как перспективного источника получения антибактериальных веществ / А. В. Митищев, Е. Е. Курдюков, Е. Ф. Семенова [и др.] // Разработка и регистрация лекарственных средств. – 2022. – Т. 11, № 2. – С. 53-58. – DOI 10.33380/2305-2066-2022-11-2-53-58. – EDN PMLAPX.
13. Mirnenko E. I. Taxonomic diversity of phytoplankton of the Kalmius River and its reservoirs / E. I. Mirnenko // Ecosystem Transformation. – 2022. – Vol. 5, No. 2(16). – P. 3-13. – DOI 10.23859/estr-220204.
14. 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.

BACTERIOPLANKTON AS A COMPONENT OF WATER BODY BIOGEOCENOSES AND ITS IMPACT ON WATER QUALITY

Annotation. This paper deals with bacterial communities of water bodies, their distribution in different ecological zones, as well as factors affecting the number of microorganisms in water. Special attention is paid to saprophytic bacteria, their dependence on organic matter content and seasonal changes. Key sanitary and bacteriological indicators of water quality are covered, in particular the role of *Escherichia coli* as an indicator of faecal pollution. Methods of bacterial contamination assessment using coli-titre and coli-index, their normative values and their impact on the safety of aquatic ecosystems are described. The presented materials emphasise the importance of bacterial composition of water as an indicator of ecological state of water bodies and the necessity of complex monitoring to ensure sanitary and hygienic safety.

Key words: bacterioplankton, saprophytic bacteria, ecological zones of water bodies, organic pollution, *Escherichia coli*, coli-titre, coli-index, sanitary and bacteriological indicators, faecal pollution, water quality, microbial community, monitoring of water bodies.

Scorik V.A.

Scientific supervisor: Mirnenko E.I. Senior lecturer

Donetsk State University

E-mail: vladislava.skorik1@yandex.ru

ЦВЕТЕНИЕ" И ЭВТРОФИРОВАНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА ПРУДОВ АМВРОСИЕВСКОГО МУНИЦИПАЛЬНОГО ОКРУГА

Хохлова О.А.

*Научный руководитель: Мирненко Э.И., старший преподаватель
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

Аннотация. В данной работе рассматриваются процессы эвтрофирования и «цветения» фитопланктона, воздействие этих процессов на водную экосистему Амвросиевского муниципального округа. Выявлена доминирующая по численности группа фитопланктона.

Ключевые слова: фитопланктон, «цветение», пруды, эвтрофирование, Амвросиевский муниципальный округ.

Водоросли (*Algae*) играют огромную роль в экосистеме и жизни человека. Эта группа организмов производит органические вещества в водной среде. Водоросли являются источником пищи для водных и наземных животных, в том числе и для человека, используются в качестве удобрения, их культивируют с целью получения большого количества биомассы, используемой в пищевой промышленности. [1].

Актуальность работы: изучение процессов эвтрофирования и «цветения» водоёмов является одной из приоритетных задач современной гидробиологии.

Фитопланктон – это часть планктона, включающая в себя диатомовые, протококковые водоросли, кокколитофориды, динофлагелляты и другие одноклеточные водоросли (чаще колониальные), а также цианобактерии. Данная группа водорослей способна осуществлять фотосинтез.

Эвтрофирование водоемов – процесс, представляющий собой повышение содержания биогенных элементов, которое способствует росту биологической продуктивности водных систем. Данный процесс может быть результатом естественного старения водного объекта, а также антропогенных факторов, действующих на него. При несбалансированном эвтрофировании происходит бурное развитие фитопланктона, что впоследствии приводит к такому явлению, которое называется «цветением» водоема. [2, 3].

Антропогенное эвтрофирование водоемов связано с деятельностью человека и представляет собой увеличение поступления в воду биогенных элементов и возрастание биопродуктивности водных экосистем. Вследствие данных процессов происходит возрастание скорости накопления биогенных осадков. В качестве биогенных элементов, которые контролируют эвтрофирование водоема, общепризнаны такие вещества, как фосфор и азот, а иногда и углерод. Биогенными элементами, вызывающими эвтрофирование водоемов, являются фосфор (P), азот (N), кремний (Si), а иногда и углерод (C).

Естественное (природное) эвтрофирование водных экосистем происходит в результате постепенного накопления в водоемах биогенных и хемогенных осадков, которые образуются впоследствии жизнедеятельности растений и животных.

Из-за попадания в водоемы бытовых сточных вод, вод с ферм различного направления, а также возделываемых полей происходит загрязнение воды. Вследствие высокого содержания в водных объектах нитратов, человек может заразиться инфекциями, которые могут привести к гибели. Высокое содержание солей азотной кислоты (нитраты) представляет угрозу для обитателей водоемов, а также окружающих животных, в том числе и для человека.

Химическое эвтрофирование водной среды заключается в повышении продуктивности (трофности) водоемов в результате поступления в них дополнительного количества биогенных элементов с окружающей территории.

Термическое эвтрофирование – это процесс увеличения трофности водоема вследствие ускорения круговорота биогенных элементов при повышении температуры водной среды.

Дестратификационное эвтрофирование – заключается в повышении продуктивности фотической зоны вследствие ее обогащения биогенами из глубоких слоев того же водоема, которые на данной фенологической фазе в естественных условиях недоступны для водных растений

Несбалансированное эвтрофирование и «цветение» приводит к ряду негативных последствий:

- Повышение мутности воды;
- Снижение содержания кислорода;
- Массовый замор рыб;
- Создание благоприятных условий для размножения патогенной микрофлоры;
- Ограничение рекреационного использования водоёмов.

Важно отметить, что многие виды синезеленых водорослей, вызывающие эвтрофирование и «цветение», служат продуцентами токсических веществ [5].

Для разработки эффективных мер по предотвращению несбалансированного эвтрофирования и «цветения» водоёмов необходимо углублять знания о механизмах развития этих процессов и факторах, их провоцирующих.

Сообщества фитопланктона представляют собой ценный объект в хозяйственной деятельности человека, так как планктон имеет ряд преимуществ в оценке качества водоемов по сравнению с иными известными методами биоиндикации [4].

Цель работы – установить видовой состав фитопланктона в водоемах Амвросиевского муниципального округа.

Были поставлены следующие задачи:

1. Исследовать видовой состав фитопланктона прудов Амвросиевского муниципального округа;
2. Определить доминирующую по численности группу фитопланктона.

По наличию естественного природного речного стока Амвросиевский муниципальный округ относится к наименее водообеспеченному. Для гидрографии округа характерна маловодность. Прежде всего, это обусловлено принадлежностью к степной зоне, для которой коэффициент увлажнения (отношение атмосферных осадков к испарению) составляет лишь 0,66. С целью максимального зарегулирования и внутригодового перераспределения стока построены пруды и водохранилища сельскохозяйственного назначения.

В Амвросиевском муниципальном округе выявлено 87 водных объектов, общая площадь водного зеркала при НПУ составляет 870,8га. На территории округа расположено 77 прудов общей площадью водного зеркала при НПУ- 474,85га, 8 водохранилищ, общей площадью водного зеркала при НПУ- 312,72га, 1 карьер площадью водного зеркала 81га , 1 озеро площадью водного зеркала при НПУ-2,23га.

Альгологический анализ проб прудов Амвросиевского муниципального округа проводили с 01.10.2024 г. по 11.10.2024 г. включительно.

Исследования были проведены в 4 прудах Амвросиевского муниципального округа:

– пруд № 1, площадью водного зеркала 7,4 га, объём при НПУ, тыс. м³ - 165, расположен в городе Амвросиевка в балке Сухой Лог, бассейн реки Мокрый Еланчик,

административно относится к Амвросиевскому муниципальному округу. Пруд предназначен для разведения рыбы и отдыха (бывший городской пляж);

– пруд № 2, площадью водного зеркала 43,6 га, объём при НПУ, тыс. м³ - 696,4, расположен в селе Ольгинское берегах реки под названием Средний Еланчик (приток Сухого Еланчика, бассейн Азовского моря), административно относится к Амвросиевскому муниципальному округу. Пруд предназначен для разведения рыбы;

– пруд № 3, площадью водного зеркала 5,3 га, объём при НПУ, тыс. м³ - 107,4, расположен в селе Мокроеланчик в Южной части Донецкого кряжа, в 10 км от районного центра – г. Амвросиевки и 8 км от границы с Ростовской областью, административно относится к Амвросиевскому муниципальному округу. Пруд предназначен для сельскохозяйственных нужд, орошения пастбищ;

– пруд № 4, площадью водного зеркала 32,2 (29,1) га, объём при НПУ, тыс. м³ - 962,6 (789,5), расположен в селе Мокроеланчик, балка Мокрый Еланчик, бассейн реки Мокрый Еланчик, административно относится к Амвросиевскому муниципальному округу. Пруд предназначен для сельскохозяйственных нужд.

В результате проведенных исследований было идентифицировано 60 видов водорослей, которые относятся к 5 отделам (*Chlorophyta*, *Charophyta*, *Xantophyta*, *Bacillariophyta*, *Euglenophyta*), 7 классам, 10 порядкам, 17 семействам, 31 родам (табл. 1).

Доминирующим по количеству идентифицированных видов является отдел *Bacillariophyta* (29 видов), второе место по видовому богатству занимает отдел *Chlorophyta* (25 видов), наименьшее количество видов было характерно для отдела *Xantophyta* (1 вид). В табл. 1 представлена таксономическая структура водорослей фитопланктона.

Таблица 1 – Таксономическая структура идентифицированных водорослей фитопланктона.

Отделы	Количество				
	классов	порядков	семейств	родов	видов
<i>Chlorophyta</i>	2	3	8	11	25
<i>Charophyta</i>	1	1	1	1	2
<i>Xantophyta</i>	1	1	1	1	1
<i>Bacillariophyta</i>	2	4	6	15	29
<i>Euglenophyta</i>	1	1	1	3	3
Всего	7	10	17	31	60

Водоросли фитопланктона под воздействием факторов окружающей среды, таких как температура, освещение, а также в результате загрязнения водоемов (несбалансированное эвтрофирование) способны к бурному развитию, что приводит к их «цветению» в водном объекте.

Во избежание истощения водно-ресурсного потенциала, дальнейшего заиливания и деградации водных объектов необходимо проводить работы в рамках проектов, направленных на поддержание, защиту и улучшение качества водных ресурсов в соответствии со стандартами для их дальнейшего полезного использования.

Таким образом, в исследуемых водоемах Амвросиевского муниципального округа преобладают бациллариофициевые водоросли (отдел *Bacillariophyta*), далее по численности следуют зеленые водоросли (отдел *Chlorophyta*), а наименьшим количеством отметились представители желтозеленых водорослей (отдел *Xantophyta*). Всего в прудах Амвросиевского муниципального округа определено 60 видов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белякова Г. А., Дьяков Ю. Т., Тарасов К. Л. Ботаника: в 4 т. Т.1-2. Водоросли и грибы: учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательство центр «Академия», 2006. – 320 с.
2. Вассер С. П., Кондратьева Н. В., Масюк Н. П. Водоросли. Справочник. – Киев: Наук. думка, 1989. – 608 с.
3. Зилов Е. А. Гидробиология и водная экология (организация, функционирование и загрязнение водных экосистем): учебное пособие. – Иркутск: Иркут. ун-т, 2008. – 138 с.
4. Макуха А. О., Мирненко Э. И. Особенности развития фитопланктона в прудах Донецкого ботанического сада // Изучение и сохранение биоразнообразия в ботанических садах и других интродукционных центрах: Материалы научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Донецкого ботанического сада (г. Донецк, 8-10 октября 2019 г.). – Донецк, 2019. – с. 261-265.
5. 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.
6. Мирненко Э. И. Биологический мониторинг состояния водных объектов Донецкой народной Республики / Э. И. Мирненко // 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. 148-152. – EDN ZENMSQ.
7. Мирненко, Э. И. Динамика многолетних исследований фитопланктона в прудах Г. Донецка / Э. И. Мирненко // Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : материалы IX Международной научной конференции, Донецк, 15–17 октября 2024 года. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2024. – С. 83-84. – EDN KFVRBL.
8. Мирненко, Э. И. Диатомовый анализ водохранилищ, расположенных на р. Кальмиус / Э. И. Мирненко // Самарский научный вестник. – 2023. – Т. 12, № 1. – С. 82-86. – DOI 10.55355/snv2023121112. – EDN OHMYXM.
9. 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.

"BLOOMING" AND EUTROPHICATION OF PHYTOPLANKTON IN PONDS OF THE AMVROSIYEVSKY MUNICIPAL DISTRICT

Annotation. This paper examines the processes of eutrophication and "blooming" of phytoplankton, the impact of these processes on the aquatic ecosystem of the Amvrosievsky municipal district. The dominant phytoplankton group has been identified.

Keywords: phytoplankton, "blooming", ponds, eutrophication, Amvrosievsky municipal district.

Khokhlova O.A.

Scientific supervisor: E.I. Mirnenko, senior lecturer
DonGU Federal State Budgetary Educational Institution
E-mail: hohlowa.ol4ik@mail.ru

СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ГЕРБАРНЫХ ЭКЗЕМПЛЯРОВ ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ДАННЫХ В ДОНБАССЕ

Чунаева Н.В.

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

Аннотация. Использован авторский подход в оценке микроструктур растений из гербарной коллекции Донецкого государственного университета для сорно-рудеральной фракции флоры Донбасса в привязке к основным экологическим факторам. Ретроспективный анализ за последние 6 десятилетий позволяет выделить основные микроклиматические тренды для тех экотопов, которые по гербарной регистрации имели геолокалитет и выявили экотопическую и межгодовую разницу в строении функциональных элементов, связанных с микроклиматическим тенденциями. Сделан предположительный вывод о наличии флюктуирующей комбинации фитоиндикационных данных с связи с антропогенной трансформацией и процессами локального потепления в условиях индустриального региона.

Ключевые слова: гербарий, климат, структура растений, фитоиндикация, Донбасс, экологический мониторинг.

Формирование гербарных фондов является основополагающей задачей научных и образовательных организаций в каждом регионе [1–3]. В условиях всестороннего и многогранного использования растительных объектов в экологических и хозяйственном прикладных целях [4–6], особенно в экологически напряженных регионах [7–12], а также для методического обеспечения учебного процесса [13, 14] возникает необходимость актуализировать как наличие и функционирование гербария как такового в центральном высшем учебном заведении региона, а также возможность использования накопившейся информации для решения доступных в анализе актуальных задач, например, для ретроспективного микроклиматического анализа в доступном разрезе времени.

Цель работы – рассмотреть некоторые примеры морфологической (структурно-функциональной) организации растительных организмов в гербарной коллекции ДонГУ для сравнительного анализа возможных микроклиматически зависимых процессов, учитывая специфичность условий произрастания видов в конкретных экотопах в разные годы на протяжении формирования архивных и экспозиционных сборов региональной коллекции, а также в сравнительном архитектоническом анализе с гербарными образцами центральных хранилищ ботанических образцов в МГУ и Кью.

Фитоиндикационный критерий по структурной ботанике положен в основу экологического мониторинга, реализуемого в Донбассе в прикладной задаче – диагностики состояния локальных экосистем [15, 16], тем более подвергающихся интенсивному антропогенному фактору в последние годы [17]. Также актуализирована задача цифровизации гербария ДонГУ [18] в том числе в рамках дорожной карты в сотрудничестве донецкого университета с центральным вузом России – Московским государственным университетом им. М.В. Ломоносова.

Направления по представлению фрагментов фиторазнообразия Центрального Донбасса были представлены в 2023 и 2024 годах для формирования экспозиционного материала на центральной выставке в России [19]. Регионально обусловленной является необходимость отслеживания атипичных проявлений в структуре растений для формирования базы данных как об индивидуальной пластичности видов, так и использовании сигнальных функций растений в фитодиагностике антропогенных трансформаций [20–22]. Ранее была предпринята попытка обоснования выбранной темы в свете востребованности информации о меняющемся и(либо) трансформирующемся климате в регионе и в мире в целом при использовании гербарной коллекции Донецкого государственного университета [23].

Для реликтового и эдафотопически специфического вида *Hyssopus cretaceus* были получены образцы поверхности листовой пластинки в зависимости от года сбора в одном и том же локалитете (рис. 1) – характер опушения, а также характер жилкования листового аппарата у основания листовой пластинки *Pimpinella titanophyla* (рис. 2) как также специфического представителя во флоре Донбасса, имеющего узкую экологическую амплитуду по эдафическим компонентам среды.



Рис. 1 – Анализ поверхности (по опушению) листовой пластинки *Hyssopus cretaceus* в наглядно-сравнительном тренде межгодовых сравнений и габитуса в гербариях ДонГУ (оригинальный образец) и МГУ по [24]



Рис. 2 – Анализ жилкования листовой пластинки *Pimpinella titanophyla* в наглядно-сравнительном тренде межгодовых сравнений и габитуса в гербариях ДонГУ и Кью

При выборе реперных образцов были использованы реликтовые растения меловых экотопов Донбасса, гербарные образцы которых отмечают свою сохранность с 1965 г.

Меловые обнажения являются местом консервирования многих эндемичных растений, при этом отмечается относительное постоянство среды в местах природно-заповедного фонда и минимизация прямого вмешательства индустриализации.

Для примера рассмотрели разницу в поверхности (опушении) листовой пластинки *Hyssopus cretaceus* и выяснили, что в разные десятилетия такой показатель (ксерофитизации включая размеры клеток околоустычного аппарата) менялся в зависимости от фактора увлажнения и среднесуточной температуры.

Сохранность гербарной коллекции на современном этапе находится под угрозой в результате обстрелов учебного корпуса (рис. 3 и 4) и повреждения лабораторий.



Рис. 3 – Состояние выставочного гербария кафедры ботаники и экологии ДонГУ (2022-2025 гг.) в период проведения СВО в Донбассе



Рис. 4 – Специфика сохранности гербарного фонда кафедры ботаники и экологии ДонГУ (2022-2025 гг.) в период проведения СВО в Донбассе

Вариативность сети жилкования является также признаком, связанным с микроклиматическими изменениями и тенденциями. Для этого были проанализированы 340 листовых пластинок *Pimpinella titanophyla* из сохранившихся на начало 2024 года

экземпляров. Также установлены волны ксерофитизации (максимальных плотностей жилкования у основания листа) в 1979, 1990, 2004 и 2013 годы. В промежутке между указанными годами наблюдается меньшая выраженность ксерофитного фактора, что, безусловно, требует дополнительной проверки и изучения.

Особенностью проведенного ретроспективного анализа является то, что микропрепарирование происходит натурным способом без повреждения гербарного образца. Представители яснооких и зонтичных интересны широким спектром разнообразия морфологических структур, связанных с экологическим факторами климатической природы. Выделить микроклиматический тренд – сложная задача при условии хорошей сохранности материала и проверки точек сбора материала в разные годы для одинаковых видов. При этом выбор, как правило, концентрируется на представителях сорно-рудеральной фракции урбanoфлоры крупных агломерационных систем региона.

К сожалению, к 2025 году многие гербарные листы утрачивают свою способность адекватно сохранять свою целостность, поскольку учебный корпус биологического факультета третью зиму лишен остекления и гербарные фонды не сохраняют требуемую санитарную норму.

Исследование выполнено в рамках молодежной лаборатории «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьевская А.Я., Владимиров Д.Р., Субботин А.С. Перспективы создания и практического использования регионального флористического ресурса «Цифровой гербарий сосудистых растений – VORG» // Коллекции как основа изучения генетических ресурсов растений и грибов. СПб.: Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, 2022. С. 10. EDN RZDZNP.
2. Волдаева С.Ю., Волкова Е.М. Гербарий ТулГУ как основа для мониторинга флоры Тульской области // Вестник Тульского государственного университета. 2021. С. 607–612. EDN HCCCPX.
3. Волдаева С.Ю., Волкова Е.М. Состояние гербарного фонда Тульского государственного университета // Флора и растительность Центрального Черноземья – 2021. п. Заповедный: Издательский дом ВИП, 2021. С. 12–13. EDN : JONMIK.
4. Урбоэкодиагностика промышленных городов Центрального Черноземья / С.А. Куролап, О.В. Клепиков, Т.И. Прожорина [и др.]; Российский научный фонд, Воронежский государственный университет. – Воронеж: Цифровая полиграфия, 2022. – 255 с. – EDN HEQQGA.
5. Изучение эколого-фармакогностических показателей лекарственного растительного сырья синантропной флоры средней полосы России на примере пижмы обыкновенной / Н.А. Дьякова, С.А. Епринцев, О.В. Клепиков, П.М. Виноградов // Смоленский медицинский альманах. 2024. № 3. С. 99-103. DOI 10.37903/SMA.2024.3.25. EDN JBORDN.
6. Епринцев С.А. Глава 6. Геоинформационное зонирование территории городов Центрального Черноземья по экологическим рискам загрязнения воздушного бассейна // Экологические риски аэробиогенного загрязнения промышленных городов Центрального Черноземья. Воронеж: "Цифровая полиграфия", 2024. С. 223-252. EDN ZKZQGV.
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. 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. Корниенко В.О. Ретроспективный анализ антропогенного загрязнения города Донецка. Вибрационно-акустическое зашумление // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2024. № 1. С. 93-100. DOI 10.5281/zenodo.12532574. EDN TSWEOI.

11. 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.
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. Сафонов А.И. Специфика подготовки учебно-методической продукции ботанико-экологического содержания для научной библиотеки ДонНУ // Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. Донецк: ДонНУ, 2019. С. 294-297. EDN AZCFDC.
14. Авраимова Т.В. Экологические разработки в Донбассе: библиографический учёт и популяризация научных исследований // Научные и технические библиотеки. 2023. № 3. С. 30-42. DOI 10.33186/1027-3689-2023-3-30-42. EDN BLUFHQ.
15. Сафонов А.И. Фитоквантификация как информационный ресурс экологического мониторинга Донбасса // Донецкие чтения 2018: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. – Донецк: ДонНУ, 2018. С. 216. EDN YPAMWD.
16. Петкогло О.В. Ретроспективный анализ интерьерной и ландшафтной фитооптимизации промышленной среды (к 100-летию профессора М.Л. Ревы) // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2022. № 3. С. 72-79. EDN GTDLEL.
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. 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 EFUUIB.
19. 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.
20. Сафонов А.И. Тератогенез цветков и соцветий в индикации антропогенной нагрузки // Вестник СКУ им. М. Козыбаева. 2024. № 4(64). С. 66-72. DOI 10.54596/2958-0048-2024-4-66-72. EDN NSAUJH.
21. Крамаренко А.А. Экспериментальные данные по фитооптимизации техногенной среды - образовательный ресурс // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. – Донецк: ДонНТУ, 2024. С. 234-235. EDN HMUXXQ.
22. 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 QQCBET.
23. 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 KGZAPR.
24. Серегин А.П. (ред.) Цифровой гербарий МГУ: Электронный ресурс. М.: МГУ, 2025. Режим доступа: <https://plant.depo.msu.ru/> (дата обращения 10.02.2025)

THE STRUCTURAL ORGANIZATION OF HERBARIUM SPECIMENS IN THE IDENTIFICATION OF MICROCLIMATIC DATA IN DONBASS

Annotation. The author's approach was used to evaluate the microstructures of plants from the herbarium collection of Donetsk State University for the weed-ruderal fraction of the flora of Donbass in relation to the main environmental factors. A retrospective analysis over the past 6 decades allows us to identify the main microclimatic trends for those ecotopes that, according to herbarium registration, had a geolocation and revealed ecotopic and interannual differences in the structure of functional elements associated with microclimatic trends. An assumed conclusion is made about the presence of a fluctuating combination of phytoindication data related to anthropogenic transformation and local warming processes in an industrial region.

Keywords: herbarium, climate, plant structure, phytoindication, Donbass, environmental monitoring.

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

УДК 595.7

ДЕНДРОФИЛЬНЫЕ НАСЕКОМЫЕ ДОНБАССА

Шкиренко А.О.

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

Аннотация. В работе проанализированы очаги массового размножения инвазивных дендрофильных насекомых, влияющих на жизнеспособность древесных растений и как следствие на состояние экосистем Донбасса. Отмечены вредители, которые на данный период увеличиваются в численности и приводят к угнетению дубрав как на территории города, так и в заповедных зонах.

Ключевые слова: дендрофильные насекомые, вредители, массовые очаги размножения, биоинвазии.

Понятие дендрофильные насекомые подразумевает насекомых, которые обитают на деревьях и используют их как свою естественную среду обитания. Эти представители городской фауны могут представлять опасность не только для растений, как компонентов городских насаждений, но и для экосистем Донбасса в целом [5; 6]. Признаки опасности для древесных растений, которые могут проявлять дендрофилы, включают в себя: повреждение коры, кроны, побегов, листьев и корней. Все это приводит к снижению их жизнеспособности и гибели растений. Наиболее существенными причинами, способствующие массовому размножению вредителей является климатические условия. Изменения в климате могут привести к увеличению распространения и активности наиболее опасных видов дендрофильных насекомых, так как более теплые зимы и более теплые летние сезоны создают благоприятные условия для их размножения и быстрого развития, а также миграции из других регионов. Как отмечают некоторые ученые [1; 2; 5–14] частой причиной появления инвазий является занос преимагинальных стадий с посадочным материалом.

В последние годы на территории Донбасса выявлено большое количество инвазивных видов, которые адаптируются к новым условиям и составляют элементы городской фауны. При этом некоторые из них не проявляют вредоносности (в основном разновидности тли) [12]. Однако другие виды наносят серьезный вред растениям, вызывая значительный ущерб для экосистем. Таким образом, изучение и борьба с наиболее опасными видами дендрофильных насекомых, образующие очаги массового поражения на древесных растениях, имеет большое значение для сохранения природных и антропогенно-трансформированных экосистем.

Цель данной работы – проанализировать массовые вспышки инвазивных дендрофильных видов, оказывающие значительный ущерб древесным растениям на территории Донбасса.

Материалом для написания работы послужили собственные сборы и наблюдения, а также анализ литературных данных, для комплексного изучения массовых вспышек дендрофильных насекомых.

Насекомые являются важным компонентом биоценозов, однако среди них существует большое количество дендрофилов, которые приводят к массовому угнетению различных органов древесных растений, в том числе снижая их декоративный вид. При этом вредители населяют все ярусы растительности, и представляют опасность не только для деревьев, но и экосистем Донбасса в целом. По характеру повреждения дендрофильных насекомых можно разделить на вредителей листьев, стволов, коры, генеративных органов и вредителей корней. Таким образом, каждый из этих типов вредителей наносит специфический урон различным частям дерева, что может приводить к снижению его жизнеспособности.

В последние годы наблюдается изменение видового разнообразия насекомых, что сопровождается появлением инвазивных видов, специфических для данной территории. Такие находки отмечаются ведущими учёными региона [1; 2; 4-14]. На период 2024 года количество видов дендрофилов на территории Донбасса увеличивается до 125 видов. В систематическом отношении инвазивные виды представлены 5 отрядами, среди которых наибольшее число отмечено в отряде Hemiptera – 75 (Heteroptera – 7, Auchenorrhyncha – 10, Sternorrhyncha – 58), отряд Lepidoptera представлен 21 видом, Coleoptera – 15, Hymenoptera и Diptera – 7 видами каждый [10]. При этом большинство инвазий вызывают очаги массового размножения, приводящие к массовому угнетению местной флоры. Следует также добавить, что в последнее время на территории города Донецка массовому поражению подвергаются растения и аборигенной фракции. Более того, снижение жизнеспособности растений отмечено как на городской флоре, так и в заповедных зонах (дендрарий Донецкого ботанического сада).

Состоянием на 2024 год к наиболее опасным дендрофилам можно отнести минириующих насекомых, которые способны к массовому поражению листовых пластин аборигенных и интродуцентных растений. К таким вредителям следует отнести дубовую широкоминириющую моль (*Acrocercops brongniardella*) (рис. 1, Б), дубовую одноцветную моль (*Tischeria ekebladella*) и каштановую минириющую моль (*Cameraria ohridella*) (рис., 1, А). Как указывают некоторые учёные [10] *Cameraria ohridella* на протяжении многих лет сохраняет хронические очаги с высокой численностью, приводящая к дефолиации каштана конского. При этом каштан конский (*Aesculus hippocastanum*) - показывает устойчивость к некоторым болезням и вредителям, но активно повреждается всем известной каштановой минириющей моли. Но некоторые разновидности конского каштана показывают устойчивость к этому вредителю [15].

Следует отметить, что минириющие вредители дуба в последнее время также увеличиваются в численности, особенно это наблюдается в дендрарии ДБС. Повреждения, вызванные *Acrocercops brongniardella* приводят к снижению фотосинтетической активности [3].

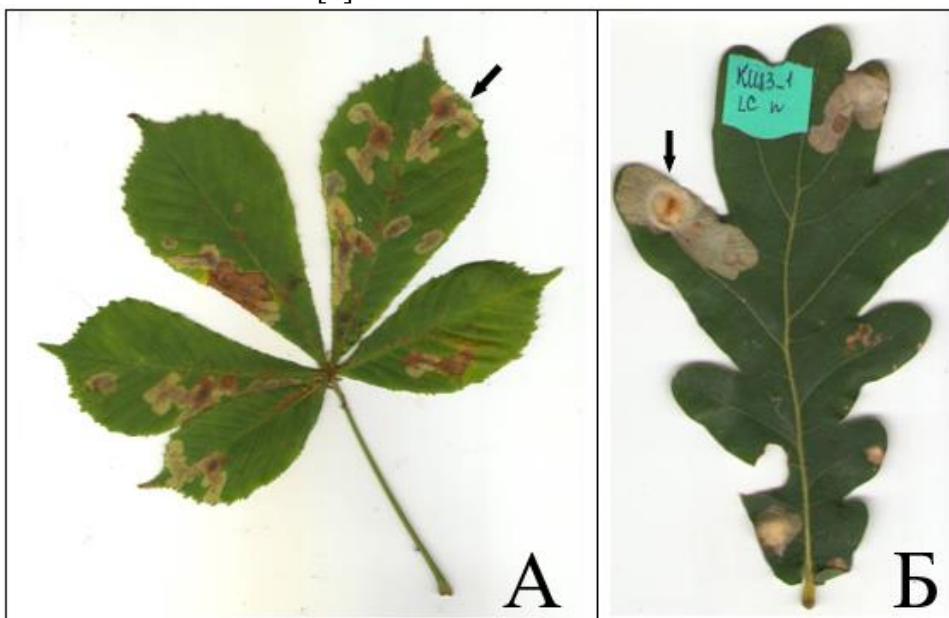


Рисунок 1 – Поврежденные листовые пластины минириющими вредителями

Обозначения: А – поврежденные листья деревьев *Aesculus hippocastanum* L. орхидным минером *Cameraria ohridella*; Б – поврежденные листья деревьев *Quercus robur* L. дубовой широкоминириющей молью *Acrocercops brongniardella*.

Примечание: стрелкой указаны мины вредителей.

Кроме того, в последние годы дуб черешчатый сильно подвергается вредителям. Зафиксировано массовое повреждение желудей на территории г. Донецка и г. Енакиево дубовым долгоносиком (*Curculio glandium*) (рис. 2).



Рисунок 2 – Поврежденные желуди дуба черешчатого *Quercus robur* L. дубовым долгоносиком *Curculio glandium*

Примечания: стрелкой обозначены личинки *Curculio glandium*

К наиболее опасным листогрызущим видам вязовых можно отнести ильмового пилильщика-зигзага (*Aproceros leucopoda*) [5]. В Луганской области этот вредитель впервые зарегистрирован в 2006 году. В Донецкой области – в 2014 году. Очаги массового размножения отмечены в 2015 году [6], однако как отмечают ученые вспышка численности этого инвазивного вида началась с 2014 года [5] и по 2024 год сохраняет локальные очаги с высокой численностью в придорожных насаждениях [10], сопровождаясь полной дефолиацией насаждений вяза приземистого [5].

Угрозу для придорожных насаждений представляет клоп-щитник (*Halyomorpha halys*), локальные очаги которого выявлены в Мариуполе и Донецке в 2023 г. [10]. Этот вид специализируется на плодовых и декоративных (различные виды клена и ясения) растениях. Его вредоносность связана с проколами поверхности плода или листа и высасыванием его содержимого, в результате образуются некротические пятна.

В период с 2017 по 2024 год существенно увеличивается в численности азиатская липовая моль-пестрянка (*Phyllonorycter issikii*) [10]. Впервые найденная на территории Донбасса в 2017 году на липе мелколистной *Tilia cordata* [7]. Поврежденная листва данным вредителем преждевременно засыхает и опадает.

В последние годы отмечается появление клопов-кружевниц. В 2021 г. на территории Донбасса впервые выявлен клоп тополевая кружевница (*Monosteira unicostata*). Этот вредитель поражает листья тополя черного (*Populus nigra*) и тополя белого (*Populus alba*) [2]. В 2022 году впервые зарегистрированы локальные очаги дубовой кружевницы (*Corythucha arcuata*) [9], и на период 2024 г. этот вид не демонстрируют тенденции к увеличению площади [10]. В 2023 году выявлены также локальные очаги платанового клопа-кружевницы (*Corythucha ciliata*) в парковых насаждениях г. Мариуполя [10; 14]. Эти инвазивные виды поражают нижнюю часть листовой пластины. Питание вредителя приводит к пожелтению листьев, загрязнению их экскрементами и преждевременной дефолиации растений. Однако эти вредители помимо основных кормовых пород активно питаются и дополнительными видами (*Acer platanoides*, *Alnus glutinosa*, *Corylus avellana*, *Crataegus spp.*, *Malus sylvestris*, *Prunus avium*, *Rubus idaeus*, *Robinia pseudoacacia*, *Pyrus spp.*, *Rosa canina*, *Salix caprea*, *Ulmus minor*) [9; 14]. Таким образом, эти дендрофилы представляет опасность для всех типов

насаждений. Следует также отметить, что увеличение в численности может приводить к массовому увяданию деревьев.

Как отмечают ученые [1; 4; 5; 8; 10; 13] в настоящее время комплекс дендрофильных насекомых дополняется опасными вредителями декоративных растений. К наиболее опасным вредителям относят самшитовую огневку (*Cidalima perspectalis*) [5], впервые найденную в 2024 году на территории г. Донецка в декоративных насаждениях самшита вечнозелёного [13]. Этот вредитель привел к серьезной экологической катастрофе в реликтовых самшитовых лесах Кавказа. Таким образом, в настоящее время желательно ограничить использование самшита в озеленении населенных пунктов Донбасса и усилить фитосанитарный контроль [13].

В 2023 г. зарегистрированы вспышки массового размножения можжевельникового лубоеда *Phloeosinus aubei* [10]. Первые находки массового очага *Phloeosinus aubei* в Донецке и Авдеевке зарегистрированы ещё 2010 году. На Донбассе этот вредитель считается вредителем можжевельника виргинского *Juniperus virginiana*, казацкого *J. sabina* и туи западной *Thuja occidentalis* [1; 11].

На период 2024 года учеными отмечено завершение вспышек большой еловой ложнощитовки *Physokermes piceae* в природных насаждениях [10]. Этот вредитель существует на Донбассе с 1983 года [4; 8]. И первая локальная популяция этого вредителя появилась в парковой зоне посёлка Пески Донецкой области [4]. С момента обнаружения зарегистрировано четыре подъёма численности этого вредителя: в 1983, 2001–2002, 2006 годах и с 2016 года по 2020 [8]. В период с 2018 по 2021 гг. отмечена массовая вспышка размножения большой еловой ложнощитовки *Physokermes piceae* которая в этот период достигла своего пика [10].

Таким образом, дендрофильные насекомые играют значительную роль в жизнедеятельности растений, оказывая в основном отрицательное влияние на жизнеспособность древесных насаждений. Поскольку вредители населяют все ярусы растительности, они представляют опасность не только для деревьев, но и экосистем в целом. Кроме того, появление инвазивных видов, способных образовывать очаги массового размножения становится угрозой для дендроценов в целом. Следовательно, мониторинг вспышек инвазий является важной задачей для реального понимания состояния и дальнейшего прогнозирования экосистем Донбасса.

Работа выполнена по теме государственного задания «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно трансформированных экосистем Донбасса» (номер госрегистрации 124051400023-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Губин, А. И. Первая находка кипарисовой радужной златки *Lamprodila (Palmar) festiva* (Linnaeus, 1767) (Coleoptera: Buprestidae) в Донбассе / А. И. Губин, В. В. Мартынов, Т. В. Никулина // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2020. – № 75. – С. 96-107. – DOI 10.31360/2225-3068-2020-75-96-107. – EDN ECVHGS.
2. Губин, А. И. Тополевая кружевница *Monosteira unicostata* (Mulsant et Rey, 1852) (Heteroptera: Tingidae) - новый вредитель тополя в Донбассе / А. И. Губин, В. В. Мартынов, Т. В. Никулина // Промышленная ботаника. – 2023. – Т. 23, № 3. – С. 52-58. – DOI 10.5281/zenodo.10442791. – EDN CVTOGE.
3. 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/snv2024133105. – EDN CRFRCR.
4. Левченко, И. С. Особенности биологии большой еловой ложнощитовки *Physokermes piceae* (Schrank, 1801) (Hemiptera: Coccidae) в степной зоне Украины / И. С. Левченко, В. В. Мартынов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2021. – № 236. – С. 25-48. – DOI 10.21266/2079-4304.2021.236.25-48. – EDN NPHNNO.
5. Мартынов, В. В. Инвазивные дендрофильные насекомые в насаждениях Донецка / В. В. Мартынов, Т. В. Никулина // Мониторинг и биологические методы контроля вредителей и патогенов древесных

- растений: от теории к практике. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Москва, 18-22 апреля 2016 г. Красноярск: ИЛ СО РАН, 2016. – 224 с.
6. Мартынов, В. В. Новые инвазивные насекомые-фитофаги в лесах и искусственных лесонасаждениях Донбасса / В. В. Мартынов, Т. В. Никулина // Кавказский энтомологический бюллетень. – 2016. – Т. 12, № 1. – С. 41-51. – EDN WEAUPN
7. Мартынов, В. В. Новые инвазивные виды молей-пестрянок (Lepidoptera, Gracillariidae) на территории Донбасса / В. В. Мартынов, Т. В. Никулина // Биологический вид в структурно-функциональной иерархии биосферы Сборник материалов XV Международной научно-практической экологической конференции. 8–12 октября 2018 г Белгород. 133-136 с.]
8. Мартынов, В. В. Особенности биологии большой еловой ложнощитовки *Physokermes piceae* (Schrank, 1801) (Hemiptera: Coccidae) в степной зоне Украины / В. В. Мартынов, И. С. Левченко // Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах (XI Чтения памяти О.А. Катаева) : Материалы Всероссийской конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 24–27 ноября 2020 года / Под редакцией Д.Л. Мусолина, Н.И. Кириченко и А.В. Селиховкина. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 2020. – С. 220. – EDN NSPPCX.
9. Мартынов, В. В. Дубовая кружевница *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Hemiptera: Tingidae) - новый опасный вредитель дуба в Донбассе / В. В. Мартынов, Т. В. Никулина // Промышленная ботаника. – 2022. – Т. 22, № 3-4. – С. 68-76. – DOI 10.5281/zenodo.7790854. – EDN XRFXFC.
10. Мартынов, В.В. Состояние популяций чужеродных дендрофильных насекомых в Донбассе / В. В. Мартынов, Т. В. Никулина, А. И. Губин // Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах (XIII Чтения памяти О.А. Катаева) / Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Санкт-Петербург, 28 октября – 01 ноября 2024 г. / под редакцией А.В. Селиховкина, Ю.Н. Баранчикова, Н.Н. Карпун, М.Ю. Мандельштама и В.И. Пономарёва. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2024. – 74-75 с.
11. Мартынов, В.В. Новые инвазивные насекомые-фитофаги в лесах и искусственных лесонасаждениях Донбасса / В. В. Мартынов, Т. В. Никулина // Кавказский энтомологический бюллетень. – 2016. – Т. 12. – №1. – С. 41–51. EDN: WEAUPN
12. Новые и интересные находки членистоногих-фитофагов в зеленых насаждениях Донбасса. Сообщение VIII / В. В. Мартынов, Т. В. Никулина, А. И. Губин, А. А. Орлатый // Промышленная ботаника. – 2022. – Т. 22, № 1. – С. 49-68. – DOI 10.5281/zenodo.7199726. – EDN PLZIZB.
13. Первая находка самшитовой огневки *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) (Lepidoptera: Crambidae) в Донбассе / В. В. Мартынов, И. В. Бондаренко-Борисова, А. И. Губин, Т. В. Никулина // Мозаичность и системность в биосфере : сборник материалов XVIII Международной научно-практической экологической конференции, Белгород, 08–10 октября 2024 года. – Белгород: Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2024. – С. 102-105. – EDN VMLOEK.
14. Формирование комплекса вредителей и болезней платана в Донбассе / В. В. Мартынов, Т. В. Никулина, А. И. Губин, И. В. Бондаренко-Борисова // Промышленная ботаника. – 2023. – Т. 23, № 4. – С. 59-80. – DOI 10.5281/zenodo.10566239. – EDN ADEBGJ.
15. Устойчивость видов конского каштана (*Aesculus L.*) к охридскому минеру, или каштановой минирующей моли (*Cameraria ohridella* DESCHKA & DIMI Ć) / О.А. Каштанова, О.Б. Ткаченко, В.В. Кондратьева, Т.В. Воронкова, Л.С. Олехнович // Бюллетень МОИП. Отдел биологический. 2020. №5. URL: [">https://cyberleninka.ru/article/n/ustoychivost-vidov-konskogo-kashtana-aesculus-l-k-ohridskomu-mineru-ili-kashtanovoy-miniruyuschey-moli-cameraria-ohridella-deschka](https://cyberleninka.ru/article/n/ustoychivost-vidov-konskogo-kashtana-aesculus-l-k-ohridskomu-mineru-ili-kashtanovoy-miniruyuschey-moli-cameraria-ohridella-deschka) (дата обращения: 04.02.2025).

MASS OUTBREAKS OF DENDROPHILOUS INSECTS IN THE TERRITORY OF DONBASS

Annotation. In this paper, the foci of mass reproduction of invasive dendrophilous insects affecting the viability of tree plantations in the territory of Donbass are analyzed. Pests have been noted, which are increasing in numbers during this period and lead to the oppression of oak forests both in the city and in protected areas (arboretum of the DBS).

Keywords: dendrophilous insects, pests, mass breeding sites, bioinvasion.

Shkirenko A.O.

Scientific supervisor: Kornienko V.O., PhD in Biological sciences, Associate Professor Donetsk state university
E-mail: alyona.shkirenko@mail.ru

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ РОДА *EUSIMULIUM ROUBAUD*, 1906 НА ТЕРРИТОРИИ ДОНБАССА

Шкиренко А.О.

Научный руководитель: Рева М.В., канд.биол.наук., доцент

ФГБОУ ВО «ДонГУ»

Аннотация. В данной работе изучен видовой состав рода *Eusimulium* Roubaud, 1906, относящийся к семейству кровососущих мошек Simuliidae. В работе также представлены общие признаки рода *Eusimulium* Roubaud, 1906, и проанализированы наиболее значимые диагностические признаки морфологических структур, по которым идентифицируют отдельные виды.

Ключевые слова: кровососущие мошки, Simuliidae, *Eusimulium*, видовой состав, диагностические признаки.

Кровососущие мошки (семейство Simuliidae) – это мелкие (длина тела 2-6 мм) в большинстве случаев кровососущие двукрылые. Такие мелкие, но активно питающиеся насекомые могут оказывать значительное влияние на здоровье человека, вызывая дискомфорт и болевые ощущения при укусе, а также способствуя распространению различных заболеваний (туляремия, сибирская язва, онхоцеркоз и тд.). Следует добавить, что распространение инфекционных заболеваний человека в основном происходит в странах с тропическим климатом. В регионах с умеренным климатом кровососущие мошки при укусе человека способны вызывать только аллергическую реакцию, которая носит название симулидотоксикоз. Однако несмотря на вредоносное значение этих насекомых, личинки играют важную роль в гидробиоценозах [5; 12]. Они принимают участие в самоочищении водотоков и служат пищей различным гидробионтам.

Территория Донбасса, отличающаяся разнообразием природных ландшафтов и водных ресурсов, предоставляет хорошие условия для обитания и выплода этих насекомых. В данном регионе уже многие годы проводятся обширные исследования по изучению кровососущих мошек, относящихся к семейству Simuliidae [3-13]. Такие исследования продолжаются и по настоящее время [13]. Научные работы в этой области охватывают различные аспекты. В первую очередь связанные с изучением видового состава как отдельных родов [4; 6; 7; 13] так и общей фауны кровососущих мошек [1; 5; 8-12]. Так на территории Донбасса зарегистрировано 8 родов: *Odagmia* Enderlein, 1921, *Eusimulium* Roubaud, 1906, *Nevermania* Enderlein, 1921, *Wilhelmia* Endrlein, 1921, *Boophthora* Enderlein, 1921, *Simulium* Latrielle, 1802, *Argentisimulium* Rubzov et Yankovsky, 1982, *Cnephia* Enderlein, 1921. Преобладающими по численности являются *Cnephia* Enderlein, 1921, *Odagmia* Enderlein, 1921 и *Wilhelmia* Endrlein, 1921.

Ряд работ посвящены изучению благоприятных биотопов для развития преимагинальных фаз [8-9]. Кроме того, имеются отдельные исследования по изучению адаптации кровососущих мошек к меняющимся условиям их обитания. Так симулид делят на две основные экологические группы: стенобионтные (узко специализированные и обитающих только в определенных биотопах) [10] и эврибионтные (способные адаптироваться к более широкому спектру условий) [11]. Среди симулид также выделяют редкие, малочисленные и многочисленные виды, что свидетельствует о разнообразии видового состава, который требует более детального изучения. Также важной частью исследований является изучение биологии развития преимагинальных фаз [9; 13] и имаго [6].

Активно ведутся исследования по влиянию антропогенных факторов на формирование биотопов и отдельно их влияние на развитие преимагинальных фаз кровососущих двукрылых [8]. Исследования показывают, что влияние антропогенных

факторов негативно сказываются на популяции кровососущих мошек. В рамках данной темы по изучению кровососов особое внимание уделяется жизненному циклу мошек, включая выплод и их лет. Изучение жизненных циклов мошек может быть полезно в качестве биоиндикаторов состояния окружающей среды [5], что позволяет отслеживать изменения в экосистемах. Кроме того, по видовому составу мошек можно определить качество водоемов [12]. Однако идентификация отдельных видов кровососущих мошек семейства *Simuliidae* представляет сложную задачу из-за необычайного морфологического однообразия многочисленных видов семейства, ведущих сходный образ жизни во всех фазах развития.

Целью данной работы является изучение видового состава мошек рода *Eusimulium* Roubaud, 1906 на территории Донбасса, а также анализ наиболее значимых диагностических признаков.

Материалы и методы.

При написании данной работы были использованы собственные сборы и наблюдения за мошками, микропрепараты симулиид, хранящиеся в коллекции кафедры зоологии и экологии Донецкого государственного университета, а также анализ литературных данных.

Основным методом сбора мошек в природе использовали ручной сбор, с помощью специализированных инструментов. Для сбора имаго применяли метод кошения сачком. Для сбора преимагинальных стадий выбирали только проточные водоемы с быстрым течением воды. Скорость течения определяли методом «поплавка». Осуществляли регистрацию погодных условий, характер водоема, температуру воды и воздуха. Личинок собирали вместе с субстратом, изымая вручную или с использованием механических приспособлений. Куколок снимали с субстрата с помощью скальпеля и пинцета за самый задний конец кокона. Собранный материал фиксировали в этиловом спирте (концентрация 70%), уксусном эфире, хлороформе или с помощью морилки, что позволяло сохранять образцы для дальнейшего анализа.

Сбор мошек осуществляли в течение периода окукления и вылета взрослых насекомых, который длится с марта – апреля и до конца сентября – октября. Наибольшее разнообразие видов в фазе куколки наблюдается весной. Массовый вылет имаго происходит в основном в мае. Развитие личинок в теплых водоемах занимает около месяца, в то время как стадия куколки длится от одной до двух недель. При этом, в одном водоеме, как правило, развивается одновременно несколько видов кровососущих мошек. Сроки их развития могут не совпадать, поэтому важно проводить сборы каждую неделю на протяжении всего теплого полугодия с марта – апреля по сентябрь – октябрь.

Камеральную обработку материала и изготовление микропрепараторов мошек осуществляли по общепринятым методикам И.А. Рубцова [2] и З.В. Усовой [1]. Определение видового состава проводили с использованием определителей И.А. Рубцова [2], З.В. Усовой [1], А.В. Янковского [14]. Для определения размеров использовали метод микроскопического измерения биологических объектов [15]. Оригинальные рисунки морфологических структур выполнены с помощью микроскопа МБР-1 с применением – РА-6.

Результаты исследований.

В результате наших исследований был изучен видовой состав, биология развития, фенология, кровососущая активность и морфологическое строение кровососущих мошек рода *Eusimulium* Roubaud, 1906 на всех фазах развития (рис. 1). На территории Донбасса род *Eusimulium* Roubaud, 1906 представлен 4 видами: *E. aureum* (Fries, 1824); *E. krymense* Rubzov, 1956; *E. angustipes* (Edwards, 1915); *E. securiforme* Rubzov, 1956.



Рисунок 1 – стадии развития кровососущих мошек семейства Simuliidae.
Обозначения: А – личинка, Б – куколка, В – имаго

Как известно, определение видового состава кровососущих мошек представляет определенные сложности, связанные с их морфологическим сходством многочисленных видов семейства, ведущих сходный образ жизни на всех фазах развития. Основное внимание в данной работе уделялось изучению морфологических и биологических этапов развития мошек. По внешнему строению мошек отличить достаточно сложно. Однако некоторые признаки (налеты, окраска, опушение), исчезающие при изготовлении микропрепарата, учитываются и используются для определения видового разнообразия. Детальная идентификация мошек требует изготовление микроскопических препаратов. Наиболее надежными отличительными признаками являются – половой аппарат (в особенности для имаго) и строение ротовых частей [1; 3]. К общим признакам рода *Eusimulium* Roubaud, 1906 относят: для самки – спинка обычно темная, однотонная, без полосок или пятен. Коготки с крупным зубцом у основания. Генитальные пластинки языковидно вытянуты. Ветви вилочки, как правило, относительно широкие; для самца – спинка бархатисто-черная, в ярких золотистых волосках; гоностили короткие сапожковидные, апикальный шип один. Гоностерн сжат с боков. Гонофурка в виде узкой пластинки, неглубоко расщеплена в дистальной части. В параметрах по 1 крупному шипу; для личинки – рисунок на лбу четкий, крестообразный (рис. 2); антенны длинные (0,50-0,55 мм). Вентральный вырез головной капсулы занимает менее половины длины капсулы. На заднем конце тела пара крупных вентральных боковых конических выростов; для куколки – кокон простой, полностью прикрывает тело куколки. В дыхательном органе 4 довольно широко расставленные от основания нити.



Рисунок 2 – рисунок на лбу личинки *Eusimulium angustipes* (Edwards, 1915).

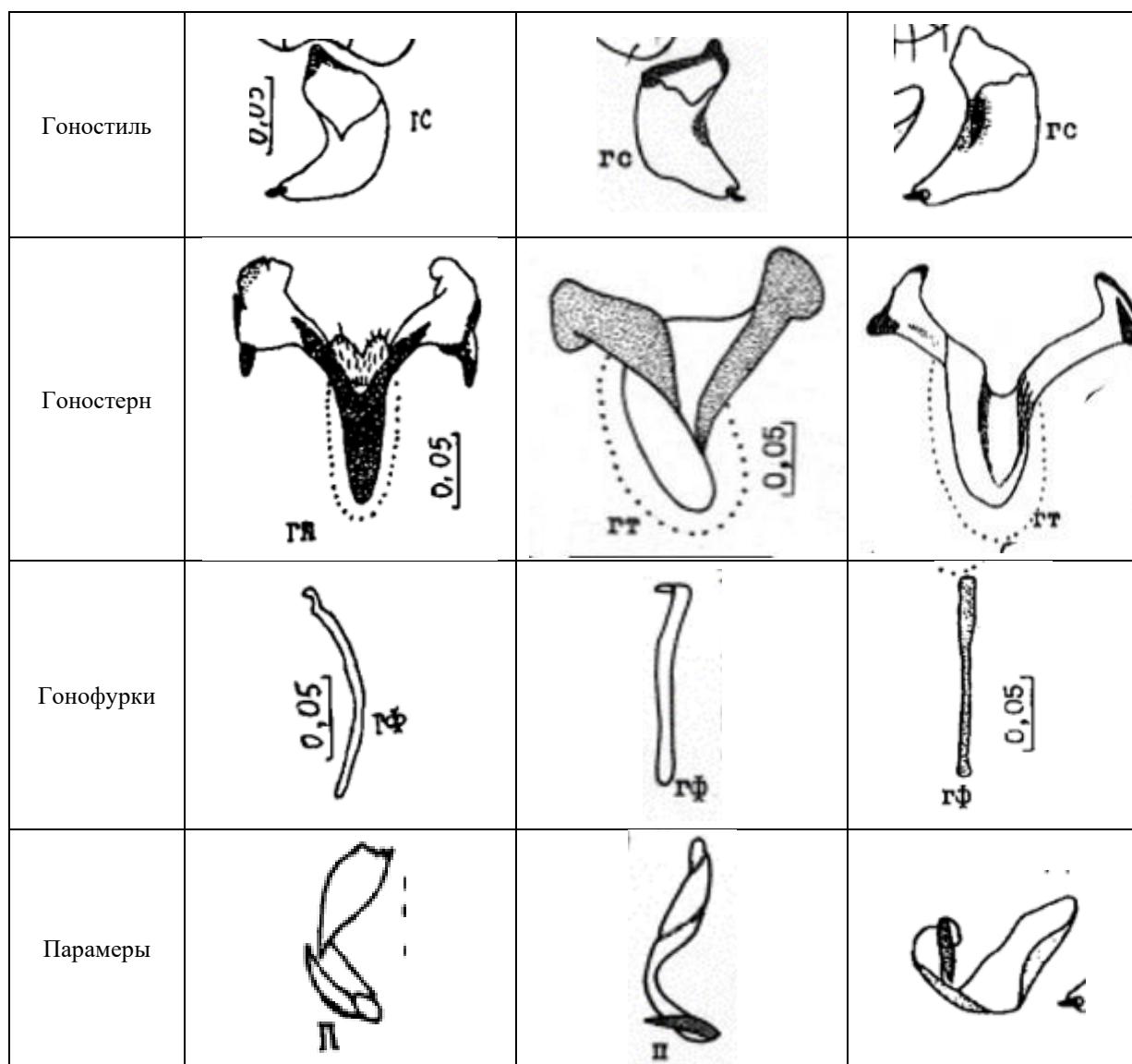
На основании наших исследований и анализа литературных данных [1-4; 7; 14] составлен ряд диагностических признаков для идентификации видов. К ним относят, у самок – форма лба и лица, строение вилочки, строение генитальных и анальных пластинок, а

также форма церок (табл. 1). У самцов – форма лицевого киля, строение гоностилей, гоностерна и гонофурки, а также строение параметров (табл. 1).

Таблица 1. Морфологические структуры имаго рода *Eusimulium* Roubaud, 1906

вид признак	<i>E. aureum</i>	<i>E. angustipes</i>	<i>E. securiforme</i>
Самка			
Голова (лоб (лб) и лицо (ли))			
Вилочка			
Генитальные пластинки			
Аналные пластинки и церки			
Самец			
Лицевой киль			

Продолжение таблицы 1



У личинок к наиболее диагностически важным признакам относятся – форма вентрального выреза, строение зубцов мандибул, субментума и его зубцов (табл. 2).

У куколок – количество и структура дыхательного органа и хетотаксия брюшка (табл. 2). Форма и расположение хет имеет родовое и групповое значение, шипики – видовое [1].

Таблица 2. Морфологические структуры преимагинальных стадий рода *Eusimulium* Roubaud, 1906

вид признак	<i>E. aureum</i>	<i>E. angustipes</i>	<i>E. securiforme</i>	<i>E. krymense</i>
Личинка				
Вентральный вырез				

Продолжение таблицы 2

Зубцы мандибул				
Субментум				
Зубцы субментума				
Куколка				
Количество дыхательных нитей	4	4	4	4
Расположение дыхательных нитей				
Брюшко				

Таким образом, мошки имеют существенное сходство в своей морфологии, обусловленное схожим образом жизни близких видов на всех фазах развития. Следовательно, для успешной идентификации отдельных видов симулиид необходимы надежные морфологические критерии. Однако идентификация видов кровососущих мошек семейства Simuliidae представляет значительную сложность. Для точного определения разных видов кровососущих мошек семейства Simuliidae внешнего описания недостаточно. Таким образом, при отсутствии внешних различий самцы разных видов резко отличаются по строению половых придатков. Кроме того, водные фазы развития мошек имеют существенные различия, иногда более отчетливые, нежели те, что наблюдаются у взрослых насекомых, особенно у самок. Наиболее важными отличительными видовыми признаками являются такие признаки, как форма лба и лица, строение вилочки, форма анальных пластинок и церок, строение половых придатков и хетотаксия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Усова, З.В. Фауна мошек Карелии и Мурманской области. – М., Л.: Изд-во АН СССР, 1961. – 286 с.
2. Рубцов И.А. Фауна СССР: Насекомые двукрылые. Мошки (Simuliidae). – М., Л., Зоол. Ин-т АН СССР, 1956 б. – Т. 6., вып. 6. – 806 с.

3. Рева, М.В. Оценка диагностической зависимости морфологических признаков, используемых в описании видов мошек // Место и роль двукрылых насекомых в экосистемах: Сб. науч. тр. – СПБ, 1997. – С. 111 – 112.
4. Рева, М.В. Морфологические особенности и систематический анализ мошек рода *Schoenbaueria* (*Diptera, Simuliidae*), встречающихся на Украине: Автореферат диссертации канд. биол. наук: 03.00.09. // Ин-т зоол. Ак Украины. – К., 1994. – 180 с.
5. Рева, М. В. Мошки (*Diptera, Simuliidae*) как биоиндикаторы чистоты водоемов юго-востока Украины / М. В. Рева, З. В. Усова, Р. Д. Семушин // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2011. – № 1. – С. 188-202. – EDN YMCRZZ.
6. Рева, М. В. Фауна и Биология имаго мошек (*Diptera, Simuliidae*) рода *Odagmia* Enderlein, 1921 юго-востока Украины / М. В. Рева, З. В. Усова, Р. Д. Семушин // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2013. – № 1. – С. 134-152. – EDN OUJWNV.
7. Рева, М. В. Морфологические особенности мошек рода *Wilhelmia* End. (*Diptera, Simuliidae*) / М. В. Рева, А. В. Руппа // Донецкие чтения 2022: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : Материалы VII Международной научной конференции, посвящённой 85-летию Донецкого национального университета, Донецк, 27–28 октября 2022 года / Под общей редакцией С.В. Беспаловой. Том 3. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2022. – С. 154-156. – EDN MEWIBO.
8. Рязанцева, А.Е. Влияние антропогенных факторов на формирование биотопов преимагинальных фаз кровососущих двукрылых (*Diptera: Culicidae, Simuliidae, Ceratopogonidae, Tabanidae*) в условиях г. Донецка и окрестностей / А.Е. Рязанцева, Е.Н. Маслодудова // Донецкие чтения 2016 Образование, наука и вызовы современности: Материалы I Международной научной конференции (16-18 мая 2016 г.). – Том 2 Химические, биологические и медицинские науки / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2016 – 439 с.
9. Рязанцева, А. Е. Биотопы преимагинальных фаз кровососущих двукрылых (*Diptera: Culicidae, Simuliidae, Ceratopogonidae, Tabanidae*) в условиях г. Донецка и его окрестностей / А.Е. Рязанцева, Е.Н. Маслодудова // Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону. – 2011 – 203 – 210 с.
10. Рева, М. В. Стенобионтные виды мошек Донбасса / М. В. Рева, Е. В. Щелкова, А. Э. Бакланова // Донецкие чтения 2018: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : Материалы III Международной научной конференции, Донецк, 25 октября 2018 года / Под общей редакцией С.В. Беспаловой. Том 2. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2018. – С. 247-248. – EDN YPANAT.
11. Рева, М. В. Массовые эврибионтные виды мошек Донецкой области / М. В. Рева, Р. Д. Семушин // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2016. – № 1-2. – С. 34-55. – EDN WAGMTJ.
12. Рева, М. В. Индикация качества воды проточных водоемов по видовому составу мошек / М. В. Рева, Е. В. Щелкова // Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : материалы IV Международной научной конференции, Донецк, 29–31 октября 2019 года. Том 2. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2019. – С. 319-321. – EDN IQPKPR.
13. Шкиренко, А. О. Fauna и биология развития мошек рода *Eusimulium* Roubaud, 1906 Донбасса / А. О. Шкиренко, М. В. Рева // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов : Сборник материалов XVII Международной конференции аспирантов и обучающихся, Донецк, 18–20 апреля 2023 года. – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2023. – С. 23-25. – EDN LJRJYB.
14. Янковский А. В. Определитель мошек (*Diptera, Simuliidae*) России и сопредельных территорий бывшего СССР / А. В. Янковский. – Санкт-Петербург : РАН, 2002. – 570 с.
15. Паушева, З.П. Практикум по цитологии. М.: Колос, 1980. – 115 с.

DIAGNOSTIC SIGNS OF THE GENUS *EUSIMULIUM* ROUBAUD, 1906 IN THE TERRITORY OF DONBASS

Annotation. In this work, the species composition of the genus *Eusimulium* Roubaud, 1906, belonging to the family of blood-sucking black flies Simuliidae, was studied. The paper also presents and analyzes the analysis of the most significant diagnostic features of the genus and the morphological structures of the species.

Key words: blood-sucking black flies, Simuliidae, *Eusimulium*, species composition, diagnostic signs.

Shkirenko A.O.

Scientific supervisor: Reva M.V., PhD in Biological sciences, Associate Professor Donetsk state university
E-mail: alyona.shkirenko@mail.ru

ВИБРАЦИОННО-АКУСТИЧЕСКОЕ ЗАШУМЛЕНИЕ КАК ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКТОР В ГОРОДЕ ДОНЕЦКЕ

Шкиренко А.О.

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

Аннотация. В данной работе проведено исследование вибрационно-акустического зашумления на древесные насаждения по бульвару Шевченко в городе Донецк. В результате анализируемых данных амплитуда возникающих вибраций от легковых автомобилей (в большей степени иностранного производства), оказывает наименьшее вибрационное воздействия на растения, и имеет несколько выраженных максимумов: около 60, 140 и 170 Гц. Остальные виды автотранспорта (грузовые, автобусы, троллейбусы и др.) не демонстрирует значительных различий. Установлено, что уровень акустического шума на исследуемой территории составляет в среднем 63,5 дБА. Суммарная интенсивность транспортного потока на период 2024 г. составляет до 20 ед./мин, при этом доминируют легковые автомобили.

Ключевые слова: вибрация, интенсивность автотранспорта, акустический шум, экологический фактор.

Введение. Вибрационно-акустическое зашумление является важным экологическим фактором, который оказывает значительное влияние на жизнеспособность древесных насаждений вдоль автомагистралей. Данное явление характеризуется наличием нежелательных звуковых и вибрационных волн, действующих на окружающую среду. Такой вид шума возникает в результате интенсивности транспортного потока и других антропогенных действий (строительства, промышленного производства и др.), создающих вибрационно-акустическое зашумление среды [1]. Наиболее распространёнными источниками зашумления на территории г. Донецка являются автотранспорт, тяжёлая военная техника, ведение военных действий с 2014 года на территории города, промышленные предприятия, а также усиливающиеся природно-климатические факторы в результате изменения климата в регионе [6; 15].

В условиях городской среды за счет звуковых и вибрационных нагрузок деревья подвергаются множественным стрессовым воздействиям, что может привести к изменению их физиологических и морфологических параметров. Ответная реакция древесных растений на такие антропогенные факторы может изменяться в зависимости от видов растений, их устойчивости и состояния в окружающей среде [2]. Например, ответной реакцией на действие ветра является изменение скорости роста в высоту и увеличение интенсивности радиального прироста, что ведет к формированию укороченного широкого в основании ствола [19]. Также растения, которые подвергаются такому постоянному механическому стимулу имеют выраженную конусность ствола (т.е. происходит интенсивный рост тканей в нижней части ствола и корнях) [20]. Таким образом растения адаптируются к различным факторам и приобретает устойчивость.

Кроме того, растения могут служить индикаторами различных влияний, при этом позволяя оценить уровень воздействий на экосистему в целом [12]. Так при постоянном воздействии антропогенной нагрузки возникает снижение морфо-функционального состояния, сопровождающееся снижением прочности древесины, повреждением ствола, изменением архитектоники кроны, сухобочинность, повреждения листового аппарата [1; 3; 9; 13; 15; 16], снижение фотосинтетической активности (с повышением уровня загрязнения изменяется пигментный состав) [21] и тд. На снижение жизнеспособности древесных насаждений вдоль автомагистралей в первую очередь влияет уровень вибрационно-акустического зашумления территории [17], который зависит от интенсивности транспортного потока, наличия дефектов дорожных покрытий, тяжелого

грузового транспорта, отсутствия бордюрных ограждений, ширины дорожного полотна, длительности светового цикла и типа застройки вдоль автомагистралей [6; 15].

Следует также добавить, что кроме антропогенных факторов на растения могут влиять и биотические факторы, вызывающие также негативное действие на растения. Животные, в частности насекомые вызывают колебания и вибрации растений, почвы или других субстратов как случайно при перемещении и питании, так и в процессе коммуникации [22; 23]. Такие вибрации могут оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на развитие деревьев. Однако антропогенные факторы городской среды (шум и вибрации, создаваемые транспортом и строительной деятельностью) также оказывают значительное влияние на поведение насекомых и их способность к взаимодействию с растениями. Постоянное действие таких факторов может приводить к снижению биоразнообразия.

Кроме того, древесные насаждения вдоль автомагистралей могут снижать уровень шума в городе, однако неправильная высадка растений приводит к обратному эффекту. Таким образом, мониторинг жизнеспособности древесных насаждений в условиях антропогенной нагрузки является актуальным направлением исследований, которое продолжается по настоящее время [4; 5; 7-11; 14; 17; 18]. Важно также учитывать морфологические параметры деревьев, с помощью которых можно оценить жизнеспособность видов на определенных территориях [5; 7; 13; 18]. Также оценивая уровень стресса, вызванного вибрационно-акустическим зашумлением, позволяет определить общее состояние городских насаждений.

Цель данной работы исследование вибрационно-акустического зашумления на бульваре Шевченко в городе Донецк.

Материалы и методы. Исследования вибрационно-акустического зашумления было проведено вдоль автомагистралей на бульваре Шевченко (рис. 1) в городе Донецке.

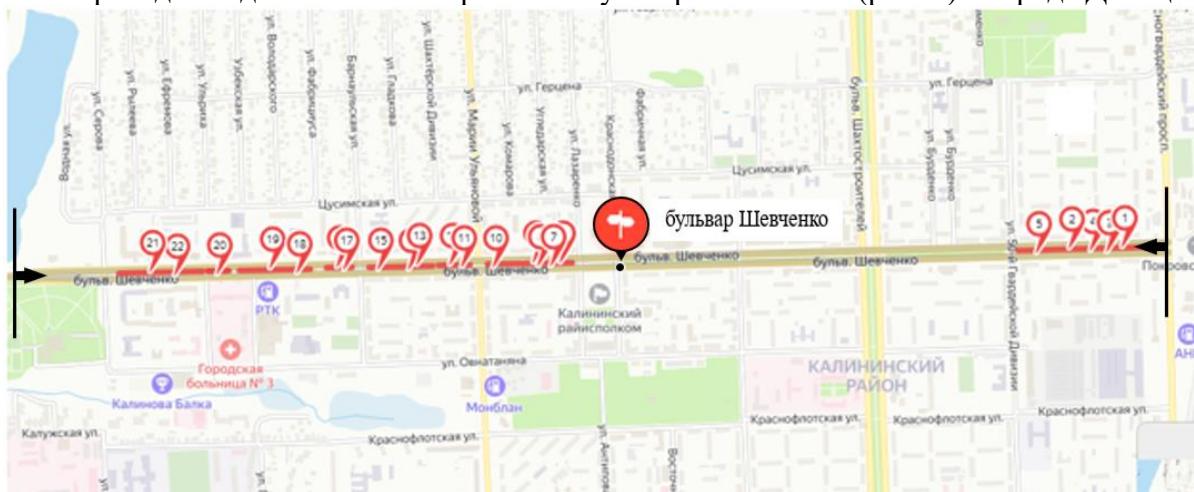


Рисунок 1 – Исследуемый участок на бул. Шевченко в городе Донецк

Примечания: на карте отмечены точки измерения шума вдоль автомагистралей

Для регистрации вибраций растений (рода *Populus L.*) использовали портативный осциллограф, который располагали на почве, бордюре и дереве. Оцифрованные данные обрабатывали в программе «MathCad 2001» с получением амплитудно-частотных характеристик (результат быстрого преобразования Фурье) [15].

Интенсивность движения автотранспорта вдоль бульвара Шевченко оценивалась по количеству единиц автотранспорта определенного типа, проезжающих мимо точки измерения за единицу времени (по ГОСТ 20444-85).

Уровень звукового давления на бульваре Шевченко (дБА) измеряли с помощью шумометра (фирмы *Benetech*).

Результаты и обсуждения. При анализе вибрационного воздействия различных видов автотранспорта (троллейбусы, автобусы, легковые автомобили, внедорожники, легковые грузовые и тяжёлые грузовые машины) на растения было проведено сравнение основных частот в отснятых сигналах. Диапазоны частот зарегистрированных вибраций деревьев находятся в промежутке от 15 до 300-400 Гц (max до 200 Гц). Первое сравнение проводилось между троллейбусами и автобусами (рис. 2), отечественными и иностранными легковыми автомобилями, а также между легкими и тяжёлыми грузовыми автомобилями.

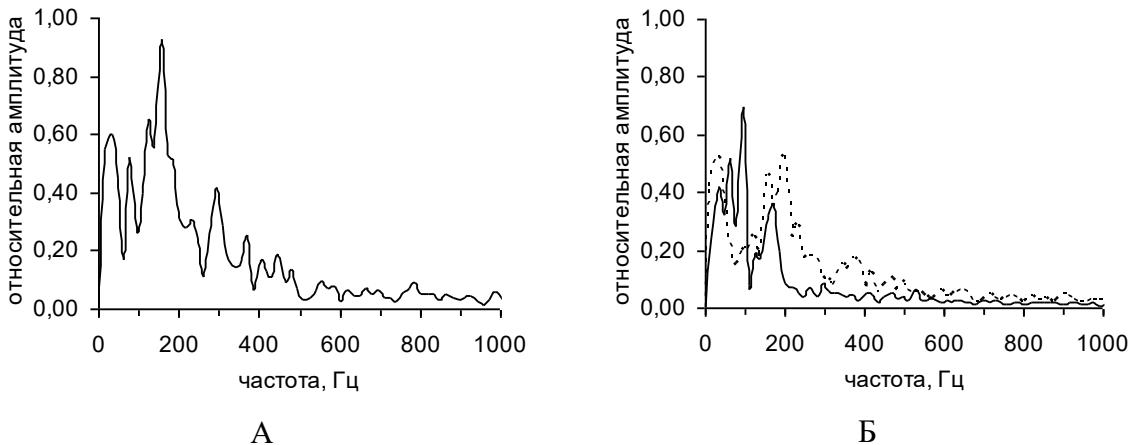


Рисунок 2 – Усредненные от нескольких источников амплитудные спектры вибраций деревьев рода *Populus* L., вызванных проезжающим транспортом

Обозначения: А – троллейбусы, Б – автобусы; сплошная линия – тяжелые, пунктир – микроавтобусы.

При этом спектр вибраций от движения автобусов несколько отличается от троллейбусов, основные пики смешены в область более низких частот (рисунок 2, б – сплошная линия). Доминирующие частоты – около 90, 60, 30 и 120 Гц (в порядке убывания амплитуды). Кроме того, в спектре пассажирских микроавтобусов имеются два практически равных максимума – около 30 и 150-200 Гц, следующий по величине пик на частотах 350-400 Гц (пунктир на рисунок 2, б). В области более высоких частот амплитуды вибраций несущественны.

Следует также добавить, что амплитуда колебаний от троллейбусов сравнительно невелика, это может быть связано с относительной удаленностью от растений зеленой полосы (троллейбусы чаще занимают правый ряд трассы) и малой скоростью движения. А также вибрации, вызванные троллейбусом «маскируются» вибрациями обгоняющего транспорта.

Имеются также отличие в вибрационных спектрах, вызванных движением автомобилей российского или советского производства от иностранных автомобилей. Первый тип автомобилей имеет несколько выраженных максимумов: около 60, 140 и 170 Гц (рисунок 3, а – сплошная линия). Для второго типа автомобилей характерен больший пик относительной амплитуды суммарного спектра на 140 Гц (рисунок 3, а – пунктир). Также приведен амплитудный спектр вибраций деревьев от проезжающих внедорожников. Для данных автомобилей характерна высокая относительная амплитуда как на низких – ~15, ~60 Гц, так и на более высоких частотах 140-170 Гц. Этот класс автомобилей индуцируют вибрации растений регистрируемые и на частотах выше 200 Гц: 200-300, 350-370 Гц, ~450 Гц, ~500 Гц, ~580 и ~780 Гц (рис. 3, а и б) [15]. Такие пики на вибрационных спектрах от разных автомобилей вызваны техническими характеристиками, а также качеством дорожного полотна [15].

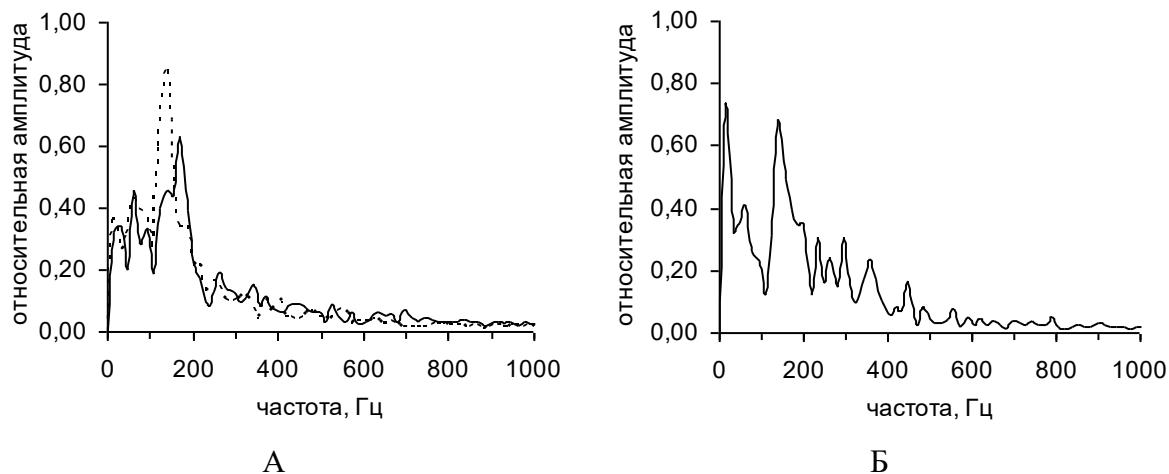


Рисунок 3 – Амплитудные спектры вибраций деревьев *Populus nigra* L., *Populus pyramidalis* от движения автотранспорта

Обозначения: а – легковые автомобили, б – внедорожники; сплошная линия – автомобили российского/советского производства, пунктир – автомобили иностранного производства

Анализируя вибрации деревьев от движения грузовых автомобилей зарегистрировано отличающиеся в спектрах в зависимости от грузоподъемности. Легкие грузовые автомобили характеризуются выраженным максимумом относительной амплитуды усредненного спектра на частоте ~60 Гц, второй раздвоенный максимум приходится на частоты около 180-200 Гц. На частотах выше 300 Гц амплитуды существенно снижаются. Вибрации тяжелых грузовых автомобилей характеризуются наличием нескольких пиков на частотах около 15, 120, 150, 185, 280, а также на более высоких частотах. Такой спектр напоминает спектр вибраций деревьев от движения троллейбуса, что подтверждается высоким коэффициентом корреляции ($r=0,91$).

В результате анализируемых данных амплитуда возникающих вибраций от всех типов автотранспорта в целом не демонстрирует значительных различий. Исключением являются легковые автомобили иностранного производства. Такие автомобили оказывают наименьшее вибрационное воздействия на древесные насаждения.

В результате исследований мы провели сравнение интенсивности транспортного потока по бульвару Шевченко в разные годы (табл. 1), что позволяет выявить изменение нагрузки на древесные насаждения.

Таблица 1. Интенсивность (ед./мин.) транспортного потока по бульвару Шевченко

Год исследования	Вид автотранспорта			
	грузовые		Пассажирские	
	тяжелые	легкие	легковые	Автобусы/троллейбусы
2008	<1	2-3	30-35	1
2024	<1	<1	15-20	<1

Суммарная интенсивность транспорта на исследуемом участке за 2008 год составила 40 ед./мин. На период 2024 г. суммарная интенсивность транспортного потока составляет до 20 ед./мин. Таким образом, наблюдается резкое сокращение автотранспорта, и следовательно снижение вибрационно-акустической нагрузки на растения. Однако повреждения, образовавшиеся ранее значительно ослабили древесные насаждения, но стоит отметить, что сниженная нагрузка с 2014 г. компенсируется

появлением новых антропогенных факторов, в том числе вносящих вклад в вибрационно-акустическую составляющую города.

Основная доля проезжающих транспортных средств в разные годы приходится на легковой пассажирский транспорт. Следует добавить, что от интенсивности транспортного потока зависит и вибрационно-акустическое зашумление территории. Исследования показали, что на бульваре Шевченко вдоль автомагистрали амплитудно-частотные спектры находятся в интервале от 50,6 дБА до 87,5 дБА. Среднее значение шумового загрязнения составляет 73,5 дБА.

Таким образом, совокупность антропогенных факторов (вибрации, акустический шум, интенсивность транспорта) влияет на жизнеспособность растений, произрастающих вдоль автомагистралей. При этом вызывая определенные повреждения (рис. 4), сказывающиеся на развитии и состоянии деревьев.

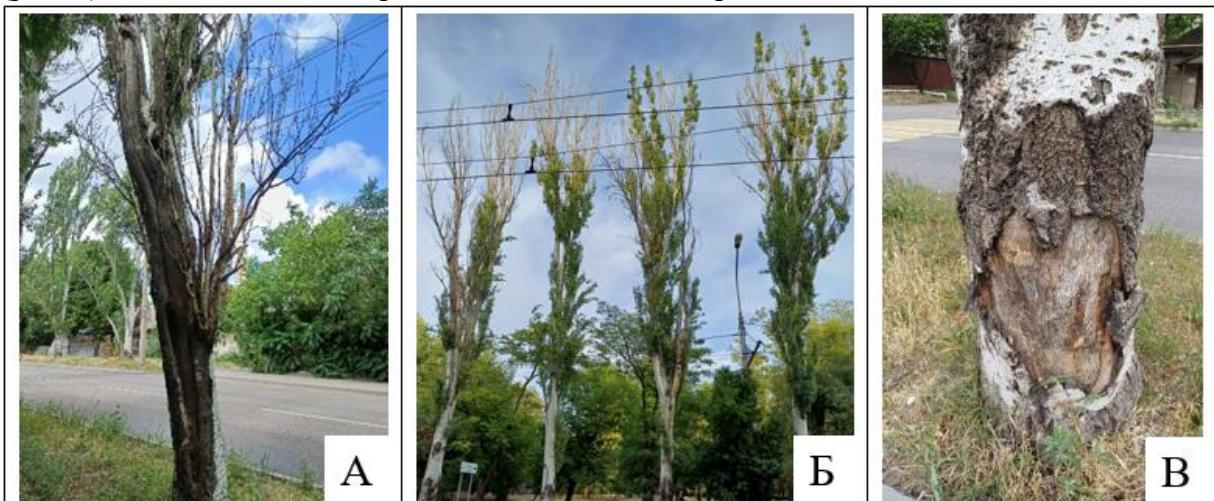


Рисунок 4 – повреждения деревьев рода *Populus* L. вдоль автомагистрали

Примечания: А – сухобочинность, Б – изменение архитектоники кроны, В – отслоение коры

Выходы. Исходя из проведенных исследований установили, что диапазон частот зарегистрированных вибраций, переданных деревьям от автомобилей, находятся в промежутке от 15 до 300-400 Гц. Амплитуды возникающих вибраций от разных типов автотранспорта не имеют значительных различий, за исключением легковых автомобилей. Такие автомобили оказывают наименьшее вибрационное воздействие на древесные насаждения, и имеют несколько выраженных максимумов: около 60, 140 и 170 Гц. Уровень акустического шума на исследованной территории составляет в среднем 73,5 дБА. Интенсивность транспортного потока на период 2014-2024 г. резко уменьшилась по сравнению с 2008 г., однако имеются компенсационные факторы в связи с появлением нового антропогенного режима зашумления на территории. Суммарная интенсивность транспортного потока в 2024 г. составляла до 20 ед./мин, при этом доминируют легковые автомобили.

Исследование выполнено в рамках деятельности молодежной лаборатории «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (№ госрегистрации НИОКР 124051400023-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корниенко В. О. Влияние экологических факторов на физико-механические свойства, морфометрию и аллометрию древесных растений урбоэкосистем (на примере города Донецка): спец. 1.5.15 "Экология (биологические науки)": дис. ...канд. биол. наук / Корниенко Владимир Олегович. - Донецк, 2022. - 166 с. EDN: QYUEPJ
2. Сафонов А. И. Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций // Донецк: ДонГУ, 2024. – 288 с. EDN: QVJSQE
3. 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. – №. 7. – P. 806–816.
4. Kharchenko N.N., Kalaev V.N., Kornienko V.O. Mechanical resistance of *Quercus robur* L. at the environmental boundary of the species distribution in the steppe // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – P. 12049. DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/012049 EDN: HNQTEI
5. Zinicovscaia I.I., Safonov A.I., Yushin N.S., Nespirnyi V.N., Germonova E.A. Phytomonitoring in Donbass for Identifying New Geochemical Anomalies // Russian Journal of General Chemistry. – 2024. – Vol. 94. – P. 3472–3482 DOI:10.1134/S1070363224130048
6. 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
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. Safonov A. Changes in plant CSR strategies under new anthropogenic transformations // E3S Web of Conferences. – 2025. – Vol. 614. – P. 04022 DOI:10.1051/e3sconf/202561404022
9. 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/snv2024131104 EDN: LYEGSZ
10. Корниенко В. О., Калаев В. Н. Механическая устойчивость можжевельника виргинского в условиях степной зоны Восточно-европейской равнины // Лесоведение. – 2024. – № 1. – С. 70-78. DOI: 10.31857/S0024114824010084 EDN: SLLJXY
11. Сафонов А.И., Догадкин Д.Н., Неспирный В.Н. Фитогеохимические особенности некоторых отвалов угольных шахт в Донбассе // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2024. – № 3. – С. 86-99. DOI: 10.5281/zenodo.13758560
12. Сафонов А.И. Атипичный морфогенез фитоиндикаторов в экологическом мониторинге Донецка // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2024. – № 4. – С. 94-101.
13. Корниенко В. О., Кольченко О. Р., Матвеева Т. Б. *Acer platanoides* L. в условиях антропогенной нагрузки г. Донецка // Самарский научный вестник. – 2019. – Т. 8. – № 3 (28). – С. 46-52. DOI: 10.24411/2309-4370-2019-13107
14. 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
15. Корниенко В.О. Ретроспективный анализ антропогенного загрязнения города Донецка. Вибрационно-акустическое зашумление // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2024. – № 1. – С. 93-100. DOI: 10.5281/zenodo.12532574
16. 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
17. Корниенко В.О., Хархота Л.В. Мониторинг состояния древесных растений центральной части города Донецка // Самарский научный вестник. – 2023. – Т. 12. – № 2. – С. 46-51. DOI: 10.55355/snv2023122107
18. Кольченко О. Р., Корниенко В. О. Методический подход к оценке флюктуирующей асимметрии клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях г. Донецка // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2019. – №1. – С. 107-114.
19. Coutand C. Mechanical stimuli regulate the allocation of biomass in trees: demonstration with young *Prunus avium* trees / C. Coutand, C. Dupraz, G. Jaouen, S. Ploquin, B. Adam // Annals of Botany. – 2008. – V. 101. – P. 1421–1432.
20. Knight T. A. Account of some experiments on the descent of sap in trees / T. A. Knight // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. – 1803. – 99. – P. 108–120.

21. Стасова В.В., Скрипальщикова Л.Н., Астраханцева Н.В., Барченков А.П. Фотосинтетические пигменты в листьях бересклета повислой при техногенном воздействии // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 3. С. 35–47.
22. Cocroft R. B. The behavioral ecology of insect vibrational communication / R.B. Cocroft, R. L. Rodriguez // **BioScience**. – 2005. – 55. – P. 323–334.
23. Lewis E.R. Do frogs communicate with seismic signals? / E.R. Lewis, P.M. Narins // **Science**. – 1985. – 227. – P. 187–189.

VIBRATION AND ACOUSTIC NOISE AS AN ENVIRONMENTAL FACTOR IN THE CITY OF DONETSK

Annotation. In this paper, a study of vibration and acoustic noise on tree plantations along Shevchenko Boulevard in Donetsk was conducted. As a result of the analyzed data, the amplitude of the resulting vibrations from passenger cars (mostly of foreign manufacture) has the least vibration effect on plants, and has several pronounced maxima: about 60, 140 and 170 Hz. Other types of vehicles (trucks, buses, trolleybuses, etc.) do not show significant differences. It was found that the acoustic noise level in the study area averages 63.5 dBA. The total traffic intensity for the period 2024 is up to 20 units per minute, with passenger cars dominating.

Keywords: vibration, intensity of vehicles, acoustic noise, environmental factor.

Shkirenko A.O.

Scientific supervisor: Kornienko V.O., PhD in Biological sciences, Associate Professor Donetsk state university
E-mail: alyona.shkirenko@mail.ru

Физико-технические науки

УДК 004.931

ОБУЧАЮЩИЙ ТРЕНАЖЕР ДЛЯ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ СИСТЕМНЫХ АДМИНИСТРАТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Васильев С.В.

*Научный руководитель: Бондаренко В.В., старший преподаватель
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

Аннотация. В данной статье рассматривается научный подход для обеспечения необходимого уровня подготовки системных администраторов, которые получают практические знания через компьютерные тренажеры или интеллектуальные обучающие системы с применением дистанционных технологий. Данное решение направлено на создание системы дистанционного обучения, ориентированной на интенсивное освоение знаний. Принцип внутреннего убеждения лежит в основе предлагаемого подхода, что позволяет достичь высокого уровня профессиональной подготовки в краткие сроки. Также был предложен адаптивный алгоритм управления процессом обучения, который позволяет минимизировать временные затраты при достижении оптимальных результатов.

Ключевые слова: Система дистанционного обучения, элементы искусственного интеллекта, интеллектуальная система, интенсивное обучение, компьютерные обучающие системы.

Введение. Стремительное развитие компьютерных технологий и их применение в различных областях сделали невозможным обучение будущих системных администраторов в вузах без использования компьютерных обучающих систем. В настоящее время разработка системы дистанционного обучения (DLS) и методов её применения является важной задачей. Данная система может стать основой для интеллектуальной системы обучения системных администраторов, оптимально соответствующей их потребностям. В связи с возрастающей сложностью и информационной насыщенностью методов подготовки специалистов, возникла необходимость стремимся удовлетворить потребность в эффективном управлении учебным процессом. Поскольку системы обучения становятся всё более сложными и многофункциональными, а также ориентированными на различные категории пользователей, возникает необходимость в их адаптации к индивидуальным особенностям каждого. Способность DLS адаптироваться под пользователя считается одним из критериев её эффективности и интеллектуальности. Для достижения данной адаптации разрабатываются модели пользователей, содержащие информацию о каждом обучаемом и процессах управления обучением.

Постановка задачи. Целью данной работы является создание системы интенсивного обучения DLS, ориентированной на улучшение качественных характеристик обучения при минимизации материальных, ресурсных и временных затрат. В связи с этим необходимо решить несколько научных задач:

- разработать методы анализа функционирования компьютерной адаптивно-управляемой системы дистанционного обучения (СДО);
- создать методологию структурно-параметрического синтеза компьютерной СДО с элементами искусственного интеллекта и организовать их оптимальное функционирование в процессе обучения;
- установить требования к базовым методическим основам DLS на основе предложенной методологии синтеза;

- разработать методические принципы построения и функционирования DLS, а также их основных элементов, обеспечивающих выполнение этих требований;
- создать алгоритм адаптивного управления процессом подготовки системных администраторов.

Таким образом, основной задачей данного исследования является определение оптимального варианта построения СДО, который обеспечит высокое качество подготовки будущих системных администраторов в кратчайшие сроки [1,2]. Для решения данной задачи необходимо применить современные технологии интенсивного обучения. В данном контексте интенсивная технология понимается как совокупность факторов, способствующих активизации учебного процесса, направленных на повышение вовлеченности обучаемого, и материальных (технических), которые обеспечивают необходимый уровень подготовки в короткие сроки.

Анализ метода и результаты. Анализ существующего научно-методического метода для создания DLS показывает, что он ориентирован на экстенсивный подход к обучению, при котором увеличивается количество классов и тренингов. Также, современные информационные технологии и методы обучения с использованием DLS открывают большие перспективы для интенсивного обучения.

В процессе решения научной задачи нужно определить цели и модель функционирования DLS, а также условия ее работы при интенсивной подготовке будущих специалистов. Основные понятия методической базы DLS опираются на категории общей теории систем. Ключевыми элементами DLS являются интеллектуальные компьютерные обучающие системы (CBLS), которые объединены иерархическими, информационными и управляющими связями, направленными на достижение общей цели — обеспечение необходимого уровня знаний у будущих специалистов.

При создании DLS необходимо определить ее структуру и набор алгоритмов, наилучшим образом соответствующих ее назначению. Для решения прикладных задач важно знать об эффективности методов структурной организации DLS и управления процессами ее функционирования. Свойства DLS и закономерности динамического адаптивного функционирования в компьютерных сетях различных организаций при подготовке специалистов составляют предмет теории DLS, основными задачами которой являются анализ и синтез интеллектуальных CBLS.

Задачи, касающиеся анализа DLS, состоят из двух этапов. Первый этап включает в себя построение концептуальной модели функционирования DLS, а второй — создание математической модели динамического адаптивно-управляемого процесса, основанной на принятой концепции. В данном процессе объект управления — это будущие специалисты, контролируемые параметры — это показатели качества деятельности обучаемого, управляющие воздействия — учебные задания, формируемые интеллектуальными CBLS. Также разработана система показателей и методы оценки эффективности интеллектуальных CBLS.

Концепция напряжения реализуется в DLS через сокращение цикла отображения учебной информации до тех пор, пока напряжение не достигнет заданного уровня, при котором нехватка времени начинает играть ключевую роль. Эмоциональное напряжение способствует тому, что в процессе обучения специалисты работают более сосредоточенно, повышая вероятность правильного и своевременного выполнения учебных заданий. Функция напряжения (h) представляет собой соотношение между временем, необходимым для выполнения задания, и доступным временем, которое есть у специалистов в каждом цикле DLS, и рассчитывается по формуле ниже:

$$H = \frac{\sum_{i=1}^L t_i T_p}{T}, \quad (1)$$

где $t_i T_p$ – это среднее время, необходимое специалистам для выполнения задач; I – количество задач, которые еще предстоит выполнить; T - полное время, доступное будущим специалистам для выполнения I-учебных задач, остающихся в каждом цикле функционирования DLS.

Средние значения времени выполнения элементарных учебных заданий рассчитываются на основе статистических данных, полученных в ходе обучения. Расчеты значений интенсивности h_{ij} в процессе обучения ограничены в DLS диапазоном от 1,0 до 4,0.

Основная задача интенсивного обучения заключается в том, чтобы найти из множества возможных вариантов (X) такой вариант построения DLS (x), который обеспечивает интенсивную подготовку будущих специалистов ($h > V$) до требуемого (максимально возможного) уровня (P) с минимальными финансовыми (C) и временными (T) затратами. Формальная постановка научной проблемы представлена в виде следующей формулы:

$$P \rightarrow \max, C \rightarrow \min, T \rightarrow \min, h \rightarrow \max. \quad (2)$$

Исходя из формулы, все критерии противоречат друг другу, и найти наилучший вариант построения DLS, который удовлетворял бы всем условиям, крайне сложно. Без разработки методических основ для создания таких систем и методов оптимизации их структуры и параметров решение этой задачи невозможно.

Концептуальной основой DLS интенсивного обучения является комбинированное решение двух основных задач:

- 1) Ускоренная подготовка специалистов до необходимого уровня для реализации образовательных задач с минимальными временными затратами (первый этап интенсивного обучения);
- 2) Обучение специалистов выполнению задач на максимально возможном уровне профессиональной подготовки при заданных временных и стоимостных ограничениях во время запланированных учебных занятий (второй этап интенсивного обучения).

Решение первой задачи зависит от результатов тестирования. Если специалисты не достигли требуемого уровня, их компьютеры подключаются к компьютеру преподавателя для организации первого этапа интенсивного обучения. Таким образом, различные образовательные задачи могут решаться в любое время, что позволяет сократить временные и финансовые затраты на подготовку специалистов.

Для тех, кто успешно прошел тестирование, создается адаптивная структура DLS, которая формирует необходимое количество учебных заданий на экране компьютера и обеспечивает дальнейшее максимальное повышение уровня подготовки.

Во второй группе задач одной из ключевых является задача оптимального синтеза, которая заключается в выборе метода построения системы, наиболее подходящего для выполнения заданных функций. Исходные данные для синтеза включают функции и задачи системы, перечень ограничений на характеристики (временные, ресурсные) и критерий эффективности для оценки качества системы в целом. На основе этой информации можно определить структуру системы, параметры элементов и стратегии управления процессами, соответствующие заданным ограничениям и оптимальные по критериям эффективности.

Процедура синтеза DLS делится на структурный и параметрический синтез. Цель структурного синтеза — определить структуру системы: типы подсистем, состав элементов и взаимосвязи между ними. Параметрический синтез направлен на нахождение оптимального способа согласования технических характеристик подсистем

с фиксированной структурной схемой системы. Определение оптимальной структуры рассматривается как задача сопоставления множества выполняемых функций DLS с множеством её взаимозависимых элементов.

Таким образом, внедрение технологии интенсивного обучения связано с адаптивным изменением скорости передачи учебных заданий с компьютера преподавателя на компьютер обучаемого. Структура DLS делится на учебные классы, включающие компьютер преподавателя и компьютер студентов, а также подсистему дистанционного обучения, обеспечивающую связь между ними. Физическое подключение может осуществляться через внутреннюю сеть Intranet или глобальную сеть Internet, что создает гибкую и интеллектуальную структуру DLS для эффективного проведения всех видов компьютерного обучения.

Метод решения задачи параметрического синтеза включает несколько этапов. На первом этапе определяются показатели эффективности каждого варианта построения DLS в различных условиях функционирования системы, после чего выбираются наилучшие. Второй этап заключается в классификации ситуаций по критерию удовлетворения ограничения [3,4]. Ситуация в многомерном факторном пространстве подразумевает решение и условия его реализации. Для каждой ситуации рассчитываются показатели эффективности, которые затем сравниваются с допустимыми значениями. Дальнейшее сужение связано с выбором варианта построения DLS, который обеспечивает необходимый уровень целевой и экономической эффективности. Таким образом, оптимальное решение помогает определить диапазон допустимых значений параметров интеллектуальной обучающей системы для подготовки специалистов до необходимого уровня.

Методические основы формирования требований к DLS основываются на методологии их синтеза и включают решение третьей группы задач: моделирование динамики уровня подготовки будущих специалистов и формулирование требований к построению DLS на основе полученных показателей целевой и экономической эффективности. Также обосновываются требования к архитектуре DLS, базе знаний, экспертным подсистемам объективного контроля, планирования и управления учебной и информационной средой, а также к аппаратному и программному обеспечению всех подсистем DLS.

Четвёртая группа задач включает разработку технических принципов построения DLS, то есть технических решений, обеспечивающих реализацию требований. Концептуальная перспектива рассматривает DLS как интегрированную интеллектуально-адаптивную систему, которая сначала анализирует учебные задачи, а затем с помощью элементов искусственного интеллекта обучает специалистов выполнению этих задач [5,6].

Основная цель DLS — подготовить специалистов до требуемого (максимально возможного) уровня (R_n) с минимальными затратами времени (T) и ресурсов (C). В этом случае обобщённый показатель C должен учитывать затраты на разработку (S_1), серийное производство (S_2) и внедрение (S_3) каждого варианта DLS ($r = 1, \dots, R$), а также время (S_4) и эксплуатационные расходы (S_5), необходимые для достижения оптимального уровня подготовки специалистов (R_n). Кроме того, C должен включать затраты на создание и поддержку баз данных (баз знаний) учебных заданий (S_6), а также на организацию объективного контроля и управления учебным процессом (S_7). Также можно учесть затраты (S_8), необходимые для повышения стабильности функционирования программного обеспечения и сетевого оборудования каждого варианта DLS. При этом значение k-го стоимостного показателя ($k = 1, s$) не должно превышать максимально допустимого уровня XDOP.

Так как стоимостные показатели заданы в разных единицах измерения и имеют различный физический смысл, для выбора рационального варианта построения и организации функционирования DLS на первом этапе обучения будет использоваться концепция компромиссной нелинейной схемы.

В процессе выбора r -го варианта DLS, который обеспечивает ускоренное обучение, целесообразно применять следующий обобщённый показатель (C_r):

$$C_r = \sum_{k=1}^S \frac{F_k C_{kdop}}{C_{kdop} - C_{kr}} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где P_r — средний уровень подготовки специалистов, который достигается при использовании r -й версии DLS на первом этапе обучения; R_n — требуемый уровень подготовки специалистов; F_k — коэффициент важности k -го показателя.

Кроме того, построение r -й (рациональной) версии DLS на втором этапе обучения должно соответствовать следующим критериям эффективности:

$$P_r \rightarrow \max \quad (4)$$

Начальным этапом проектирования любой сложной системы является создание её архитектуры и базы знаний, это зависит от средств и методов реализации данной системы.

Цели адаптивного управления учебным процессом могут быть обоснованы основными этапами организации и проведения подготовки с использованием адаптивного обучения.

На первом этапе определяются цели и задачи обучения. Главная цель заключается в подготовке персонала до необходимого уровня, который обеспечит выполнение образовательных задач в сложных условиях. Если в результате предыдущего обучения персонал достиг "отличного" уровня, то основной задачей дальнейшего обучения будет поддержание этого уровня. Если же уровень подготовки не достиг "удовлетворительного", то целью последующего обучения станет достижение "удовлетворительного", затем "хорошего", а в конечном итоге "отличного" уровня.

Уровень подготовки обучаемых определяется их способностью точно и своевременно выполнять стандартные операции при заданной интенсивности учебных заданий. Среднее количество моделируемых ситуаций в единицу времени, требующих вмешательства персонала, отражает интенсивность потока учебных заданий.

Далее будут рассмотрены основные этапы организации подготовки специалистов с использованием адаптивных средств обучения (рисунок 1).

Предполагается, что при моделировании определённых типовых ситуаций сотрудники выполняют необходимые ИТ-операции в соответствии с установленным алгоритмом работы.

Для достижения уровня подготовки, позволяющего обучающим своевременно и безошибочно выполнять операции в сложных условиях, необходимо, исходя из фактического уровня обучаемых, определять для каждой тренировки прирост интенсивности моделируемых ситуаций (X_R) в геометрической прогрессии.

Таким образом, конечной целью обучения (Z_t) является достижение персоналом требуемого уровня подготовки (R_T) для выполнения основных типов операций (E_T) при заданной интенсивности имитационных ситуаций (λ_{TN}), и вычисляется по формуле:

$$Z_T = \begin{cases} P \geq P_T \\ \lambda_R = \lambda_{TR} (R = 1, 2, \dots, N) \end{cases} \quad (5)$$

Как показано на рисунке 1, на втором этапе необходимо определить требуемые прогнозируемые уровни подготовки специалистов для выполнения основных типов операций R^*, \dots, R_n^* .

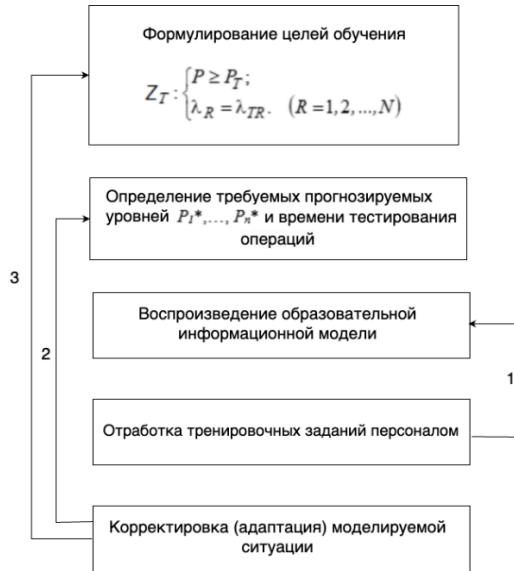


Рис. 1 - Основные этапы организации и подготовки специалистов с использованием адаптивной DLS

Необходимый уровень подготовки специалистов для выполнения образовательных задач может быть описан как функция:

$$P_T = P_T(P_1^*, \dots, P_i^*, \dots, P_n^*). \quad (6)$$

Основной целью адаптивного управления процессом моделирования обстоятельств является минимизация времени, необходимого для подготовки специалистов к достижению требуемых предсказуемых уровней для выполнения основных типов операций образовательных задач. Таким образом, адаптивное управление включает в себя изменение параметров моделируемых ситуаций S_1, \dots, S_n и оптимизацию отработки каждого типа операций за минимально возможные промежутки времени T_1, \dots, T_n .

Если нижний предел адаптации процесса (организация и проведение обучения) оказывается недостаточно эффективным, т.е. условие (6) не всегда выполняется, рекомендуется скорректировать цели обучения (Z_T) в соответствии с фактическим уровнем подготовки специалистов, а также соответствующие показатели $P_1^*, \dots, P_n^*, T_1, \dots, T_n$. Данный цикл адаптивного управления моделированием обстоятельств относится к верхнему уровню адаптации процессов обучения (стрелка 3 на рис. 1).

Корректировка необходимого уровня подготовки персонала (P_T) и интенсивности воспроизведения ситуаций (λ_{tr}) зависит от фактического уровня подготовки персонала для выполнения образовательных задач, что определяет характеристики верхнего уровня адаптации. Основная цель адаптивного управления процессом моделирования ситуации (Z_y) заключается в сокращении времени обучения персонала до уровня, необходимого для полного внедрения образовательных задач, и рассчитывается по формуле:

$$Z_T = \begin{cases} P(P_1, \dots, P_n) \geq P_T(P_1^*, \dots, P_n^*); \\ \lambda_R = \lambda_{TR} (R = 1, 2, \dots, N); \\ T = \sum_{i=1}^n T_i \rightarrow \min. \end{cases} \quad (7)$$

В соответствии с указанными условиями (8), важной задачей реализации адаптивного управления процессом моделирования обстоятельств является определение требуемых прогнозируемых уровней P_1^*, \dots, P_n^* .

Заключение. В данной статье рассматриваются подходы к решению научной проблемы разработки и организации функционирования систем дистанционного обучения с элементами искусственного интеллекта для подготовки системных администраторов. Используются тренажеры и интеллектуальные обучающие системы для проведения практических и лабораторных занятий. Обоснованы требования к интеллектуальным системам дистанционного обучения через задачи структурного и параметрического синтеза, а также оптимизации их работы в учебном процессе с учетом предложенных критериев. Также представлен алгоритм адаптивного управления процессом подготовки специалистов, основанный на прогнозируемых уровнях подготовки, что позволяет сократить время обучения с использованием методов адаптивного обучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Boriak F. Automated learning systems with elements of artificial intelligence for the study of technical disciplines/ K. F. Boriak, Yu. O. Hunchenko, S. V. Lenkov, V. Ie. Lukin, S. A. Shvorov, // VMV, Odesa – 2012.
2. Ifinedo P. Business undergraduates perceived use outcomes of Moodle in a blended learning environment: The roles of usability factors and external support / P. Ifinedo, J. Pyke, A. Anwar // Telematics and Informatics 35 – 2018.
3. Costa D. The theory of learning styles applied to distance learning / R. D. Costa, G. F. Souza, R. A.M.Valentim, T. B.Castro // Cognitive Systems Research– 2020.
4. Boussakssou M. Towards an Adaptive E-learning System Based on QLearning Algorithm / M. Boussakssou, B. Hssina, M. Erittali // Procedia Computer Science– 2020.
5. T. Teng. Adaptive computer-generated forces for simulator-based training / T. H. Teng, A. H. Tan, L. N. Teow // Expert Systems with Applications – 2013.
6. Zhyrov G. Analysis of problem optimization of parameters maintenance process according to state with constant periodicity of control / G. Zhyrov, S. Lienkov, Y. Husak, H. Banzak, I. Tolok // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research 8 – 2020.

A TRAINING SIMULATOR FOR A DISTANCE LEARNING SYSTEM FOR SYSTEM ADMINISTRATORS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE ELEMENTS

Annotation. This article discusses a scientific approach to provide the necessary level of training for system administrators who gain practical knowledge through computer simulators or intelligent learning systems using remote technologies. This solution is aimed at creating a distance learning system focused on intensive knowledge acquisition. The principle of internal persuasion is the basis of the proposed approach, which allows you to achieve a high level of professional training in a short time. An adaptive learning process management algorithm has also been proposed, which minimizes time costs while achieving optimal results.

Keywords: Distance learning system, elements of artificial intelligence, intelligent system, intensive training, computer learning systems.

Vasiliev S.V.

Scientific adviser: Bondarenko V.V., Senior Lecturer Donetsk State University
E-mail: skie2009@vk.com

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СЕГМЕНТАЦИИ И РАСПОЗНАВАНИЯ НОМЕРНЫХ ЗНАКОВ АВТОМОБИЛЕЙ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ИЗ ВИДЕОПОТОКОВ ДОРОЖНЫХ КАМЕР

Веретельник Д.Н.

Звягинцева А.В., доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ДонГУ»

Аннотация. В статье представлен алгоритм сегментации и распознавания номерных знаков на изображениях из видеопотоков дорожных камер с использованием современной модели YOLOv2 для обнаружения автомобиля, а также WPOD-NET, отвечающей за локализацию номерного знака и OCR-NET для точного распознавания изображений символов автомобильного номера. Предложен двухэтапный подход, обеспечивающий точность 96% (mAP) при скорости 0,05 с/кадр, адаптируясь к реальным условиям (освещение, погода, шумы). Проведенные исследования подтвердили, что применение методов предобработки и аугментации повышают устойчивость интеллектуальных транспортных систем. Рассматриваются перспективы использования возможностей YOLOv2 для извлечения данных о цвете, модели и размере машины.

Ключевые слова: сегментация изображений, распознавание номерных знаков, глубокие нейронные сети, YOLOv2, интеллектуальные транспортные системы.

Автоматизация контроля дорожного движения – важное направление развития интеллектуальных транспортных систем (ИТС). Она повышает безопасность на дорогах, уменьшая заторы и обеспечивая соблюдение правил дорожного движения, способствует максимальному повышению мобильности транспортных средств и населения, а также увеличению комфорта передвижения [1]. В России развитие интеллектуальных транспортных систем ведется в рамках национального проекта «Инфраструктура для жизни» [2]. С ростом плотности транспортного потока и усложнением погодно-климатических и других условий распознавание номерных знаков автомобилей приобретает все большую актуальность. Требуется быстрая и точная обработка данных в реальном времени. Однако реальные сценарии, такие как переменное освещение, сильный дождь, снегопад, туман и шумы от движения, создают значительные вызовы для существующих систем компьютерного зрения [3].

С развитием технологий глубокого обучения, в частности сверточных нейронных сетей (CNN), стали возможны новые подходы к решению этой задачи. Современные модели, такие как YOLOv2, WPOD-NET и OCR-NET, демонстрируют высокую точность в обработке визуальных данных, но их практическое применение требует адаптации к специфическим условиям реального мира. В частности, необходимо учитывать малые размеры номеров, их возможные искажения и сложные фоны дорожных сцен.

Целью работы является разработка алгоритма сегментации и распознавания номерных знаков автомобилей на изображениях из видеопотоков дорожных камер с использованием современных архитектур сверточных нейронных сетей для повышения надежности, эффективности и безопасности транспортной сети за счет увеличения точности и скорости обработки соответствующих изображений в интеллектуальных транспортных системах.

Анализ современных методов показывает, что для решения задачи наиболее подходящими являются сверточные нейронные сети (СНС) класса YOLO [4]. Эти сети выделяются своей способностью сочетать высокую скорость и точность детектирования объектов, что делает их предпочтительными для обработки видеоданных в реальном времени. СНС обрабатывают изображения с сеточной топологией, используя последовательность слоев: сверточные слои формируют карты

признаков, слои подвыборки (pooling layers) уменьшают их размерность, сохраняя важные детали, а выходные слои выполняют классификацию или регрессию.

Как показано на рисунке 1, процесс начинается с входного изображения, где начальные слои выделяют простые признаки (например, края и текстуры), а более глубокие – сложные паттерны, такие как очертания символов на номерных знаках. Эта иерархическая структура делает СНС эффективным инструментом для анализа мелких объектов в условиях дорожных сцен.



Рисунок 1. Схема сверточной нейронной сети

Особенностью предложенного алгоритма является двухэтапность распознавания номерных знаков. Сначала модель YOLOv2 находит автомобили на изображении и выделяет области, где могут быть номера, что делает процесс точным и эффективным. Для объектов разного размера сеть соединяет данные из разных слоев. Границы определяются через якорные значения (anchor boxes), вычисленные по обучающим данным. Затем сеть WPOD-NET определяет в этих зонах сами номерные знаки, устранив искажения вроде наклона или перспективы, а OCR-NET распознает символы на номерах [5]. OCR-NET устойчива к грязи и плохому качеству изображения. Такой подход позволяет разбить задачу на два этапа: обнаружение автомобилей и работа с их номерами. Каждая сеть выполняет свою роль, что повышает качество результата. Благодаря последовательной работе специализированных моделей распознавание становится точным и быстрым, успешно решаются даже самые сложные задачи.

Подготовка данных и выбор датасетов

В процессе исследования в качестве основных источников данных использованы следующие открытые датасеты.

Dataset OpenALPR включает более 200 тысяч изображений номерных знаков, собранных с дорожных камер в реальных условиях, таких как ночное время, дождь, туман, солнечные блики и движение на высокой скорости.

AOLP (Automatic License Plate Recognition) Dataset содержит около 30 тысяч изображений, охватывающих различные углы съёмки, разрешения и типы номеров.

CCPD (Chinese City Parking Dataset) представлен более чем 250 тысячами изображений номерных знаков, снятых в различных погодных условиях, при разной освещённости и с изменяющимися углами съёмки. Этот набор используется для анализа резких погодных изменений [6].

Исходные данные были разделены на тренировочную (80%) и тестовую (20%) выборки для обучения и валидации моделей. Такой подход минимизирует риск переобучения и позволяет оценить обобщающую способность системы. Основной целью обучения стало достижение минимальной ошибки сегментации (для YOLOv2 и WPOD-NET) и классификации символов (для OCR-NET), что достигалось с использованием

функций потерь, таких как перекрёстная энтропия для сегментации и Categorical Cross-Entropy для классификации символов [6].

Аугментация, используемая в работе, основывалась на применении совокупности методов, направленных на искусственное расширение объёма данных для обучения моделей. Этот процесс реализовывался через применение разнообразных преобразований к исходной информации, таких как вращение, зеркальное отображение, корректировка яркости или контрастности изображений, наложение шума на кадр или замена слов в текстовых наборах. Основная задача аугментации заключалась в увеличении разнообразия тренировочных примеров, что способствовало улучшению способности моделей к обобщению новых, ранее не встречавшихся данных, а также повышению их точности и устойчивости к различным условиям [7].

Архитектура и процесс обучения нейросетей. Описание алгоритма

Система базируется на модели YOLOv2 (включая её версию YOLO9000), оптимизированной для повышения точности и скорости, дополненной специализированными сетями WPOD-NET и OCR-NET, обеспечивающими высокую точность при сохранении вычислительной эффективности. Алгоритм реализует двухэтапный процесс: на первом этапе модель YOLOv2 выполняет детекцию автомобилей, выделяя области интереса на изображении. На втором – в этих областях сеть WPOD-NET локализует номерные знаки, корректируя искажения, после чего сеть OCR-NET распознает изображения символов автомобильного номера. Обучение каждой компоненты проводилось с учётом особенностей задачи и реальных условий эксплуатации. Соответствующий разработанный алгоритм сегментации и распознавания номерных знаков автомобилей на изображениях из видеопотоков дорожных камер представлен на рисунке 2.

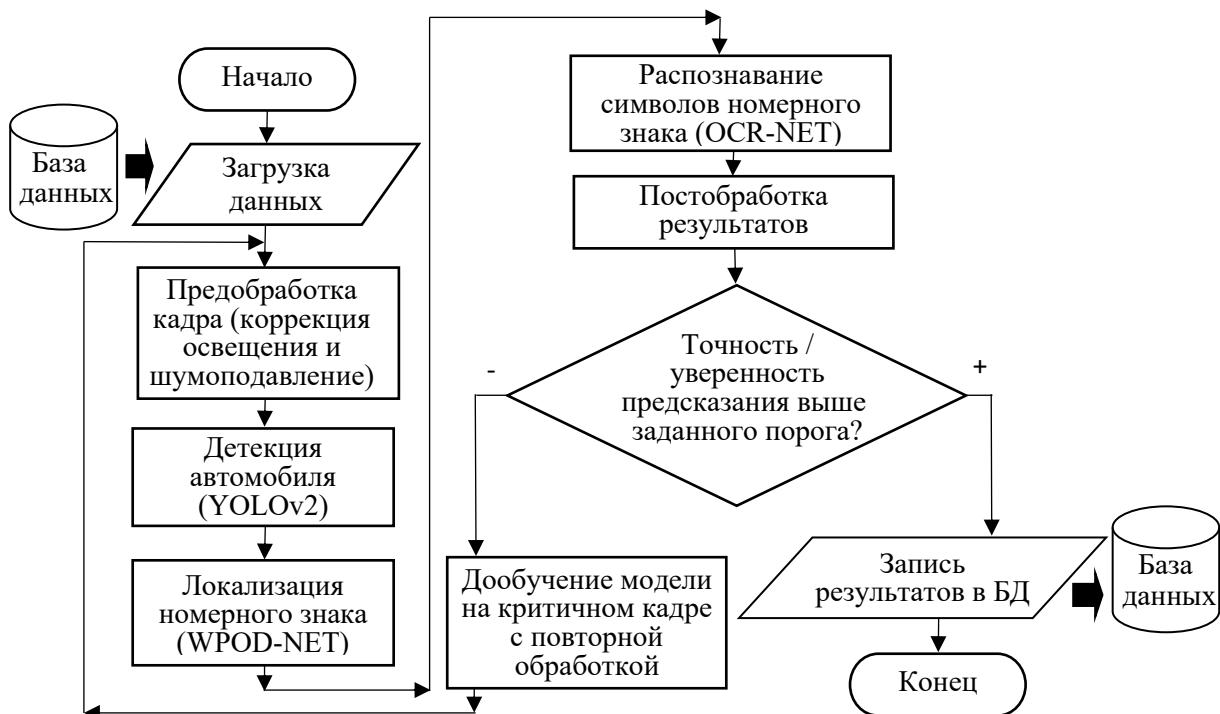


Рисунок 2. Блок-схема алгоритма сегментации и распознавания номерных знаков автомобилей на изображениях из видеопотоков дорожных камер

Процесс работы алгоритма начинается с получения входного изображения – кадра из видеопотока, снятого дорожной камерой. Для подготовки данных к анализу

проводится предобработка: корректируются яркость и контрастность, чтобы устраниить влияние теней или чрезмерного освещения, а также применяются фильтры для подавления шума, такого как размытость от осадков или мелкие искажения от движения. Это обеспечивает более чёткое изображение, пригодное для дальнейшей обработки нейронными сетями [8].

Далее используется модель YOLOv2, которая отвечает за обнаружение автомобилей на кадре. Модель YOLOv2 построена на базе Darknet-19, включающей 19 свёрточных слоёв и 5 слоёв подвыборки. Эти слои используют фильтры разного размера – от 32 в начальных слоях до 1024 в более глубоких, что помогает модели извлекать как простые признаки (например, края объектов), так и сложные (такие как форма автомобиля). Эта сеть работает по принципу однопроходного анализа: она одновременно просматривает всё изображение и выделяет области, где находятся машины, обводя их прямоугольниками. Такой подход позволяет существенно сократить время обработки, исключая пустые или нерелевантные участки. Для повышения качества обучения применяются функции активации Leaky ReLU, которые предотвращают затухание градиента, и пакетная нормализация, стабилизирующая процесс оптимизации. Обучение модели проводилось на комбинированном наборе данных, включающем изображения из трёх известных датасетов: OpenALPR, содержащего более 200 тысяч примеров номеров из разных стран; CCPD с более чем 250 тысячами изображений, снятых в Российской Федерации; и AOLP, включающего около 30 тысяч кадров.

После выделения области с автомобилем изображение передаётся в сеть WPOD-NET, специализирующуюся на обнаружении и выравнивании номерных знаков. Архитектура этой сети включает 21 свёрточный слой, дополненный остаточными блоками (residual blocks), которые улучшают обучение за счёт передачи информации между слоями. В качестве функции активации используется ReLU, обеспечивающая быструю сходимость. Номера на кадрах часто оказываются снятыми под углом или искажёнными из-за перспективы, и WPOD-NET решает эту проблему, преобразуя изображение так, чтобы номер стал ровным и читаемым. WPOD-NET обучалась на специализированном наборе данных с аннотированными номерами, снятыми под различными углами и в сложных условиях. Для повышения обобщающей способности модели применялась аугментация: изображения масштабировались, вращались, а также дополнялись шумом, имитирующим дождь, блики или низкое качество съёмки. Это позволило сети успешно справляться с реальными задачами.

Заключительный этап выполняется сетью OCR-NET, которая распознаёт символы на номерном знаке, то есть «читает» буквы и цифры. Эта сеть представляет собой модификацию YOLO, адаптированную для задач оптического распознавания текста. Её архитектура состоит из 14 свёрточных слоёв с функциями активации Leaky ReLU и ReLU. Входное изображение номера имеет размер 240×80 пикселей, а выходное – 30×10 , что позволяет детально анализировать каждый символ. OCR-NET обучалась на данных из OpenALPR и CCPD, а также на синтетических изображениях, специально созданных для имитации сложных условий: размытия, загрязнения номера или его частичного перекрытия. Такой подход помог модели научиться различать похожие символы, например, «O» и «0» или «S» и «5», что часто вызывает проблемы в задачах распознавания текста. В случаях, когда качество изображения недостаточно для уверенного распознавания (например, номер слишком грязный или размытый), система способна адаптироваться, подстраивая параметры сетей на основе обратной связи.

На этапе постобработки результатов проводится дополнительный анализ уже обработанного изображения – оцениваются остаточные искажения, уровень размытия или недостаточное разрешение.

Затем проверяется итоговая уверенность предсказания (confidence score) – это вероятность, с которой модель классифицирует объект или предсказывает его местоположение. В алгоритме порог уверенности для YOLOv2 установлен на уровне 0,45, а для WPOD-NET – 0,5. Если уверенность ниже порога, предсказание считается недостоверным и кадр отправляется на дообучение и дополнительную обработку, что повышает адаптивность системы.

Итоговый результат – распознанный номер, который сохраняется в базу данных вместе с дополнительной информацией об автомобиле (цвет, время и место обнаружения), что обеспечивает полноценную идентификацию транспортного средства.

Оптимизация параметров, включая настройку порога уверенности YOLOv2 (0,45) и WPOD-NET (0,5), минимизировала количество ложных срабатываний и пропущенных объектов, улучшив стабильность предсказаний. Аугментация данных на каждом этапе и итоговое адаптивное дообучение повысили устойчивость модели к вариациям освещения, погодным условиям и артефактам изображения.

Результаты и обсуждение

Тестирование производилось на выборках OpenALPR, AOLP и CCPD из 100 000 изображений. Для оценки точности использовалась метрика Mean Average Precision (mAP), широко применяемая в задачах компьютерного зрения [9]. Итоговый показатель точности составил 96% (mAP), что подтверждает высокую эффективность предложенного алгоритма даже в условиях сильного дождя, ночного времени и бликов фар. Полученный результат указывает на адаптируемость используемых нейросетей к реальным условиям дорожного мониторинга. Скорость обработки (0,05 с/кадр) делает систему пригодной для работы в реальном времени, что особенно важно для интеллектуальных транспортных систем.

Основное преимущество предложенного алгоритма с двухэтапным подходом к сегментации и распознаванию – минимизация ложных срабатываний. Предварительное детектирование автомобилей с помощью YOLOv2 ограничивает область поиска в WPOD-NET, уменьшая вычислительные затраты и повышая точность локализации номеров. Аугментация данных и адаптивное дообучение повышают устойчивость модели к шумам. Однако по-прежнему остаются трудности, связанные с обработкой изображений с сильными искажениями, низким разрешением, налипанием грязи и т.д., что приводит к ошибкам сегментации на этапе WPOD-NET и снижает точность последующего распознавания символов OCR-NET. Например, при высоком уровне шумов точность модели падает до 85%, что требует модификации этапа предобработки и применения специализированных фильтров.

Сравнение с одноэтапными методами, такими как YOLOv3 [10] и RetinaNet [11], показывает, что упрощённые подходы к обработке изображений обладают ограниченной точностью. Так, YOLOv3 достигает 80% mAP при скорости обработки 0,1 с/кадр, эффективно детектируя объекты, но при этом испытывает трудности с номерами под углом и в условиях шума. В свою очередь RetinaNet достигает 82% mAP при 0,12 с/кадр, используя Focal Loss для уменьшения ложных срабатываний, однако требует больших вычислительных ресурсов и плохо адаптируется к специфическим задачам, таким как обработка искажённых номеров. В сравнении с ними, изложенный в данной статье двухэтапный подход обеспечивает точность 96% (mAP) при скорости обработки 0,05 с/кадр, превосходя одноэтапные методы на 16% по точности и на 50% по скорости.

Перспективы развития

Следует отметить, что оптимизация вычислительной эффективности для встраиваемых систем возможна за счёт использования методов компрессии (квантование, pruning) и платформы TensorRT. Кроме того, YOLOv2, применяемая для обнаружения автомобилей, может быть усовершенствована для извлечения информации

о модели и размере транспортных средств. Это улучшит функционал ИТС, повысит качество анализа транспортных потоков и упростит идентификацию автомобилей.

В дальнейшем планируется внедрение самообучающихся моделей (включая активное обучение) и методов углублённой предобработки (например, текстурного анализа), что обеспечит адаптацию системы к изменяющимся условиям эксплуатации и позволит модели корректно работать с нестандартными номерами, сильными искажениями, сложными углами съемки, а также с погодными явлениями (снег, дождь, туман, грязь), преодолевая соответствующие помехи [12]. Преодоление существующих барьеров возможно также через интеграцию легковесных архитектур, таких как MobileNet, для снижения вычислительных затрат.

Заключение

В рамках исследования разработан алгоритм сегментации и распознавания номерных знаков автомобилей на изображениях из видеопотоков дорожных камер. Двухэтапный подход к сегментации и распознаванию, заложенный в алгоритм, позволил достичь точности 96% (mAP) и скорости обработки изображений 0,05 с/кадр. Полученный результат указывает на адаптируемость используемых нейросетей к реальным условиям дорожного мониторинга. Это делает предложенное решение эффективным инструментом для интеллектуальных транспортных систем. Ключевым преимуществом предложенного подхода является снижение ложных срабатываний и уменьшение вычислительных затрат за счет предварительного выделения области поиска.

Для повышения вычислительной эффективности предлагается использовать методы компрессии и TensorRT, а также расширять функционал YOLOv2 для извлечения дополнительных данных о транспортных средствах (модель, размер). Это позволит улучшить детекцию машин, анализ транспортных потоков и автоматизацию дорожного контроля. Внедрение самообучающихся моделей и улучшенной предобработки обеспечит адаптацию к экстремальным условиям эксплуатации.

В целом предложенное решение представляет собой надежный инструмент для автоматизации дорожного контроля с потенциалом масштабирования и интеграции в современные системы мониторинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 56294-2014. Интеллектуальные транспортные системы. Требования к функциональной и физической архитектурам интеллектуальных транспортных систем. Утв. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии №1966-ст от 11.12.2014. – М.: Стандартинформ, 2015, 2018. – 12 с.
2. Постановление Совета Федерации Федерального Собрания Совета Российской Федерации №530-СФ от 27.11.24 «О национальном проекте «Инфраструктура для жизни». Разработан в соответствии с Указом Президента Российской Федерации №309 от 7.05.24. «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года». – Элект. рес. URL: <http://static.government.ru/media/files/zgMNp2cgkYvKPXYPAof0BaaNyaKARubc.pdf> (10.02.25); <https://xn--80aapampemechfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/new-projects/infrastruktura-dlya-zhizni/> (10.02.25).
3. Zhang, Y., Wang, L., & Li, X. (2023). Real-Time License Plate Recognition in Challenging Environments Using Enhanced YOLO-Based Models. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 24(5), 5678–5690. DOI: 10.1109/TITS.2023.3245678. [Online]. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/3245678> (accessed February 17, 2025).
4. Silva, S. M. License plate detection and recognition in unconstrained scenarios / S. M. Silva, C. R. Jung. – Text: direct // ECCV. – 2018. – P. 593–609. Available at: https://openaccess.thecvf.com/content_ECCV_2018/papers/Sergio_Silva_License_Plate_Detection_ECCV_2018_paper.pdf (accessed February 12, 2025).

5. Redmon, J. YOLO9000: Better, Faster, Stronger / J. Redmon, A. Farhadi. – Text: direct // IEEE CVPR. – 2017. – P. 6517–6525. Available at: <https://arxiv.org/abs/1612.08242> (accessed February 10, 2025).
6. Береснев, А. П. Исследование свёрточных нейронных сетей класса YOLO для мобильных систем детектирования объектов на изображениях / А. П. Береснев, И. В. Зоев, Н. Г. Марков. – Текст : непосредственный // Графикон-2020: 30-я Международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению. – 2020. – С. 1–7. – Электр. рес. URL: <https://graphicon.ru/html/2020/papers/32.pdf> (09.02.25).
7. Шортен, К. Обзор методов аугментации изображений для глубокого обучения / К. Шортен, Т. М. Хошгофтаар. – Текст : непосредственный // Journal of Big Data. – 2019. – Т. 6, № 60. – С. 1–48. – Электр. рес. URL: <https://journalofbigdata.springeropen.com/articles/10.1186/s40537-019-0197-0> (27.03.25).
8. Бычкова, А. Г. Использование свёрточных нейросетей для классификации изображений / А.Г Бычкова, Т. В. Киселёва, Е. В. Маслова. – Текст: непосредственный // Вестник СиБГИУ. – 2023. – С. 1–10. – Электр. рес. URL: <http://vestnik.sibsiu.ru/> (09.02.25).
9. Метрики качества ранжирования: практическое применение. – Текст: электронный // Хабр: [сайт]. – Электр. рес. URL: <https://habr.com/ru/companies/econtenta/articles/303458/> (15.10.24).
10. Lin, T. Y., Goyal, P., Girshick, R., He, K., & Dollár, P. (2017). Focal loss for dense object detection. IEEE ICCV, 2980–2988.
11. Карпов, А. В. Методы распознавания объектов с использованием нейронных сетей / А. В. Карпов. – Текст: непосредственный // Современные технологии автоматизации. – 2023. – № 4 (88). – С. 35–42. – Электр. рес. URL: <https://www.cta.ru/articles/88/recognition-methods> (03.10.24).
12. Suvarnam, B. Combination of CNN-GRU Model to Recognize Characters of a License Plate number without Segmentation / B. Suvarnam, V. S. Ch. – Text : direct // ICACCS. – 2019. – P. 317–322. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8728499> (accessed February 11, 2025).

DEVELOPMENT OF A NEURAL NETWORK APPROACH FOR SEGMENTATION AND RECOGNITION OF VEHICLE LICENSE PLATES ON IMAGES FROM ROAD CAMERA VIDEO STREAMS

Abstract. The article presents an algorithm for segmentation and recognition of license plates on images from video streams of traffic cameras using a modern YOLOv2 model for car detection, as well as WPOD-NET, responsible for license plate localization, and OCR-NET for accurate image recognition of license plate symbols. A two-step approach is proposed that provides 96% accuracy (mAP) at a speed of 0.05 s/frame, adapting to real conditions (lighting, weather, noise). The conducted studies have confirmed that the use of preprocessing and augmentation methods increase the stability of intelligent transport systems. The prospects of using YOLOv2's capabilities to extract data on the color, model, and size of a car are being considered.

Keywords: image segmentation, license plate recognition, deep neural networks, YOLOv2, intelligent transportation systems.

Veretelnik D.N.

Zviagintseva A.V., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Computer Technology

Donetsk state university. Donetsk, DPR

E-mail: dk284325@gmail.com; a.zvyagintseva@donnu.ru

СИСТЕМА РЕКОМЕНДАЦИЙ ДЛЯ ПЛАТФОРМ ОНЛАЙН-ВИДЕОИГР

Заика И.С.

*Научный руководитель Василищенко Т.А., старший преподаватель
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

Аннотация. В последние годы индустрия видеоигр значительно изменилась. Рост разнообразия игр привел к увеличению числа пользователей, вовлеченных в онлайн-сообщества, а также к расширению доступных жанров и типов игр. В данной статье рассматриваются современные рекомендательные модели, основанные на методах факторизации (FM), глубоких нейронных сетях (DeepNN), а также их комбинации (DeepFM). Данные модели выбраны из-за их способности обрабатывать различные типы входных данных и переменных. Будут оцениваться результаты, исходя из анализа точности ранжирования рекомендаций, а также разнообразия и новизны рекомендуемых списков.

Ключевые слова: рекомендательная система, глубокие нейронные сети.

Введение. Согласно данным российского рынка мобильных игр, в 2022 году более 2,5 миллиардов человек уделяли часть своего времени видеоиграм. Такое огромное количество игроков сделало индустрию видеоигр одной из наиболее значимых в мире. Лишь только в 2023 году выручка этой отрасли выросла на 10,7%, превысив 116 миллиардов долларов. Одним из ключевых факторов успеха стала высокая степень диверсификации, которой отрасль достигла за последние годы. После этого стало доступно множество игровых платформ, широкий выбор жанров и категорий игр, а также платформы, которые способствуют социальному взаимодействию между игроками. Такая гибкость привела к созданию множества продуктов с разнообразными характеристиками, способными заинтересовать самых разных пользователей.

Примером такой адаптации является платформа STEAM — компания, специализирующаяся на цифровой дистрибуции видеоигр. STEAM позволяет пользователям покупать, просматривать игры, оставлять отзывы, играть онлайн и офлайн, соревноваться и сотрудничать внутри платформы и игр. Ежечасно более 10 миллионов человек подключаются к серверам STEAM, чтобы поиграть в видеоигры. Однако из-за большого разнообразия продуктов и значительного числа пользователей, некоторым может быть сложно выбрать новую игру. Более того, по данным STEAM за 2014 год, около 37% купленных игр так и не были запущены их владельцами.

В связи с этим возникает необходимость в рекомендательных системах, способных предложить пользователям персонализированные рекомендации, предупреждающие их о новых релизах и неизвестных играх. В настоящее время видеоигры становятся регулярным занятием пользователей, которые многократно играют в любимую игру, но также стремятся открывать для себя новые видеоигры. Это создает две ключевые задачи для отрасли — необходимость разрабатывать игры, к которым пользователи будут возвращаться, и помогать им находить новые, которые станут такими же популярными. Множество функций, доступных на платформе STEAM, позволяет исследовать взаимосвязи между характеристиками игр и предпочтениями пользователей. Данные взаимосвязи дают возможность разработать алгоритм, способный решать данные задачи, что принесет значительную выгоду как для индустрии, так и для игроков и разработчиков, помогая предсказывать желания пользователей и продвигать новые игры.

Постановка задачи. Целью данной работы является исследование современных рекомендательных систем (RecSys) в контексте видеоигр и представление новых результатов, которые могут стать основой для будущих исследований. Помимо точности ранжирования, необходимо провести анализ показателей новизны и разнообразия

рекомендаций, а также рассмотреть влияние анализа отзывов пользователей, взятых из текстовых обзоров на качество, новизну и разнообразие игровых рекомендаций.

Набор данных. Для достижения целей, описанных ранее, необходимо провести тестирование трех современных алгоритмов, основанных на различных подходах к рекомендациям, которые могут обрабатывать различные типы входных данных:

- рекомендательная система (RecSys) на основе коллаборативной фильтрации (CF), использующая метод чередующихся наименьших квадратов (ALS) для создания рекомендаций на основе неявной обратной связи [1], который будет использоваться в качестве базовой модели.
- RecSys, основанная на факторизационных машинах [2], которая использует большое количество данных, включая контекст и характеристики, полученные от пользователей, товаров и покупок.
- RecSys, основанная на комбинации FM и методов глубокого обучения (DeepNN и DeepFM [3]), где будут анализироваться отзывы пользователей для интерпретации данных.

Для внедрения предложенных рекомендательных систем и оценки их прогностической эффективности мы использовали три набора данных, первый — история покупок пользователей платформы STEAM из России, с указанием приобретённых игр и времени игры. Второй — отзывы пользователей, которые служат обзорами для сообщества. Третий — информация о жанрах и доступности видеоигр на платформе. Данные собраны с октября 2015 по январь 2023 года.

Наборы данных объединены для создания связей между пользователями и играми. Важно отметить, что не существует общего рейтинга, который точно будет отражать предпочтения пользователей, поэтому была использована скрытая обратная связь и различные полезные данные для формирования рекомендаций.

Большой объём данных позволяет тестировать различные виды взаимодействий, уделяя особое внимание времени игры, как значимой переменной, отмеченной в предыдущих исследованиях.

Таблица 1. Краткое описание функций

Описание	Тип	Объект
user id	Str	Уникальный идентификатор пользователя
item id	Str	Уникальный идентификатор товара
count	Int	Количество игр, приобретенных пользователем
playtime	Int	Период времени, в течение которого пользователь играл в игру
RecCount	Int	Время, в течение которого товар был рекомендован
Metacritic	Int	Оценка игры
GenreIs	[Bool]	Верно, если предмет относится к одному из предложенных игровых жанров.
Category	[Bool]	Верно, если игра относится к одной из игровых категорий, например: многопользовательская
Platform	[Bool]	верно, если игра поддерживается одной из 3-х перечисленных операционных систем
recommend	[Bool]	Значение True, если пользователь рекомендует данный товар
review	Str	Свободный текст, выражающий мнение пользователя

Данный набор данных включает около 5 153 209 записей, в которых представлены 70 912 различных пользователей и 10 978 различных товаров (видеоигр). Эти цифры указывают на высокую разбросанность данных — всего 0,66% просмотренных записей. Такая разбросанность данных не является оптимальной для обучения модели, которая анализирует взаимодействия между пользователями и товарами. Исходя из этого, было принято решение фильтровать данные, предполагая, что плотность около 10% будет более полезной для поставленных целей. В итоговый набор данных вошли только те

товары, которые были приобретены не менее 200 раз, и пользователи, совершившие не менее 100 покупок. Описание итоговой базы данных представлено в таблице 2.

Таблица 2. Сводная статистика окончательной базы данных после вырезания

Количества	Статистика
Количество регистраций	2 149 858
Количество различных пользователей	8 183
Количество различных товаров	2 872
Количество отзывов	9 823
Плотность набора данных	9,14%
Среднее количество покупок на одного пользователя	262,72
Среднее количество покупок на один товар	748,55
Среднее количество сыганных часов на одного пользователя	161 317,9
Среднее количество сыганных часов на один товар	476 727,9

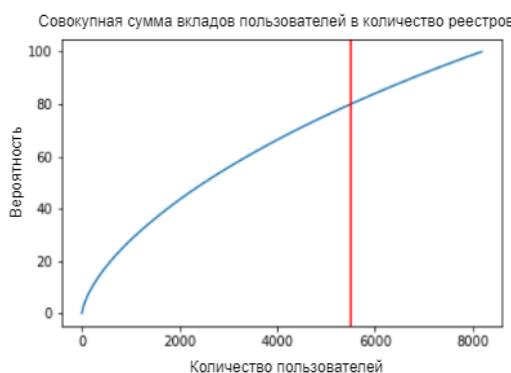


Рис.1 Совокупная сумма вкладов пользователей в количество реестров. 67% пользователей объясняют 80% данных

В результате фильтрации данных был получен новый набор с плотностью около 10%, уменьшив его исходный размер примерно вдвое. Несмотря на это, набор остается достаточно большим для проведения экспериментов. Необходимо также проанализировать распределение потребления в данных, чтобы предотвратить проблемы дисбаланса, когда слишком много транзакций приходится на небольшое число пользователей. На рисунке 1 продемонстрировано, что перекос среди пользователей незначителен: около 67% пользователей отвечают за 80% записей. Однако на рисунке 2 видно, что большая часть записей приходится на небольшое количество товаров (40% элементов генерируют 80% записей). Такая ситуация требует дальнейшего анализа систем, чтобы убедиться, что они рекомендуют разнообразные виды товаров. Для решения данной проблемы планируется использовать показатели новизны и разнообразия.

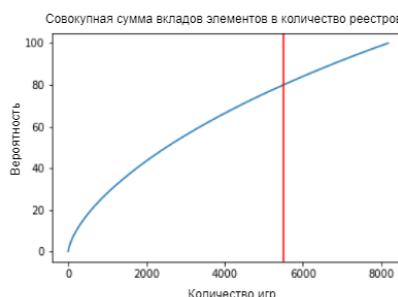


Рис.2. Совокупная сумма вкладов элементов в количество реестров. 47% элементов объясняют 80% данных

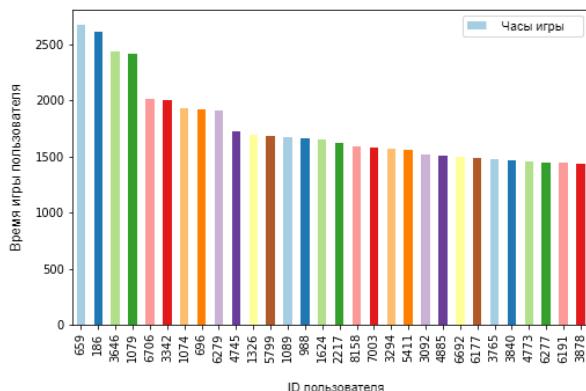


Рис.3. Время игры наиболее активных пользователей

Данные о неявной обратной связи. В данном исследовании используется неявная обратная связь для определения предпочтений пользователей, применяя игровое время как косвенный показатель. После анализа распределения игрового времени был установлен порог в 5 часов для определения интереса к игре. Хоть это и является упрощённым решением, будут представлены более точные подходы для дальнейших исследований. На рисунках 3 и 4 показано, что различия в игровом времени среди активных пользователей невелики, но для большинства игр оно значительно варьируется, и некоторые пользователи не играют в свои приобретенные игры.

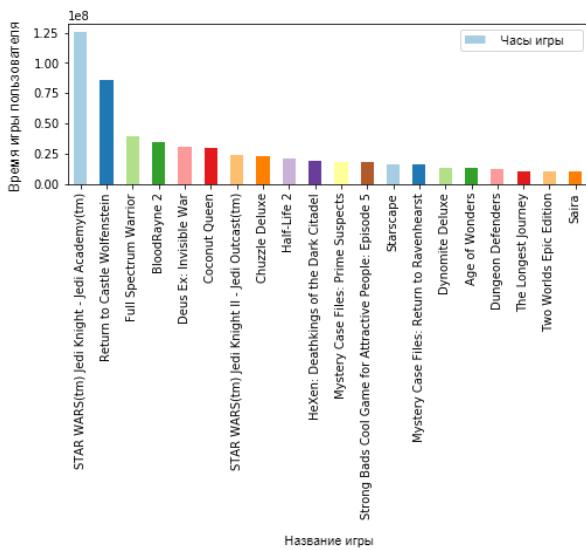


Рис.4. Время воспроизведения большинства игр

Факторизационные машины (FM). Факторизационные машины (FM) — это модели для рекомендательных систем, которые позволяют работать с моделями скрытых факторов так же просто, как с регрессионными моделями или SVM-моделями. Они могут обрабатывать различные типы входных данных — от непрерывных до дискретных переменных, а также моделировать взаимодействия между ними. FM способны учитывать взаимодействия разных n -порядков между переменными. Для данного исследования будет выбрано $n = 2$, так как это часто используется для достижения хороших результатов при приемлемом времени обучения. При данной настройке выходные данные будут являться прогнозом, основанном на линейном взаимодействии входных переменных (порядок-1) и скрытых факторов, зависящих от взаимодействий между парами переменных (порядок-2).

Чередующиеся наименьшие квадраты (ALS). Среди разнообразных моделей матричной факторизации, модель ALS выделяется способностью работать с неявной обратной связью [4]. Она содержит в себе новое представление для взаимодействия пользователя и элемента, где предпочтения пользователя относительно конкретного элемента определяются скалярным произведением их скрытых факторных представлений. Главная инновация этого алгоритма заключается в учете неявной обратной связи через введение двух новых показателей, которые отражают как предпочтения пользователя, так и уверенность в использовании товара. Предпочтения указывают на то, был ли продукт использован или нет.

Модель DeepFM. Модель Deep FM объединяет в себе способности факторизационных машин (FM) для моделирования взаимодействий низкого порядка между входными переменными [5]. Благодаря использованию глубоких нейронных сетей (DNN), модель Deep FM позволяет захватывать более сложные взаимодействия. В данной модели FM и DNN работают параллельно, а их результаты объединяются на выходном узле с помощью сигмоидальной функции, которая выдает прогноз, основанный на взаимодействиях разных порядков входных данных. Прогноз представляет вероятность того, относится ли пользователь к определенному классу, например, понравилась ли ему игра.

В данном исследовании будут классифицироваться записи по типам (пользователь, товар, категория, платформа и т.д.) и использоваться встраивание записей для того, чтобы сбалансировать влияние разбросанных переменных.

Модель DeepNN. Новым элементом модели DeepFM является нейронная сеть deep (также называемая Deep NN), которая параллельно обрабатывает взаимодействия между пользователями и товарами. Компонент deep представляет собой нейронную сеть прямого распространения и предназначен для изучения взаимодействий высокого порядка.

Первым компонентом является слой встраивания, который сжимает входные данные в небольшой плотный вектор с вещественными значениями. Стоит отметить, что длина этих данных может варьироваться, однако встраивание всегда возвращает кодировку фиксированной длины в К единиц. Для данного исследования необходимо проделать следующие шаги. Обозначить выходные данные слоя встраивания как:

$$a(0) = [e_1, e_2, \dots, e_m], \quad (1)$$

где e_i , — это i поле, внедренное из общего числа m полей.

Затем эти входные данные нужно внедрить в скрытые слои, где происходит взаимодействие объектов. Данный процесс осуществляется по следующей формуле:

$$a^{(l+1)} = \sigma(W^{(l)}a^{(l)} + Wb^{(l)}), \quad (2)$$

где l — глубина слоя, а σ — функция активации. Переменные $a^{(l)}$, $(W^{(l)}, b^{(l)})$ — это выходные данные, вес модели и смещение первого слоя.

После этого формируется итоговый плотный вектор, результаты которого передаются через сигмовидную функцию, возвращая финальный результат рекомендаций.

Результаты. Для достижения оптимальных результатов необходимо провести анализ различных настраиваемых параметров. Алгоритм ALS имеет три изменяемых параметра: количество скрытых факторов для факторизации, количество эпох обучения (итераций) и коэффициент регуляризации λ .

В конечном итоге использованы оптимальные параметры, с установленной регуляризацией на уровне 0,01 с 500 скрытыми факторами, что позволило увеличить время обучения при незначительном улучшении, по сравнению с 800 факторами. Обучение проводилось с 300 итерациями.

Для моделей глубокого обучения были настроены два параметра: первый — это количество нейронов в каждом слое, определяющий архитектуру сети; второй — размер пакета данных, который влияет на количество обрабатываемых кортежей. Данный параметр важен, так как влияет на риск переобучения и скорость обучения. В ходе тренировок были получены графики, как показано на рисунках 5 и 6. Оценка проводилась с использованием показателя нормализации для бинарной классификации с широким диапазоном разрешения.

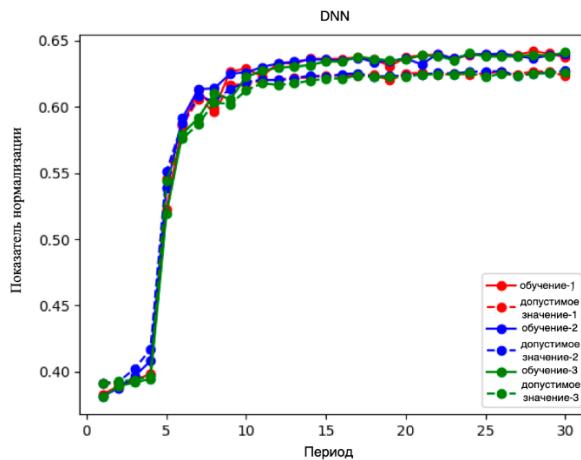


Рис.5. Кривая обучения модели DNN

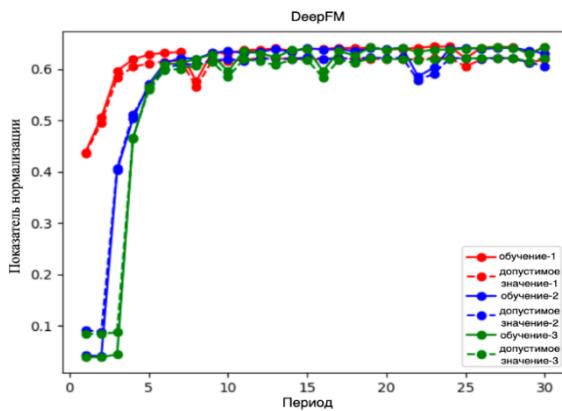


Рис.6. Кривая обучения модели DeepFM

Используя данные кривые и определенные показатели, был проведен анализ чувствительности, показанный в таблице 1. В ходе анализа изменялось количество нейронов на слой и размер периода. В качестве исходной конфигурации используются настройки по умолчанию: период размером 1024 и 32 нейрона на каждом слое.

Таблица 1. Анализ чувствительности для модели Deep FM

Конфигурация	Время	Карта	Новизна	Разнообразие
B ₁₀₂₄ HL _{32x32}	2027,52	0,8911	0,1667	0,4245
B ₅₁₂	2186,77	0,8940	0,1845	0,4967
B ₂₅₆	2692,96	0,8919	0,1847	0,4996
HL _{16x16}	1815,70	0,8939	0,1815	0,4775
HL _{8x8}	1708,57	0,8941	0,1837	0,4869
B ₅₁₂ HL _{8x8}	2180,6	0,8945	0,1857	0,5149

Было выявлено, что при уменьшении размера периода с 1024 до 512 результаты улучшаются по всем параметрам. Однако дальнейшее снижение до 256 приводит к

небольшому ухудшению результатов, но новизна немного возрастает. Это можно объяснить тем, что уменьшение размера периода способствует переобучению на обучающем наборе, и связи быстрее усваиваются при обработке меньшего объема данных. Кроме того, уменьшение количества нейронов в слоях с 32 до 8 также улучшает результаты по всем параметрам. Это связано с тем, что меньшее количество нейронов более эффективно использует взаимодействия между признаками. В итоге, были объединены данные конфигурации для создания модели с наилучшей производительностью для тестирования.

В таблице 2 приведены результаты оценки всех моделей рекомендательных систем, рассмотренных ранее.

Таблица 2. Результаты тестирования для каждой представленной модели

Конфигурация	Время	Карта	Новизна	Разнообразие
ALS	1421,8	0,107	-	-
FM	1450,86	0,893	0,176	0,45
DeepNN	1889,58	0,897	0,186	0,49
DeepFM	2027,52	0,891	0,167	0,43
FM(WS)	1416,04	0,894	0,18	0,46
DeepNN(WS)	1866,35	0,897	0,197	0,54
DeepFM(WS)	1984,17	0,892	0,19	0,53

Можно сделать выводы, что базовая модель ALS показала наибольшую скорость обучения, но ее производительность оказалась самой низкой среди всех рассмотренных показателей. Также, модель DeepNN продемонстрировала наилучшие результаты по всем показателям, превосходя FM и даже DeepFM. Это может свидетельствовать о том, что взаимодействия высокого порядка, извлекаемые DeepNN, предоставляют больше информации, чем взаимодействия низкого порядка в FM, и поэтому могут мешать итоговому результату в DeepFM. Кроме того, новизна и разнообразие рекомендаций также выше для DeepNN, что особенно важно в игровой индустрии, где разнообразие и новизна играют ключевую роль.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bertens P. A Machine-Learning Item Recommendation System for Video Games / Paul Bertens, Anna Guitart, Pei Pei Chen, // ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST) – 2018.
2. G. Huijing DeepFM: a factorization-machine based neural network for CTR prediction / Guo Huijing, Ruiming Tang, Yunming Ye, Zhenguo Li, and Xiuqiang // In Proceedings of the 26th International Joint Conference on Artificial Intelligence – 2018, P. 1725–1731
3. H. Yifan Collaborative filtering for implicit feedback datasets / Hu Yifan, Yehuda Koren, and Chris Volinsky // In Data Mining – 2008, P. 263–272.

RECOMMENDATION SYSTEMS FOR ONLINE VIDEO GAME PLATFORMS

Annotation. The video game industry has changed significantly in recent years. The growing variety of games has led to an increase in the number of users involved in online communities, as well as the expansion of available genres and types of games. This article discusses modern recommendation models based on factorization methods (FM), deep neural networks (DeepNN), as well as their combinations (DeepFM). These models are chosen because of their ability to handle different types of input data and variables. The results will be evaluated based on an analysis of the accuracy of the ranking of recommendations, as well as the variety and novelty of the recommended lists.

Keywords: recommendation system, deep neural networks.

Zaika I.S.

Scientific adviser: Vasilishchenko T.A., Senior Lecturer Donetsk State University
E-mail: ilya.zaika.1999@mail.ru

СОЗДАНИЕ ПРОТОТИПА УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ В ЗДАНИИ

Кидалинский О.С.

*Научный руководитель: Бондаренко В.В., старший преподаватель
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

Аннотация. В строительной отрасли наблюдается значительный рост потребления электроэнергии, что связано с миграцией населения из сельских районов в города. Особое внимание уделяется системам отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, при этом на кондиционирование воздуха приходится большая часть общего энергопотребления зданий. Это обусловлено необходимостью поддержания комфорта климата для жильцов, что требует значительных энергетических затрат. Прототип оснащен беспроводным модулем для передачи управляющих сигналов на систему кондиционирования. Для настройки режимов работы и продолжительности функционирования было создано специальное программное обеспечение. Эффективность устройства будет проверена в ходе полевых испытаний на реальных кондиционерах в исследуемом здании. Результаты показали, что использование предложенного устройства позволяет существенно снизить энергопотребление системы кондиционирования при минимальных затратах на его внедрение.

Ключевые слова: система кондиционирования, блок управления, микроконтроллеры.

Введение. Рациональное использование энергии является ключевым фактором, способствующим развитию России, особенно в условиях высокого спроса на энергию, связанного с ростом экономики и населения. Эта тенденция к увеличению потребления энергии, вероятно, продолжится в будущем. По данным на 2023 год, 62% всего энергопотребления в России приходилось на жилые и коммерческие здания [1]. Правительство страны активно поддерживает меры по энергосбережению, внедряя 20-летний план по снижению энергоемкости на 17,6% в жилом и коммерческом секторах [2]. Кондиционирование воздуха является жизненно важной необходимостью, особенно в летний период, и на его системы приходится до 60% энергопотребления зданий [3].

В настоящей статье представлены различные подходы, включая схемы управления системами кондиционирования воздуха, основанные на современных исследованиях. Например, применение интеллектуальных датчиков и экспериментальные исследования эффективности энергопотребления позволили улучшить управление этими системами. Некоторые методы, такие как использование Q-learning для баланса между комфортом и энергоэффективностью, а также модели пространства состояний для управления горячим водоснабжением и электричеством, показывают значительный потенциал.

Однако существует и ряд ограничений. Например, статические зоны управления ОВКВ не всегда эффективны, что было продемонстрировано в работе по использованию динамических зон [9]. Также были предложены системы мониторинга с визуализацией данных в реальном времени для оптимизации работы кондиционеров.

В данной статье представлен прототип блока управления системой кондиционирования воздуха, который был протестирован в реальных условиях. Результаты испытаний показали, что предложенное решение может повысить энергоэффективность систем кондиционирования как в новых, так и в существующих зданиях.

Постановка задачи. Целью данной работы является разработка и создание прототипа устройства для управления кондиционированием воздуха, которое может автоматически функционировать по заданному графику.

Принципиальная схема. Электронная схема и оборудование, применяемые в предлагаемом устройстве управления кондиционированием воздуха, состоят из четырех основных компонентов: управляющего компьютера, блока управления, а также

беспроводных модулей для передачи и приема данных. Структура схемы данного устройства представлена на рисунке 1. Как видно на данной схеме, управление блоком осуществляется через специальное программное обеспечение, в котором задается режим работы кондиционера. Сигнал с программы передается на блок управления посредством беспроводного модуля, после чего отправляется команда для активации кондиционера.

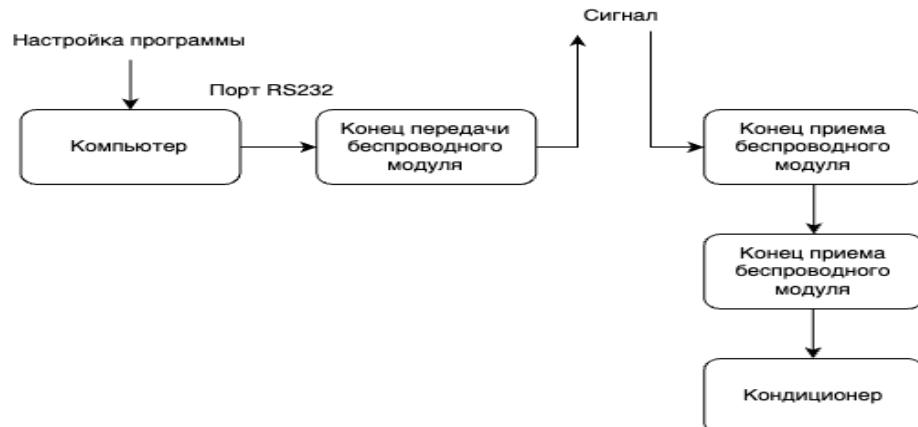


Рис. 1. Принципиальная схема предлагаемого блока управления

В блоке управления были использованы микроконтроллеры семейства AVR. Схема микроконтроллера представлена на рисунке 2 а сам блок управления, предназначенный для установки на кондиционер, показан на рисунке 3.

Результаты. Эффективность прототипов предлагаемого блока управления кондиционированием воздуха оценивается путем их установки и тестирования в реальных условиях эксплуатации в здании. В качестве примера для полевых испытаний была выбрана лекционная аудитория одного из университетов России, оснащенная восемью кондиционерами. Технические характеристики кондиционеров, используемых в данном здании, представлены в таблице 1. Энергоэффективность кондиционеров оценивалась на основе их энергопотребления, затрат энергии и показателя энергоэффективности.

Таблица 1. Спецификация используемого в настоящее время кондиционера

Размер	Мощность	Потребление энергии	Коэффициент энергоэффективности
20,000	3.53	6,77.6	5.07

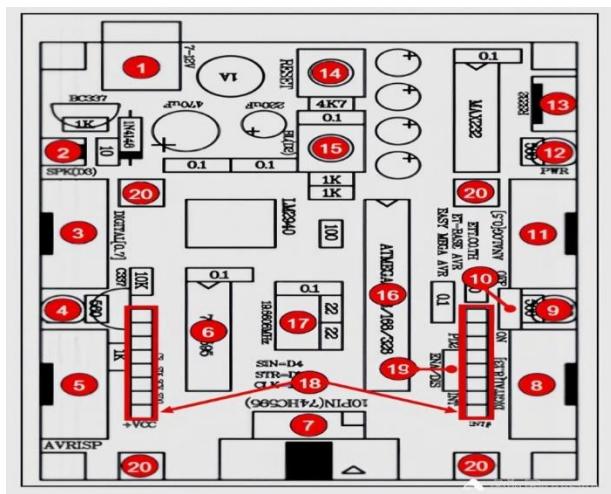


Рис. 2. Схема микроконтроллерного блока



Рис. 3. Микроконтроллерный блок

Инфракрасный блок управления системой кондиционирования воздуха представлен на рисунке 4. Пользовательский интерфейс программного обеспечения для прототипов позволяет управлять от одного до восьми кондиционеров, при этом для каждого из них можно задавать время и продолжительность работы. График использования помещения для исследования включает утреннее занятие с 8.20 до 12.00 и дневное занятие с 12.40 до 14.40. На протяжении всего рабочего дня лекционная аудитория использовалась по данному расписанию.

Однако фактические данные показали, что кондиционеры обычно включались с 7.30 и работали до конца дня, исходя из посещений пользователей, что приводило к избыточному энергопотреблению. Для решения этой проблемы был установлен предлагаемый блок управления. Режимы использования помещения с блоком управления и без него представлены на рисунке 5.

Результаты показывают, что с использованием предлагаемого блока кондиционеры могут работать автоматически в соответствии с заданными настройками. На рисунке 5 четко видно, что блок управления позволил сократить время работы кондиционеров на два часа в день, что снизило энергопотребление и затраты на энергию. Итоговые данные по энергоэффективности до и после установки блока управления представлены в таблице 2.

Таблица 2. Потребление энергии до и после установки блока управления

Количество кондиционеров (единиц)	Текущее потребление энергии в день (кВтч)	Новое потребление энергии в день (кВт)	Снижение энергопотребления (кВт)	Годовая экономия энергии (кВтч/год)
8	26,475	19,062	7,413	1,934.79

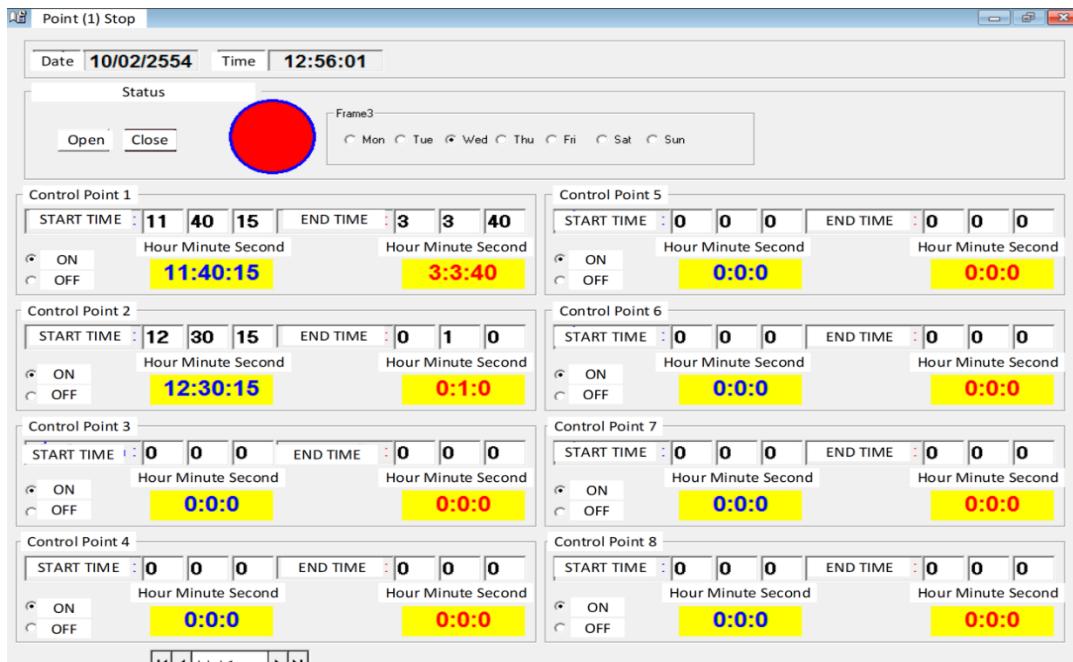


Рис. 4. Программный пользовательский интерфейс для блока управления кондиционированием воздуха

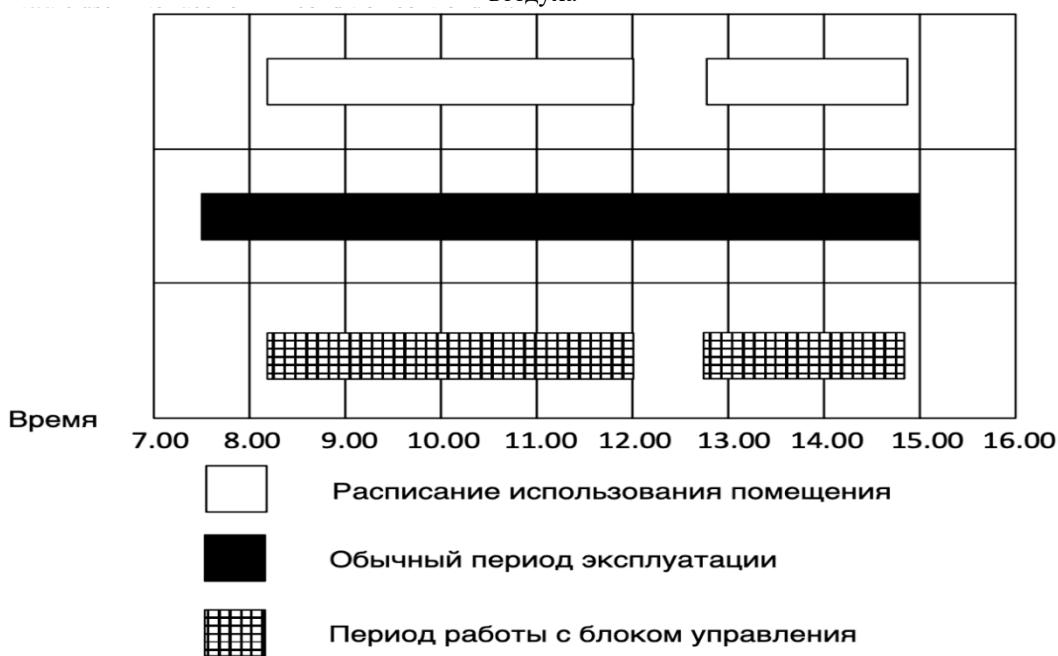


Рис. 5. Использование кондиционера и фактический график его работы

Выводы. В данной статье представлена схема управления, которая позволяет автоматически регулировать работу системы кондиционирования воздуха в соответствии с заданным расписанием. Экспериментальные полевые испытания показали, что использование предлагаемого блока управления может сократить энергопотребление системы кондиционирования на 1934 кВт*ч в год по сравнению с системой без управления. Данное снижение достигается за счет уменьшения времени работы кондиционеров благодаря планированию и автоматическому управлению в соответствии с графиком. Результаты исследования и созданные прототипы могут быть применимы как к существующим, так и к новым системам кондиционирования, что позволит повысить энергоэффективность зданий в будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов А.А. Управление воздушными потоками в чистых помещениях электронной промышленности / А.А. Морозов // Сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов ИИЭСМ за 2015-2016 учебный год – НИУ МГСУ, 2016. – С. 23-29.
2. Ларин Р.М. Методы оптимизации. Примеры и задачи / Р.М. Ларин, А.В. Плясунов, А.В. Пяткин – Екатеринбург, 2013. –120 С.
3. Бандарь Е.С. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха / Е.С. Бандарь – Киев, ТОВ «Видавничий будинок «Аванпост-Прим» 2015.– 560 С.

CREATION OF A PROTOTYPE OF AN AUTOMATIC CONTROL DEVICE FOR THE AIR CONDITIONING SYSTEM IN A BUILDING

Annotation. There is a significant increase in electricity consumption in the construction industry, which is associated with the migration of the population from rural areas to cities. Special attention is paid to heating, ventilation and air conditioning systems, while air conditioning accounts for most of the total energy consumption of buildings. This is due to the need to maintain a comfortable climate for residents, which requires significant energy costs. The prototype is equipped with a wireless module for transmitting control signals to the air conditioning system. Special software has been created to adjust the operating modes and duration of operation. The effectiveness of the device will be tested during field tests on real air conditioners in the building under study. The results showed that the use of the proposed device can significantly reduce the energy consumption of the air conditioning system with minimal costs for its implementation.

Keywords: air conditioning system, control unit, microcontrollers.

Kidalinsky O.S.

Scientific adviser: Bondarenko V.V., Senior Lecturer Donetsk State University

E-mail: kidalinskiy.oleg@gmail.com

ОБУЧАЮЩИЙ КИБЕРПОЛИГОН STANDOFF ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Киселёв Г. О.

*Научный руководитель: Бабичева М.В., к.т.н., доцент
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

Аннотация: работа посвящена исследованию обучающего киберполигона Standoff, его особенностей и возможностей для решения практических задач в области информационной безопасности; рассматриваются методы моделирования кибератак, подходы к выявлению уязвимостей и реагированию на угрозы в контролируемой среде; исходя из анализа функционала платформы, предлагается методика ее использования для подготовки специалистов по кибербезопасности; проведен анализ эффективности применения Standoff в образовательных и практических целях, выявлены его преимущества и ограничения.

Ключевые слова: киберполигон, моделирование кибератак, киберугрозы, выявление уязвимостей, Standoff.

Введение. В современном цифровом пространстве угрозы информационной безопасности становятся все более сложными и изощренными. Рост числа кибератак и их последствий требует подготовки высококвалифицированных специалистов, способных эффективно выявлять и нейтрализовать угрозы. Однако традиционные методы обучения в данной сфере зачастую оказываются недостаточными, поскольку не позволяют в полной мере воспроизвести реалистичные сценарии атак и защитных мер.

Одним из перспективных инструментов для обучения специалистов по информационной безопасности является обучающий киберполигон Standoff. Данная платформа позволяет моделировать реальные кибератаки, отрабатывать методы защиты и выявления уязвимостей в безопасной, контролируемой среде. Использование подобных полигонов способствует формированию практических навыков у специалистов, что особенно важно для повышения уровня кибербезопасности на различных объектах.

Цель данной работы заключается в исследовании возможностей киберполигона Standoff для обучения специалистов по информационной безопасности. Важным аспектом является анализ методов моделирования атак, подходов к выявлению уязвимостей и эффективности применения данной платформы в образовательном процессе.

На основе полученных данных предлагается методика использования Standoff для подготовки специалистов, а также рассматриваются перспективы дальнейшего развития обучающих киберполигонов в сфере информационной безопасности.

Постановка задачи. Целью данной работы является исследование обучающего киберполигона Standoff, выявление его возможностей и преимуществ, а также разработка методики его применения для решения практических задач в области информационной безопасности.

Цели и задачи киберполигона. Киберполигон Standoff представляет собой специализированную платформу, которая позволяет моделировать кибератаки в условиях, максимально приближенных к реальным. Основная цель полигона — создание безопасной и контролируемой среды, где специалисты по информационной безопасности могут отрабатывать методы защиты, выявлять уязвимости и совершенствовать навыки реагирования на угрозы. Благодаря современным технологиям, на платформе возможно воспроизведение сложных сценариев атак, затрагивающих различные сферы: корпоративные сети, промышленные системы, финансовые учреждения и государственную инфраструктуру. Это делает Standoff эффективным инструментом для изучения современных киберугроз и разработки стратегий их предотвращения.

Одной из ключевых задач киберполигона является оценка защищённости информационных систем и тестирование эффективности существующих механизмов кибербезопасности. Это позволяет организациям адаптировать свои стратегии защиты, минимизировать риски и повышать уровень киберустойчивости. Кроме того, Standoff служит платформой для обучения и подготовки специалистов, что особенно важно в условиях стремительного развития технологий и роста числа атак на критическую инфраструктуру.

Таким образом, киберполигон Standoff играет важную роль в формировании комплексного подхода к обеспечению информационной безопасности. Он позволяет объединить теоретические знания с практическими навыками, что необходимо для эффективного противодействия современным киберугрозам.

Моделирование реальных кибератак и защитных мер. В ходе киберучений специалисты могут моделировать реальные кибератаки и отрабатывать меры защиты в условиях, максимально приближенных к реальным. Платформа воссоздает операционные и бизнес-процессы различных отраслей, включая топливно-энергетический комплекс, промышленность и финансовый сектор. Это позволяет участникам изучать, как кибератаки могут повлиять на разные сегменты экономики, и готовиться к таким сценариям.

На платформе специалисты по информационной безопасности могут отрабатывать различные сценарии реагирования на кибератаки, улучшая свои навыки и повышая готовность к реальным угрозам. Standoff 365 дает командам защитников возможность мониторить и анализировать действия атакующих, что помогает в дальнейшем применять полученный опыт для предотвращения реальных инцидентов.

Одной из ключевых особенностей киберполигона Standoff является высокая реалистичность моделируемых атак. Это достигается за счет использования настоящего вредоносного трафика, который направляется на инфраструктуру участников. При этом масштаб инфраструктуры не имеет значения — полигон подходит как для небольших команд, так и для крупных организаций. В режиме реального времени участники могут наблюдать последствия атак на свои системы, что делает обучение максимально наглядным и практическим [1].

Эмуляция бизнес-процессов и технологических систем. Использование киберполигона позволяет моделировать реальные бизнес-процессы и технологические системы, что даёт участникам возможность детально изучать сценарии кибератак и отрабатывать защитные меры в условиях, близких к реальным. На платформе создано виртуальное государство F, включающее компании из ключевых отраслей: ЖКХ, финансов, энергетики, нефтегаза, транспорта и космической сферы. Такой подход обеспечивает разнообразие сценариев для анализа угроз и их последствий.

В ходе киберучений Standoff в 2022 году была воссоздана инфраструктура, имитирующая операционные и бизнес-процессы реальных предприятий. Это позволило участникам не только атаковать и защищать системы, но и оценивать влияние кибератак на бизнес-операции. Например, в финансовом секторе реализовали полноценную систему межбанковских переводов с инфраструктурой коммерческих и центрального банка. Участники могли моделировать процессы обслуживания юридических лиц — от открытия счетов до формирования платёжных поручений и отчёtnости [1].

Дополнительно на полигоне внедрили систему эквайринга с оплатой по QR-кодам, что приблизило сценарии к реальным условиям розничной торговли. В виртуальном банке First Partner Bank появились рабочие станции сотрудников, доменная сеть и мобильное приложение для работы с QR-кодами. Это повысило реалистичность тренировок: команды могли отрабатывать атаки и защиту в условиях, почти неотличимых от реальных [1].

Такая детальная эмуляция сложных систем помогает участникам не только совершенствовать технические навыки кибербезопасности, но и анализировать, как атаки влияют на бизнес-процессы. Это критически важно для разработки стратегий защиты и оперативного реагирования на инциденты в реальном мире.

Анализ защищённости информационных систем. Киберполигон Standoff 365 предоставляет компаниям уникальную возможность оценить уровень защищённости своих информационных систем в условиях, максимально приближенных к реальным. Платформа позволяет организациям размещать фрагменты собственной инфраструктуры на полигоне, где они подвергаются атакам со стороны этичных хакеров. Это даёт возможность выявить слабые места и уязвимости без риска для реальных операций.

В 2021 году на Standoff 365 была смоделирована инфраструктура электрогенерирующего предприятия Big Bro Group, снабжающего энергией центральный район мегаполиса. На подстанции использовались современные силовые трансформаторы и цифровые системы релейной защиты, а обмен информацией между устройствами осуществлялся по протоколам стандарта МЭК 61850. Этичные хакеры провели серию атак на эту инфраструктуру, что позволило выявить критические уязвимости в системах управления и коммуникаций [2].

Ещё один пример — тестирование защищённости IT-компании NetFusionPro, занимающейся хостингом и интернет-провайдингом. Участники киберполигона успешно реализовали сценарии распространения вируса-шифровальщика и компрометации доменной Windows-инфраструктуры. Эти атаки выявили недостатки в механизмах безопасной разработки и позволили компании усовершенствовать свои защитные меры.

Standoff 365 также предоставляет возможность тестирования защищённости банковских систем. В одном из сценариев были смоделированы инфраструктуры трёх коммерческих банков, включая системы межбанковских переводов и обслуживания клиентов. Этичные хакеры успешно провели атаки, направленные на компрометацию доменных инфраструктур и утечку данных контрагентов, что позволило выявить уязвимости в системах безопасности и разработать меры по их устранению.

Выявление и устранение уязвимостей. Киберполигон сотрудничает с компаниями и предоставляет им эффективную платформу для выявления и устранения уязвимостей в их информационных системах. Одним из ключевых компонентов этой платформы является программа Bug Bounty, которая объединяет компании и исследователей безопасности для поиска уязвимостей и оценки защищённости организаций. Компании размещают свои IT-системы и сервисы на платформе, а багхантеры ищут уязвимости и пытаются реализовать атаки и недопустимые для компании события. За найденные уязвимости багхантеры получают вознаграждения. Всего по программе Bug Bounty багхантеры сдали 2 600 отчетов и получили 35 миллионов рублей.

Примером успешного выявления и устранения уязвимостей является участие компании VK в платформе Standoff 365 Bug Bounty. Присоединившись к программе, VK предоставила исследователям возможность тестировать свои сервисы на наличие уязвимостей, что позволило своевременно обнаружить и устранить потенциальные угрозы, повышая общую безопасность своих продуктов [3].

Оценка эффективности мер кибербезопасности. В рамках киберучений специалисты по информационной безопасности могут тестировать свои системы и процессы, наблюдая за действиями атакующих в реальном времени. Это позволяет не только выявлять уязвимости, но и оценивать эффективность существующих мер защиты, а также разрабатывать и внедрять новые стратегии противодействия кибератакам.

Кроме того, Standoff 365 предоставляет возможность количественной оценки эффективности мер кибербезопасности. Фиксируются такие показатели, как время реагирования на кибератаки, количество выявленных инцидентов и степень их

критичности. Анализ этих данных позволяет компаниям не только выявлять уязвимости, но и совершенствовать процессы реагирования на инциденты, повышая общий уровень защищенности [4].

Вывод. Проведенное исследование показало, что киберполигон Standoff 365 является мощным инструментом для моделирования реальных кибератак, эмуляции бизнес-процессов и оценки защищенности информационных систем. Возможности платформы позволяют специалистам по информационной безопасности не только отрабатывать практические навыки в условиях, максимально приближенных к реальным, но и совершенствовать свои стратегии защиты, опираясь на результаты тестирований и анализа инцидентов.

Внедрение киберполигона Standoff 365 в учебный процесс является логичным и необходимым шагом для подготовки квалифицированных кадров в области кибербезопасности. Практическая направленность обучения, основанная на работе с реальными сценариями атак и защит, способствует формированию устойчивых профессиональных навыков у будущих специалистов. Кроме того, использование Standoff 365 в образовательных учреждениях позволит своевременно адаптировать программы обучения к актуальным угрозам и вызовам, обеспечивая тем самым высокое качество подготовки выпускников. Это будет способствовать не только повышению уровня подготовки специалистов, но и укреплению общей кибербезопасности, что особенно важно в условиях стремительного развития информационных технологий и роста числа кибератак.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Банки на Standoff: испытание защищенности финансовой отрасли на киберполигоне [Электронный ресурс] – Электрон, дан. – 2024. – Режим доступа: <https://blogs.forbes.ru/2024/08/14/banki-na-standoff-ispytanije-zashhishhennosti-finansovoij-otrasli-na-kiberpoligone>
2. 46 этичных хакеров протестируют платформу для киберучений The Standoff 365 [Электронный ресурс] – Электрон, дан. – 2021. – Режим доступа: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/about/news/46-etichnyh-hakerov-protestirovali-platformu-dlya-kiberuchenij-the-standoff-365>
3. VK присоединилась к платформе по поиску уязвимостей The Standoff 365 от Positive Technologies [Электронный ресурс] – Электрон, дан. – 2022. – Режим доступа: <https://startpack.ru/articles/20220809-vk>
4. Киберучения по информационной безопасности [Электронный ресурс] – Электрон, дан. – 2024. – Режим доступа: <https://dzen.ru/a/ZgMgCcop3j6o5-LQ>

STANDOFF TRAINING CYBER RANGE FOR SOLVING PRACTICAL INFORMATION SECURITY PROBLEMS

Abstract: the work is devoted to the study of the Standoff training cyber range, its features, and capabilities for solving practical problems in the field of information security; methods for modeling cyberattacks, approaches to vulnerability detection, and threat response in a controlled environment are considered; based on an analysis of the platform's functionality, a methodology for its use in cybersecurity training is proposed; the effectiveness of Standoff in educational and practical applications is analyzed, and its advantages and limitations are identified.

Keywords: cyber range, cyberattack modeling, cyber threats, vulnerability detection, Standoff.

Kiselov G. O., student, Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk State University

Scientific adviser: Babicheva M.V., Candidate of Technical Sciences, Docent, Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk State University.

Email: georgiykiselov@gmail.com

ТРЕХМЕРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДВУМЕРНЫХ ДАННЫХ: МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Ломакин С.В.

Научный руководитель: Бондаренко В.В., старший преподаватель
ФГБОУ ВО «ДонГУ»

Аннотация. В настоящей статье предлагается метод визуализации трёхмерного объекта с использованием двумерной структуры данных и математического моделирования. Основная задача – правильно оценить глубину объекта (значение z) на основе двумерных координат (x, y) с помощью градиентных оценок. Особое внимание уделено процессу определения глубины по геометрической информации чертежа. В статье используется метод асимметричной симметрии, а результаты визуализации проверены с помощью набора инструментов MATLAB.

Ключевые слова: симметрия, градиентный метод.

Введение. Порой у людей возникает желание нарисовать различные математические объекты, такие как прямоугольники, кривые или кубы, на бумаге или миллиметровке, а также изображать людей, животных и другие объекты в альбоме для рисования. Однако, вскоре может потребоваться перенести эти рисунки на компьютер. С одной стороны это кажется простым, но с другой, усложняется, если есть лишь частичная информация об объекте. Например, если нужно нарисовать человека или мальчика с неизвестными пропорциями.

В данной статье рассматривается создание компьютерной визуализации куба, используя только координаты его вершин. Данный процесс включает в себя вычисление градиентов, применяя метод асимметричной симметрии, ранее изученный такими исследователями, как Фридберг [1,2], Канаде и Гримстед [3,4]. В данной статье будет описано, как с помощью двумерных данных создать трёхмерную визуализацию. Данные будут обрабатываться математическим моделированием с использованием такого программного обеспечения, как C+ и MATLAB.

Математическое моделирование исследует проблему построения трёхмерных моделей на основе двумерных данных. Основными терминами в статье являются «Т-образный переход», «линия» и «область». Линия создается соединением точек пересечения, а область формируется серией данных точек.

Постановка задачи. Целью данной работы является исследование куба и применение математического моделирования для решения данной задачи. Математическое моделирование позволяет определить градиенты куба для дальнейшего вычисления значения z, которое является предполагаемой глубиной.

Описание используемых объектов. В данной статье используется куб с тремя областями и семью переходами, как показано на рисунке 1.

В целом, математическое моделирование куба представлено в уравнениях R0, R1, R2.

Область R0:

$$\begin{aligned}x_0a_0+y_0b_0+z_0+c_0 &= 0 \\x_4a_4+y_4b_4+z_4+c_4 &= 0 \\x_1a_1+y_1b_1+z_1+c_1 &= 0 \\x_3a_3+y_3b_3+z_3+c_3 &= 0\end{aligned}$$

Область R1:

$$x_2a_2+y_2b_2+z_2+c_2=0$$

$$\begin{aligned}x_5a_5+y_5b_5+z_5+c_5 &= 0 \\x_1a_1+y_1b_1+z_1+c_1 &= 0 \\x_3a_3+y_3b_3+z_3+c_3 &= 0\end{aligned}$$

Область R2:

$$\begin{aligned}x_0a_0+y_0b_0+z_0+c_0 &= 0 \\x_2a_2+y_2b_2+z_2+c_2 &= 0 \\x_6a_6+y_6b_6+z_6+c_6 &= 0 \\x_3a_3+y_3b_3+z_3+c_3 &= 0\end{aligned}$$

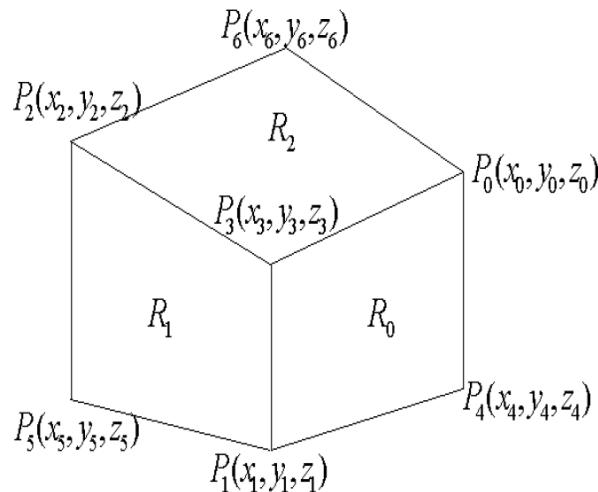


Рис. 1. Используемый куб с тремя областями и семью переходами

В тот момент, когда нужно определить значение z , возникает проблема, так как на графической бумаге оно является неизвестным для каждого соединения. Поэтому в данной статье первым шагом является предположение значений z для каждого соединения.

Обзор метода Фридберга. В данном разделе представлен метод, разработанный рядом исследователей для выявления асимметрии. Фактическое обнаружение асимметрии на изображении описано в работе Фридберга [5], где измеряется площадь лица, расположенная под сегментами окружности, центрированной над анализируемым лицом. Выявление асимметрии в линейном рисунке является относительно простой задачей по сравнению с растровым изображением, так как одна из двух осей асимметрии должна проходить через точку пересечения или середину линии. В 1981 году канадские исследователи изучили применение асимметричной симметрии для вычисления градиента поверхности на основе одного ортогонального вида. Косая симметрия наблюдается, когда реальная симметрия объекта искажается из-за того, что зритель не находится прямо перед симметричным объектом, как показано на рис. 2.

Математическое моделирование. В данном разделе представлены этапы получения визуализации трёхмерного объекта на основе двумерных данных. Для наглядности, шаги процесса визуализации трёхмерного объекта из двумерных данных показаны на рисунке 3.

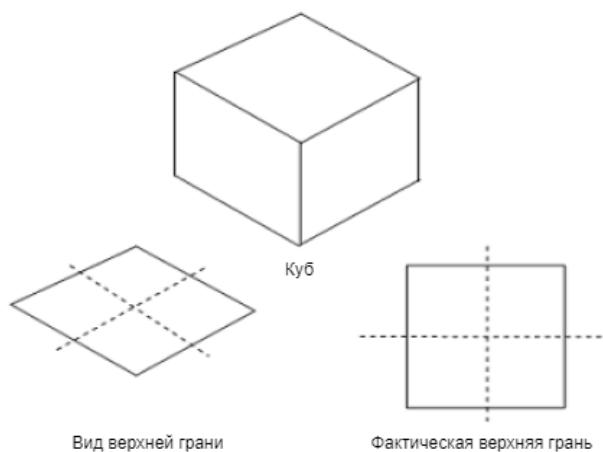


Рис. 2. Фактическое обнаружение асимметрии на изображении

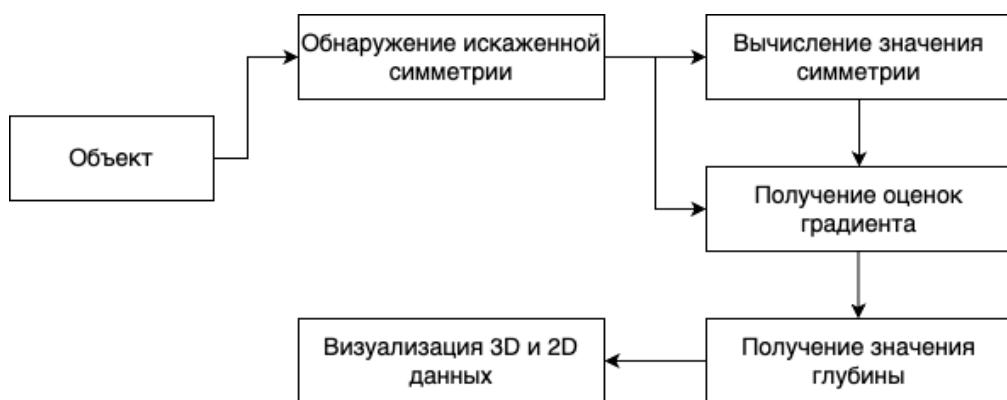


Рис. 3. Шаги процесса визуализации трёхмерного объекта из двумерных данных

Пусть будет дан куб, нарисованный на миллиметровке, представленный на рисунке 4.

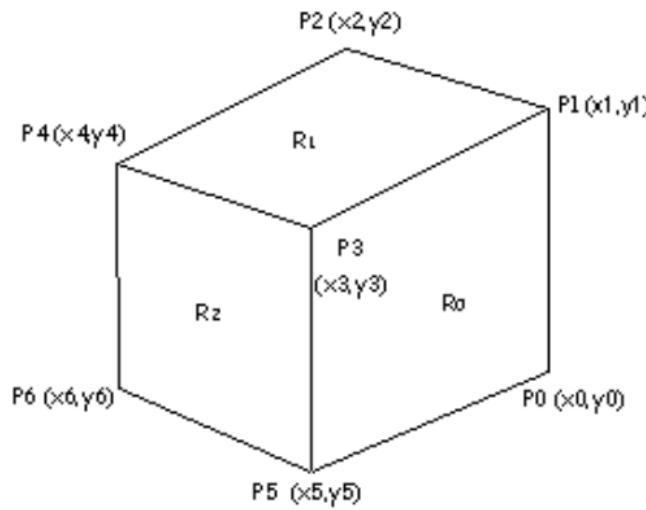


Рис. 4. Шаг 1- куб, нарисованный на миллиметровке

На следующем этапе куб будет разделен на три области, что четко продемонстрировано на рисунке 5.

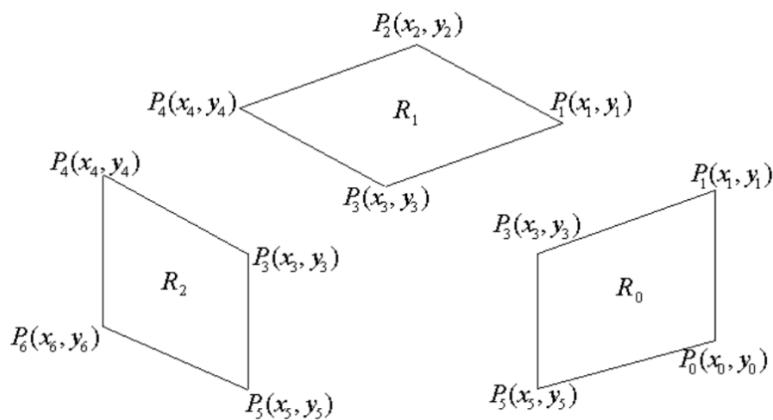


Рис. 5. Шаг 2 - куб, разделенный на три области

Теперь, для каждой области необходимо вычислить центр тяжести (x , y), момент по оси x и y , момент xy , а также угол α (альфа), которые представлены на рисунке 6.

Формула для расчета центра тяжести (x , y), момента по оси x , момента по оси y и момента xy выглядит следующим образом:

1. Центр тяжести $\bar{x}_T = \sum_{i=1}^4 \frac{x_i}{4}$, где x_i – координата x для каждого пересечения.
2. Центр тяжести $\bar{y}_T = \sum_{i=1}^4 \frac{y_i}{4}$, где y_i – координата y для каждого пересечения.
3. Момент $X (n_{20}) = \sum_{i=1}^4 (x_i - \bar{x}_T)^2$.
4. Момент $Y (n_{02}) = \sum_{i=1}^4 (y_i - \bar{y}_T)^2$.
5. Момент $XY (n_{11}) = \sum_{i=1}^4 (x_i - \bar{x}_T)^2 (y_i - \bar{y}_T)$.

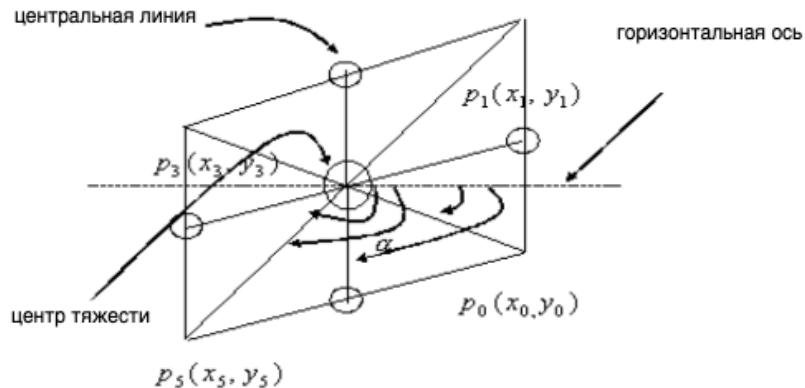


Рис. 6. Шаг 3 – Вычисление куба

После расчета данных для каждой области, мы продолжили работу в соответствии с подходом, предложенным Фридбергом, описанным ранее. Угол альфа, моменты по осям x и y , а также момент xy будут применены на следующем этапе, описанном далее.

Теперь, после получения данных на предыдущем этапе, необходимо вычислить значения бета (β), лямбда (λ) и градиентные оценки. Угол бета (β) будет рассчитан с использованием следующей формулы:

$$\beta = \arctan\left(\frac{\frac{n_{02}}{\tan \alpha} - n_{11}}{\frac{n_{11}}{\tan \alpha} - n_{20}}\right). \quad (1)$$

Пара градиентных оценок (p , q) была рассчитана с использованием следующей формулы:

$$\rho = \sqrt{\frac{-\cos\alpha\cos\beta - \sin\alpha\sin\beta}{(\cos\alpha + \tan\lambda\sin\alpha)(\cos\beta + \tan\lambda\sin\beta)}}, \text{ где } \lambda = \frac{\alpha+\beta}{2}. \quad (2)$$

$q=p\tan\lambda$

Теперь имеется $G_1 = (p, q)$, $G_2 = (-p, -q)$.

Следующим шагом будет вычисление значения симметрии. Это необходимо для определения формы симметрии каждой области и выбора наилучшей пары градиентных оценок, найденных на предыдущем этапе. Лучшей парой является та, которая имеет наименьшее значение симметрии. В данной статье данный шаг не детализируется, поскольку градиентные оценки можно вычислить и без предварительного расчета симметрии.

Далее, определив лучшую пару градиентных оценок, следующий этап — расчет глубины (z-значения для каждого соединения) с использованием программы MATLAB.

После получения z-значений для каждой области производится визуализация куба с помощью MATLAB.

Экспериментальный результат. В данном разделе будет представлен результат, полученный на основе математического моделирования, описанного в предыдущем разделе. В конце также будет приведен результат работы Фридберга для сравнения.

Пусть куб имеет вид, представленный на рисунке 7. В таблицах 1 и 2 приведены данные куба.

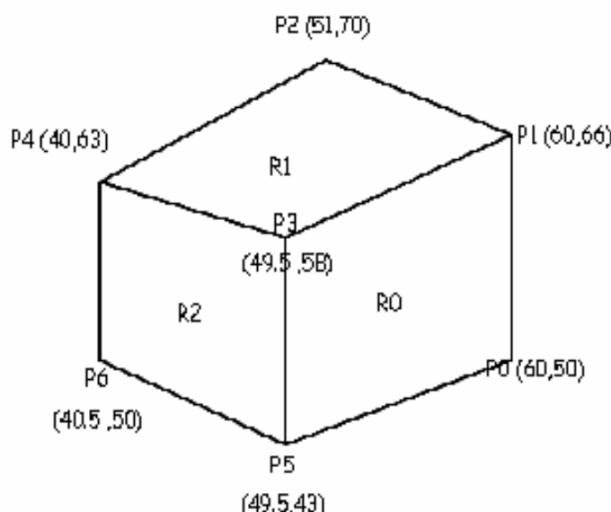


Рис. 7. Куб, нарисованный на миллиметровке

Таблица 1 - Общие данные для каждой области куба

Область	Центр тяжести		Момент x	Момент y	Момент xy
	x	y			
R0	54.75	54.25	110.25	296.8	78.75
R1	50.125	64.25	201.19	76.75	38.88
R2	44.875	53.5	85.688	233	-58.75

После получения данных из таблицы 1, следующим шагом является внесение их в программу MATLAB для визуализации.

Таблица 2 - Результат для пары оценок градиента и значения z

Область	Пара оценок градиента	zi	Значение
R0	(0.6618, 0.1835)	Z0	-1
		Z1	-0.4
		Z3	0
		Z5	5
R1	(-0.3722, -1.2277)	Z1	-0.4
		Z2	8
		Z4	-2
		Z3	0
R2	(-0.6533, 0.1926)	Z3	0
		Z4	-2
		Z6	-1
		Z5	5

На рисунке 8 представлен результат визуализации куба, представленного на рисунке 7, с использованием программы MATLAB.

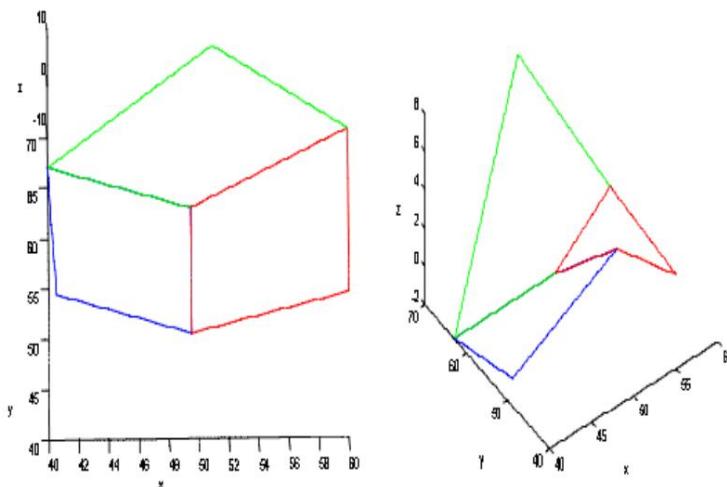


Рис. 8. Результат визуализации куба с использованием программы MATLAB

Основываясь на результатах визуализации, было выяснено, что реальный результат не является таким замкнутым, как куб на миллиметровке.

Заключение и дальнейшая работа. В данном разделе представлены выводы и предложения по дальнейшим шагам для достижения оптимальной визуализации трехмерного объекта на основе двумерных данных. В ходе экспериментов был проведен обзор литературы и рассмотрены этапы, необходимые для решения поставленной задачи. Основным выводом статьи является то, что значение соответствия симметрии играет ключевую роль в выборе наилучшей пары оценок градиента. Среди возможных направлений для будущих исследований рассматриваются следующие задачи: определение оптимального значения бета; вычисление значения соответствия симметрии; выбор наилучшей пары оценок градиента после расчета значения соответствия симметрии. После того как определена наилучшая пара оценок для каждой области, следующий шаг заключается в визуализации формы объекта с помощью MATLAB или других аналогичных инструментов, причем MATLAB является наиболее удобным вариантом для этого процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Friedberg S. A. Finding Axes of Skewed Symmetry / S. A. Friedberg // Computer Vision, Graphics and Image Processing – 1986. P. 138-155.
2. Grimstead J. Interactive Sketch Input of Boundary Representation Solid Models, PhD Thesis, Univ of Cardiff, UK, – 1997.
3. J. Grimstead, and R. R. Martin, Creating Solid Model From Single 2D Sketches, Proceedings Third Symp. On Solid Modeling Applications, ACM SIGGRAPH – 1995, P. 233-337.
4. Авербух В.Л. Разработка средств компьютерной визуализации для научных исследований / В.Л. Авербух // Труды первой международной конференции «Трехмерная визуализация научной, технической и социальной реальности. Кластерные технологии моделирования». – Ижевск, 2009. –С. 8-11.
5. Guzman, Decomposition of a Visual Scene into Three-Dimensional Bodies, AFIPS (American Federation of Information Processing Societies) Proceedings Fall Joint Computer Conference, 33, – 1968, P. 291-304.

THREE-DIMENSIONAL VISUALIZATION OF TWO-DIMENSIONAL DATA: MATHEMATICAL MODELING

Annotation. This article proposes a method for visualizing a three-dimensional object using a two-dimensional data structure and mathematical modeling. The main task is to correctly estimate the depth of the object (z value) based on two-dimensional coordinates (x, y) using gradient estimates. Special attention is paid to the process of determining the depth from the geometric information of the drawing. The article uses the method of asymmetric symmetry, and the visualization results are verified using the MATLAB toolkit.

Keywords: symmetry, gradient method.

Lomakin S.V.

Scientific adviser: Bondarenko V.V., Senior Lecturer Donetsk

State University

E-mail: serglomakin22@gmail.com

ФОРМИРОВАНИЕ КРАТКОГО СОДЕРЖАНИЯ ТЕКСТА НА ОСНОВЕ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

Маслов Н.С.

*Научный руководитель: Бондаренко В.И., канд. техн. наук, доцент
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

Аннотация. В данной статье рассматривается актуальная проблема автоматического формирования краткого содержания текста с помощью глубокого обучения. Автор выделяет три метода: экстрактивный (выделение предложений), абстрактивный (генерация нового текста) и гибридный. В статье также приводятся результаты экспериментов, проведённых на различных текстовых наборах, с использованием метрик ROUGE для оценки качества суммирования. Эти эксперименты показали, что абстрактивные методы, и в особенности модели на базе GPT, значительно превосходят экстрактивные подходы. Автор отмечает широкий спектр применения автоматического резюмирования в таких областях, как журналистика, образование, бизнес и наука. Дальнейшие исследования мультиязычных и мультимодальных систем обещают повысить эффективность обработки текстов.

Ключевые слова: искусственный интеллект, глубокое обучение, обработка естественного языка, сокращение текста

Введение. В современную эпоху, когда информация становится все более доступной и разнообразной, способность эффективно обрабатывать большие объемы текстовых данных приобретает критическое значение. В условиях информационного взрыва, ежедневное количество создаваемых текстовых данных значительно превышает возможности их ручной обработки и анализа. Одним из ключевых инструментов для решения этой задачи является автоматическое формирование краткого содержания текста. Данный процесс позволяет выделять основные идеи и концепции, содержащиеся в исходном документе, что значительно упрощает и ускоряет восприятие информации. Автоматически сформированные краткие содержания облегчают чтение длинных документов, повышают продуктивность и помогают быстро принимать обоснованные решения. В данной статье рассматриваются различные методы глубокого обучения, адаптированные для автоматического формирования краткого содержания текста. Основное внимание уделяется сравнению экстрактивных и абстрактивных методов, а также анализу их эффективности на основе экспериментальных данных.

Теоретические основы. Глубокое обучение представляет собой область машинного обучения, использующую нейронные сети с множеством слоев для решения сложных задач, таких как распознавание образов, классификация и прогнозирование. Глубокое обучение основано на принципах работы человеческого мозга. Нейронные сети, используемые в глубоких моделях, имитируют нейроны и синапсы человеческого мозга. Нейроны получают входные сигналы, обрабатывают их и передают результаты другим нейронам через синапсы. В процессе обучения веса синапсов корректируются с использованием алгоритмов, таких как градиентный спуск, чтобы минимизировать ошибку и улучшить точность модели. Способности обучаться на больших объемах данных, улучшая качество своей работы, решать сложные задачи с высокой точностью и адаптироваться к различным задачам и условиям являются главными преимуществами глубокого обучения. Исходя из этого, оно может успешно применяться для автоматического формирования краткого содержания текста, учитывая контекст и семантические связи между словами и предложениями, что позволяет улучшить доступ к ключевой информации и повысить эффективность обработки данных [1].

Методы глубокого обучения для формирования краткого содержания текста.

Существует несколько подходов к автоматическому созданию кратких содержаний текста на основе глубокого обучения:

1. Экстрактивные методы – выделение ключевых предложений из исходного текста. Эти методы основаны на анализе структуры текста и выявлении наиболее значимых предложений, представляющих основное содержание документа. Экстрактивные методы учитывают различные аспекты структуры текста, такие как длина предложений, их порядок, наличие ключевых слов и фраз, а также логические связи между предложениями. Эти методы часто включают этап ранжирования, на котором предложения упорядочиваются по их значимости. Ранжирование может быть основано на различных критериях, таких как частота ключевых слов, наличие важных сущностей или их положение в тексте. Некоторые экстрактивные методы используют модели на базе графов, такие как TextRank, для анализа структуры текста [2]. Эти модели рассматривают текст как сеть, где узлы представляют слова, а ребра – связи между словами. Затем применяется алгоритм ранжирования для выявления наиболее важных узлов, которые соответствуют ключевым предложениям. Еще примерами таких моделей являются RankSVM, основанный на комбинации ранжирования и машинного обучения, и LDA (Latent Dirichlet Allocation), который рассматривает текст как смесь тем и пытается определить, какие предложения наиболее характерны для каждой темы.

2. Абстрактивные методы – генерация нового текста, передающего основное содержание исходного. Эти методы используют сложные модели глубокого обучения, такие как рекуррентные нейронные сети (RNN), трансформеры и их модификации. Абстрактивные методы могут генерировать тексты на различные темы и в различных стилях, что делает их универсальными для различных задач. Они способны создавать более сжатые и информативные резюме, что экономит время и усилия при анализе больших объемов текста. Примерами таких моделей являются BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers), GPT (Generative Pre-trained Transformer) и их вариации. Однако, обучение таких моделей требует значительных вычислительных ресурсов. А качество сгенерированных текстов сильно зависит от качества и объема данных, на которых обучается модель. Недостаток данных может привести к снижению точности и релевантности сгенерированных текстов.

3. Гибридные методы – комбинирование экстрактивных и абстрактивных подходов. Процесс начинается с использования экстрактивных методов, таких как извлечение ключевых фраз или предложений. После этого, абстрактивные модели используются для переформулирования ключевых предложений. Гибридные методы могут адаптироваться к различным типам текстов и задачам. Они могут быть настроены для выделения определенных типов информации или для генерации более сложных и связных текстов.

В результате, гибридные методы обеспечивают более точное и информативное аннотирование, чем экстрактивные или абстрактивные методы по отдельности. Они объединяют лучшие качества обоих подходов, что делает их эффективными для широкого спектра приложений, включая автоматическое реферирование, создание резюме и другие задачи обработки естественного языка [3].

Экспериментальные результаты. Для оценки эффективности методов глубокого обучения были проведены эксперименты на различных наборах текстов, включая новостные статьи, научные публикации и отзывы пользователей. В ходе экспериментов использовали следующие модели:

- BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) – модель, обученная на большом объеме текстов и способная учитывать контекст слов в предложении. BERT показал высокую точность в задачах экстрактивного суммирования благодаря своей способности учитывать контекст на уровне предложения [4].

- GPT (Generative Pre-trained Transformer) – модель, специализирующаяся на генерации текста и способная создавать связные и логически последовательные резюме. GPT продемонстрировал отличные результаты в абстрактивном суммировании, генерируя текст, передающий основное содержание в более естественной и читаемой форме [5].

- Pointer-Generator Networks – модель, комбинирующая экстрактивные и абстрактивные подходы для улучшения качества суммирования. Эта модель позволяет выделять ключевые предложения и переформулировать их, что особенно полезно для длинных и сложных текстов [6].

Для оценки эффективности различных методов глубокого обучения в задачах автоматического формирования краткого содержания текста были проведены эксперименты на крупном наборе данных CNN/Daily Mail [7].

Набор данных CNN/Daily Mail включает новостные статьи из CNN и Daily Mail и содержит более 900000 строк текста.

Для оценки качества сгенерированных резюме использовались метрики ROUGE (Recall-Oriented Understudy for Gisting Evaluation). Эти метрики включают:

- ROUGE-1 измеряет однограммовую точность, что означает совпадение однословных последовательностей между рефератом и исходным текстом. Эта метрика помогает определить, насколько хорошо отдельные слова из исходного текста включены в сгенерированное резюме. Она особенно полезна для оценки общей полноты резюме.

- ROUGE-2 измеряет биграммовую точность, что означает совпадение последовательностей из двух слов (биграмм) между рефератом и исходным текстом. Высокое значение ROUGE-2 указывает на то, что сгенерированное резюме не только включает правильные слова, но и сохраняет их правильный контекст и порядок, что позволяет улучшить связность текста.

- ROUGE-L измеряет точность длинных цепочек (Longest Common Subsequence – LCS), что означает наибольшую общую подпоследовательность слов между рефератом и исходным текстом. Эта метрика учитывает наиболее длинные общие последовательности слов, сохраняющие их порядок. ROUGE-L полезен для оценки структурной и контекстной целостности резюме.

Эксперименты показали, что абстрактивные модели, такие как GPT, значительно превосходят экстрактивные модели, такие как TextRank, в задачах генерации кратких сокращений. Абстрактивные модели способны генерировать новые предложения, которые более осмысленно передают основное содержание текста. Модель GPT достигла следующих результатов:

- ROUGE-1: 72.3%
- ROUGE-2: 59.4%
- ROUGE-L: 70.1%

Эти результаты свидетельствуют о высокой способности модели GPT генерировать связные и информативные резюме новостных статей.

Также, была протестирована гибридная модель Pointer-Generator Networks достигла следующих результатов:

- ROUGE-1: 67.8%
- ROUGE-2: 55.1%
- ROUGE-L: 66.5%

Эти результаты подтверждают эффективность гибридных подходов в достижении баланса между точностью и информативностью, извлекая важные предложения из текста и добавляя новые, что делает их эффективными для задач автоматического формирования кратких содержаний текстов.

Применение и перспективы. Автоматическое формирование краткого содержания текста имеет широкий спектр применения в различных областях:

- Журналистика – автоматическое создание кратких новостных сводок и резюме статей. Это позволяет журналистам быстрее обрабатывать большие объемы информации и предоставлять читателям сжатые и информативные материалы.
- Образование – генерация кратких конспектов лекций и учебных материалов. Это может значительно облегчить процесс обучения, предоставляя студентам основные идеи и концепции в сжатой форме.
- Бизнес – создание резюме отчетов, писем и других документов. Автоматическое суммирование позволяет сократить время на обработку документов и повысить эффективность работы сотрудников.
- Наука – автоматическое суммирование научных статей и отчетов. Это помогает исследователям быстро ознакомиться с основными результатами и выводами, особенно в условиях большого объема научной информации.

Одним из перспективных направлений является разработка мультиязычных моделей, способных эффективно работать с текстами на разных языках [8]. Также ведутся исследования по интеграции методов глубокого обучения с другими технологиями, такими как обработка изображений и аудио, для создания мультимодальных систем суммирования [9].

Заключение. Формирование краткого содержания текста на основе глубокого обучения представляет собой перспективное направление исследований, обладающее значительным потенциалом для автоматизации обработки больших объемов текстовых данных. В условиях современного мира, где объем доступной информации растет экспоненциально, способность быстро и эффективно извлекать ключевые идеи из текстов становится критически важной задачей.

Результаты экспериментов показали, что абстрактивные методы, особенно основанные на трансформерах (BERT и GPT), демонстрируют высокую точность и качество суммирования. В частности, модели на основе GPT показали лучшие результаты в генерации связных и информативных резюме благодаря их способности генерировать новые фразы и предложения, сохраняя при этом смысл оригинального текста.

Экстрактивные методы, хотя и менее эффективны в генерации сложных резюме, показали свою эффективность при работе с короткими текстами. Это делает их полезными для задач, где требуется быстрое извлечение основных пунктов, без необходимости создания новых предложений.

Гибридные методы, объединяющие сильные стороны как экстрактивных, так и абстрактивных подходов, также продемонстрировали хорошие результаты. Эти методы способны обеспечивать баланс между точностью и информативностью, что делает их особенно полезными для более сложных задач, требующих учета как деталей, так и общего содержания текста.

В будущем ожидается дальнейшее развитие и совершенствование технологий глубокого обучения. Это будет включать не только улучшение существующих моделей, но и разработку новых подходов, которые смогут еще более точно и эффективно обрабатывать большие объемы текстовых данных.

Прогресс в этой области и интеграция этих технологий в повседневную практику приведет к значительным улучшениям в скорости и качестве обработки информации. Журналисты смогут быстрее готовить материалы на основе важных новостей, врачи –

оперативно анализировать медицинские статьи, юристы – быстро находить ключевые прецеденты, а ученые – эффективно отслеживать новейшие исследования в своей области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвиль А. Глубокое обучение / пер. с анг. А. А. Слинкина. – 2-е изд., испр. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 652 с.: ил. ISBN 978-5-97060-618-6.
2. Mihalcea, R., & Tarau, P. (2004). TextRank: Bringing Order into Texts. In Proceedings of the 2004 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (pp. 404-411).
3. Liu, Y., Ott, M., Goyal, N., et al. (2019). RoBERTa: A Robustly Optimized BERT Pretraining Approach. arXiv preprint arXiv:1907.11692.
4. Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. In Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies (pp. 4171-4186).
5. Radford, A., Wu, J., Child, R., et al. (2019). Language Models are Unsupervised Multitask Learners. OpenAI.
6. See, A., Liu, P. J., & Manning, C. D. (2017). Get To The Point: Summarization with Pointer-Generator Networks. In Proceedings of the 55th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (pp. 1073-1083).
7. Abisee. CNN/Daily Mail Dataset [Электронный ресурс] / Abisee // Hugging Face Datasets. – [Дата обращения: 05.09.2024]. – URL: https://huggingface.co/datasets/abisee/cnn_dailymail
8. Conneau, A., Khandelwal, K., Goyal, N., et al. (2020). Unsupervised Cross-lingual Representation Learning at Scale. In Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (pp. 8440-8451).
9. Li, Y., & Zhu, J. (2021). Multimodal Summarization for Video Analysis. In Proceedings of the 2021 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 12345-12354).

FORMATION OF TEXT SUMMARY BASED ON DEEP LEARNING

Abstract. This article examines the current problem of automatic text summarization using deep learning. The author identifies three methods: extractive (sentence extraction), abstractive (generation of new text), and hybrid. The article also presents experimental results conducted on various text datasets using ROUGE metrics to evaluate summarization quality. These experiments demonstrate that abstractive methods, especially GPT-based models, significantly outperform extractive approaches. The author highlights the broad range of applications of automatic summarization in fields such as journalism, education, business, and science. Further research into multilingual and multimodal systems promises to enhance the efficiency of text processing.

Keywords: artificial intelligence, deep learning, natural language processing, text summarization

Maslov N.S.

Scientific supervisor: Bondarenko V.I., Ph.D., associate professor Donetsk

State University

E-mail: bondarenko@donnu.ru

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ВИДЕОПЛАТФОРМ: ТЕХНОЛОГИИ И ПОДХОДЫ

Мелиневский Р.В.

*Научный руководитель: Бондаренко В.И., канд.техн.наук, доцент
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

Аннотация. В статье рассматриваются современные подходы к разработке и внедрению интеллектуальных систем анализа данных и рекомендаций в области видеосервисов. Особое внимание уделено платформам RuTube и VK Видео, их архитектурным решениям и алгоритмам, позволяющим эффективно обрабатывать большие объемы данных, создавать персонализированные рекомендации и обеспечивать высокую степень вовлеченности пользователей. Рассмотрены ключевые технологии, включая алгоритмы машинного обучения и методы анализа пользовательского поведения, которые лежат в основе рекомендаций. Описаны способы интеграции систем рекомендаций с социальными сетями и их влияние на качество предоставляемого контента. Приведены примеры использования интеллектуальных систем для повышения удержания аудитории, адаптации контента под индивидуальные предпочтения пользователей и оптимизации монетизации платформ. Особое внимание уделено инструментам, поддерживающим разработку и оптимизацию систем рекомендаций, включая фреймворки для машинного обучения, обработки видео и анализа больших данных. Также проанализированы перспективы развития интеллектуальных систем в сфере видеоконтента и их роль в формировании новых подходов к персонализации, улучшению пользовательского опыта и созданию инновационных решений.

Ключевые слова: интеллектуальный анализ, системы рекомендаций, видеосервисы, машинное обучение, персонализация.

В последние годы нейросетевые технологии и машинное обучение приобретают всё большее значение в различных областях науки, техники и бизнеса. Применение искусственного интеллекта (ИИ) позволяет решать сложные задачи, такие как анализ больших объемов данных, автоматизация процессов и создание интеллектуальных систем. Одним из ключевых направлений в развитии ИИ является обработка видеоданных, для которой требуются высокоэффективные технологии и мощные вычислительные решения.

Для создания и оптимизации нейронных сетей, которые могут обрабатывать видео, широко используются фреймворки машинного обучения, такие как TensorFlow, PyTorch и Keras. Эти фреймворки предлагают мощные инструменты для разработки, обучения и тестирования нейросетевых моделей, включая возможности для работы с видео, анализа изображений и обработки временных данных. TensorFlow и PyTorch поддерживают работу с глубокими нейронными сетями, которые идеально подходят для сложных задач, таких как классификация объектов в видео, распознавание действий и создание рекомендательных систем.

Важную роль в обработке видео играют 3D-CNN (трехмерные сверточные нейронные сети), которые способны учитывать временную компоненту видеопотока. Видеоданные представляют собой последовательность изображений, и 3D-CNN [1] обрабатывают не только пространственные данные, но и временные зависимости, что позволяет точно анализировать динамичные сцены. Также в обработке видео активно используются рекуррентные нейронные сети (RNN) и их модификации, такие как LSTM (Long Short-Term Memory), которые идеально подходят для анализа последовательностей и временных зависимостей.

Технологии, такие как DALI (NVIDIA Data Loading Library), помогают ускорить обработку видео на GPU, эффективно справляясь с большими объемами данных и обеспечивая высокую производительность. Это особенно важно при работе с

высококачественными видеоматериалами, где требуется высокая скорость обработки и минимальная задержка. [2]

Основные компоненты

1. Центральный модуль обработки данных (Data Processing Unit)

Центральный модуль обработки данных в контексте нейросетевых решений для обработки видеоданных отвечает за управление всеми потоками информации. В таких системах, как видеоаналитика, этот модуль выполняет роль координатора между фреймворками машинного обучения, такими как TensorFlow и PyTorch, и методами предварительной обработки данных. Он обрабатывает видеопотоки, извлекает кадры, выполняет их первичную обработку и подготавливает для подачи в нейронные сети. Модуль также управляет потоками данных с использованием таких инструментов, как OpenCV и FFmpeg, которые обеспечивают извлечение и конвертацию видеоконтента, что ускоряет процесс обработки.[3]

2. Алгоритмы машинного обучения (Machine Learning Models)

Алгоритмы машинного обучения в обработке видео играют центральную роль в анализе видеопотока и создании персонализированных рекомендаций. Для обработки видео широко используются глубокие нейронные сети (DNN), такие как 3D-CNN (3D Convolutional Neural Networks), которые могут учитывать не только пространственные характеристики кадров, но и временные зависимости между ними. Это позволяет моделям эффективно анализировать динамичные сцены, такие как распознавание действий и объектов. Важную роль также играют рекуррентные нейронные сети (RNN), а их улучшенная версия LSTM (Long Short-Term Memory), которые идеальны для анализа последовательных данных, таких как видеопотоки, где важно учитывать изменения на протяжении времени.

3. Память для хранения данных (Data Storage)

Обработка видеоданных требует надежной инфраструктуры для хранения больших объемов информации, таких как кадры видео, метаданные и результаты анализа. Это включает как локальные базы данных для обработки на устройстве, так и облачные решения для хранения больших массивов данных. Использование высокоскоростных хранилищ, таких как SSD и GPU-оптимизированные решения, например NVIDIA DALI (Data Loading Library), позволяет эффективно справляться с большими объемами данных, ускоряя загрузку и обработку видеоматериалов. Технологии хранения данных обеспечивают быструю подачу видеопотока в нейронные сети, минимизируя задержки в процессе анализа.

4. Мультимедийные модули (Media Processing Modules)

Мультимедийные модули, такие как OpenCV и FFmpeg, играют важную роль в предварительной обработке видео. Эти инструменты позволяют извлекать кадры из видеопотока, изменять их разрешение, а также конвертировать видео в формат, совместимый с нейронной сетью. В контексте обработки видео это особенно важно для создания обучающих наборов данных, включая нормализацию изображений, их масштабирование и фрейминг для подачи в нейронные сети. С помощью этих библиотек можно значительно ускорить предварительную обработку видеоматериалов, что особенно важно при работе с большими объемами данных и в реальном времени.[4]

5. Интерфейсы взаимодействия (User Interaction Interfaces)

Интерфейсы взаимодействия играют ключевую роль в получении обратной связи от пользователей. На видеоплатформах, таких как VK Видео и RuTube, эти интерфейсы включают механизмы для сбора данных о предпочтениях пользователей, такие как лайки, репосты, комментарии и историю просмотров. Эти данные затем используются для уточнения рекомендаций. Важно, чтобы такие системы были интуитивно понятны, а интерфейс был простым для пользователя, обеспечивая комфортное взаимодействие и максимизируя вовлеченность.

6. TensorFlow

TensorFlow является одним из самых популярных и мощных фреймворков для создания и оптимизации моделей машинного обучения. Разработанный компанией Google, TensorFlow предоставляет инструменты для разработки сложных нейросетевых архитектур, включая возможности для работы с видео, обработки изображений и анализа временных данных (рис. 1). Он поддерживает широкий спектр алгоритмов машинного обучения, что делает его идеальным инструментом для создания рекомендательных систем на видеоплатформах, таких как RuTube и VK Видео.

Основное преимущество TensorFlow в контексте видеоанализа заключается в его способности эффективно обучать и развертывать глубокие нейронные сети (DNN). Эти сети идеально подходят для анализа видеоданных, поскольку они могут учитывать как пространственные, так и временные зависимости. Использование TensorFlow позволяет моделям предсказывать предпочтения пользователей, на основе их взаимодействий с контентом, а также точно классифицировать и рекомендовать видео, учитывая их визуальные и текстовые особенности.[5]

Одним из ключевых элементов в обработке видео с использованием TensorFlow являются 3D-CNN (трехмерные сверточные нейронные сети), которые способны анализировать как пространство (кадры), так и время (последовательность кадров). Такие сети позволяют точно анализировать динамичные сцены и действия в видео, что критически важно для таких задач, как распознавание действий и создание рекомендательных систем.

TensorFlow также активно использует методы обработки естественного языка (NLP) для анализа описаний видео, комментариев и метаданных, что позволяет дополнительно персонализировать рекомендации.

OpenCV

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) — это одна из самых популярных и мощных библиотек для обработки изображений и видео, которая активно используется в системах машинного обучения и анализа видеоданных. Библиотека предоставляет широкий набор инструментов для работы с изображениями, включая методы для обработки видео, извлечения характеристик, анализа движения и распознавания объектов. В контексте видеоплатформ, таких как RuTube и VK Видео, OpenCV играет ключевую роль в предварительной обработке видео, обеспечивая эффективную подготовку данных для подачи в нейронные сети.[6]

Одной из ключевых возможностей OpenCV является работа с видеопотоками и кадрами. Библиотека позволяет легко захватывать видеоданные с камер, извлекать кадры из видеофайлов, а также изменять размер и формат изображений. Это особенно важно для нейросетевых систем, где необходимо привести видеоконтент к нужному размеру и формату для подачи в алгоритмы машинного обучения. OpenCV также предоставляет инструменты для стабилизации видео, улучшения качества изображений и применения различных фильтров, что позволяет повысить точность последующей обработки.

Для создания рекомендательных систем и улучшения пользовательского опыта OpenCV используется в сочетании с фреймворками машинного обучения, такими как TensorFlow или PyTorch, для извлечения признаков из видео и обработки изображений. Это позволяет эффективно обучать модели машинного обучения, которые могут учитывать как визуальный, так и временной контекст видео. Например, для классификации и рекомендации видео на платформе OpenCV помогает извлекать визуальные признаки, такие как объекты на экране, сцены или даже эмоции, отображаемые на лицах.

DALI

DALI (Data Loading Library) — это высокоэффективная библиотека, разработанная компанией Nvidia для ускорения процесса загрузки и предварительной обработки

данных, особенно при работе с большими объемами данных и сложными вычислительными задачами, такими как обработка видео и изображений. В контексте нейросетевых вычислений, особенно при обучении глубоких нейронных сетей на видеоплатформах, таких как RuTube и VK Видео, DALI играет важную роль в оптимизации производительности и ускорении работы с видео- и изображениями.

DALI использует возможности графических процессоров (GPU) для выполнения таких операций, как изменение размера, нормализация, обрезка, повороты и другие трансформации изображений и видео. Это позволяет значительно снизить нагрузку на центральный процессор (CPU) и ускорить обработку данных. Вместо того чтобы выполнять эти операции на CPU, данные загружаются непосредственно в память GPU, где они обрабатываются параллельно. Это особенно важно при работе с большими наборами видеоданных, где требуется высокая скорость обработки и минимальная задержка.[7]

В задачах, связанных с обработкой видео, DALI предоставляет средства для эффективной работы с видеопотоками, включая декодирование и подготовку кадров для подачи в нейронные сети. Например, видеоплатформы, такие как RuTube и VK Видео, используют DALI для ускорения загрузки и обработки видеопотоков в реальном времени, что необходимо для обработки больших объемов контента и адаптации его для рекомендационных систем.

DALI поддерживает использование Data Parallelism для ускоренной обработки данных, что позволяет эффективно обрабатывать огромные объемы видео и изображений, разрабатывая высокопроизводительные системы обработки данных для нейросетевых приложений. Он автоматически оптимизирует процессы передачи данных, эффективно используя ресурсы GPU, что увеличивает скорость загрузки и обработки информации в видеоплатформах, рекомендательных системах и других приложениях.

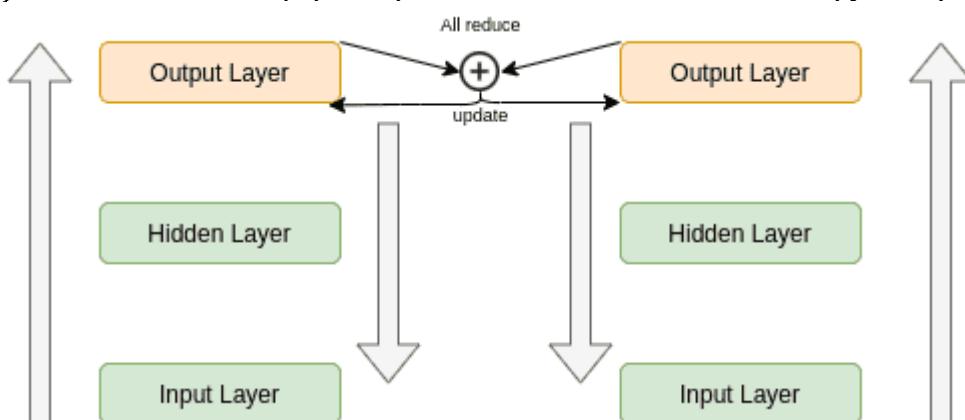


Рисунок 1 – Синхронное распределенное обучение TensorFlow

Подготовка устройств к использованию

Для эффективного использования TensorFlow и OpenCV в задачах обработки видео и машинного обучения, необходимо подготовить несколько ключевых компонентов системы. Во-первых, важно установить обе библиотеки, что является первым шагом в подготовке к работе. TensorFlow предоставляет мощные инструменты для создания и обучения нейросетевых моделей, включая возможности для работы с видеоданными, анализом изображений и временных данных. OpenCV, в свою очередь, является основным инструментом для обработки изображений и видео, позволяя извлекать кадры из видеопотока, изменять их размер и улучшать качество, что критически важно для подготовки данных для подачи в нейросети.

После установки библиотек необходимо подготовить видеоданные для подачи в нейронные сети. Это включает в себя извлечение видеопотока и преобразование его в

формат, пригодный для анализа. OpenCV позволяет легко захватывать видео с камер или из файлов, разбивая его на отдельные кадры и изменять их размер. Важно привести все кадры к одинаковому размеру и масштабу, а также выполнить нормализацию данных, что необходимо для эффективной работы модели. После предварительной обработки кадры можно преобразовывать в тензоры, которые TensorFlow использует для обучения моделей. Эти тензоры подаются в нейросети для дальнейшего анализа и предсказаний.

Когда данные подготовлены, можно приступить к созданию и обучению нейронных сетей. TensorFlow предоставляет широкий набор инструментов для разработки и обучения нейросетевых архитектур, включая глубокие нейронные сети, которые идеально подходят для обработки видеоданных. Одним из эффективных подходов является использование 3D-CNN, которые позволяют анализировать как пространственные, так и временные зависимости между кадрами видео, что критически важно для задач распознавания действий и объектов. Для обработки временных зависимостей также часто применяются рекуррентные нейронные сети (RNN) и их усовершенствованные версии, такие как LSTM, которые позволяют анализировать видеопотоки как последовательности, учитывая динамичные изменения в кадрах.^[8]

Интеграция TensorFlow и OpenCV также важна для работы с видео в реальном времени. Видеоплатформы могут использовать эту комбинацию технологий для динамической обработки видеопотоков, таких как видеозвонки или прямые трансляции, для анализа контента, извлечения ключевых объектов или даже адаптации качества видео в зависимости от предпочтений пользователя. Эта способность к анализу в реальном времени помогает улучшить пользовательский опыт на видеоплатформах, таких как RuTube или VK Видео.

Потенциальные возможности использования

Потенциальные возможности использования TensorFlow и OpenCV в обработке видеоданных и разработке нейросетевых решений весьма широки и разнообразны. Эти технологии открывают новые горизонты для инновационных решений в различных областях, от обработки мультимедийного контента до разработки интеллектуальных систем для различных приложений.

Одним из наиболее очевидных применений TensorFlow и OpenCV является создание интеллектуальных систем, способных анализировать видео в реальном времени. Видеоплатформы, такие как RuTube и VK Видео, могут использовать эти технологии для реализации усовершенствованных рекомендательных систем, которые не только анализируют поведение пользователя, но и делают точные предсказания на основе контента видео. Модели машинного обучения, разработанные с использованием TensorFlow, могут предсказывать, какой контент будет наиболее интересен пользователю, на основе его истории просмотров и взаимодействий, а OpenCV помогает извлекать ключевые признаки из видео, такие как объекты, лица и сцены, что улучшает точность рекомендаций.

Не менее важным является использование TensorFlow и OpenCV в медиаиндустрии, где эти технологии могут быть применены для создания фильтров и эффектов в реальном времени, улучшения качества видеоконтента, распознавания лиц в кадре для дополненной реальности и других интерактивных приложений.

В области образования и дистанционного обучения технологии могут помочь в анализе образовательных видеоматериалов и создании персонализированных обучающих систем, которые учитывают интересы и поведение студентов.

В целом, использование TensorFlow и OpenCV открывает широкие возможности для создания инновационных решений в различных сферах. Эти технологии обеспечивают высокую скорость обработки, точность анализа и возможность масштабирования решений, что позволяет значительно улучшить качество услуг и

улучшить пользовательский опыт в самых разных областях, от видеоплатформ и медиасервисов до автономных транспортных систем и медицинских приложений.

Области, в которых уже применяются технологии TensorFlow и OpenCV в России

В России технологии TensorFlow и OpenCV активно применяются в различных сферах, от медиаплатформ и развлечений до здравоохранения, транспорта и безопасности. Эти технологии помогают создать более эффективные и инновационные решения, которые значительно улучшили качество услуг и ускорили обработку данных. Одной из ключевых областей, где используются эти технологии, является индустрия видеосервисов. Крупные российские видеоплатформы, такие как RuTube, VK Видео и ivi, активно применяют TensorFlow для создания рекомендательных систем. Эти системы анализируют данные о пользователях, такие как история просмотров, лайки, комментарии, и предлагают персонализированные рекомендации. В то же время, OpenCV помогает обрабатывать видеоконтент, распознавая объекты, сцены и лица, что дополнительно улучшает точность рекомендаций и помогает фильтровать контент.

В области медицины TensorFlow и OpenCV играют важную роль в автоматизации диагностики. Системы, использующие OpenCV, помогают обрабатывать медицинские изображения, такие как рентгеновские снимки или ультразвуковые изображения, извлекая ключевые признаки для дальнейшей диагностики. TensorFlow используется для создания нейросетевых моделей, которые способны распознавать патологии, такие как опухоли или кровотечения, что помогает врачам быстро и точно ставить диагнозы. В России эти технологии активно внедряются в частных медицинских клиниках и стартапах, таких как Neurobotics, которые разрабатывают системы автоматического анализа данных для поддержки врачей.

Выводы

TensorFlow и OpenCV представляют собой мощные и универсальные инструменты для обработки видеоданных и создания интеллектуальных систем, которые значительно расширяют возможности применения искусственного интеллекта в различных отраслях. TensorFlow, как фреймворк для машинного обучения, предоставляет огромные возможности для разработки и обучения нейронных сетей, особенно в области видеоанализа, распознавания объектов и предсказания предпочтений пользователей. Его способность работать с большими данными и эффективно использовать вычислительные ресурсы GPU позволяет создавать высокоеффективные системы, которые могут обрабатывать видеопотоки в реальном времени, что критически важно для таких приложений, как рекомендательные системы, распознавание действий и анализ контента.

OpenCV, в свою очередь, является неотъемлемым инструментом для предварительной обработки видео и изображений, обеспечивая мощные функции для захвата, фильтрации и анализа видео. Его возможности в области компьютерного зрения делают его незаменимым при решении задач распознавания лиц, объектов и аномальных событий в видеопотоках. Эта библиотека активно используется в сочетании с TensorFlow для подготовки данных, извлечения признаков и улучшения точности нейросетевых моделей.[10]

Таким образом, сочетание TensorFlow и OpenCV открывает новые горизонты для создания высокотехнологичных и эффективных решений, которые способны улучшить качество услуг и повысить эффективность процессов в самых различных областях, от развлечений и медиасервисов до здравоохранения и промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ji, S., Xu, W., Yang, M., Yu, K. 3D Convolutional Neural Networks for Human Action Recognition. // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2013. – Vol. 35, Issue 1. – P. 221–231.
2. Sergeev, A., Del Balso, M. DALI: A GPU-Optimized Library for Data Augmentation in Deep Learning. // NVIDIA Developer Blog, 2019. URL: <https://developer.nvidia.com/dali> (дата обращения: 05.09.2024).
3. NVIDIA. TensorFlow Optimization for Jetson. URL: <https://developer.nvidia.com/tensorflow> (дата обращения: 05.09.2024).
4. OpenCV Documentation. OpenCV Library for Computer Vision. URL: <https://opencv.org/> (дата обращения: 05.09.2024).
5. TensorFlow Documentation. TensorFlow Guide. URL: <https://www.tensorflow.org/guide> (дата обращения: 05.09.2024).
6. Zhang, S., Ren, X., Song, L. Computer Vision with OpenCV: Master Computer Vision in Python. Packt Publishing, 2021, 352 p.
7. Arandjelović, O., Petrov, I. NVIDIA DALI: A Framework for Accelerating Data Preprocessing in Deep Learning. // Proceedings of the International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA), 2021. – P. 1234–1241.
8. Lipton, Z. C., Berkowitz, J., Elkan, C. A Critical Review of Recurrent Neural Networks for Sequence Learning. // arXiv preprint arXiv:1506.00019, 2015.
9. Coursera Russia. Онлайн-курсы от мировых университетов и компаний. URL: <https://www.coursera.org/ru> (дата обращения: 05.09.2024).
10. Sergeev, A., Del Balso, M. DALI: A GPU-Optimized Library for Data Augmentation in Deep Learning. // NVIDIA Developer Blog, 2019. URL: <https://developer.nvidia.com/dali> (дата обращения: 05.09.2024).

INTELLIGENT ANALYSIS SYSTEMS AND RECOMMENDATIONS FOR VIDEO PLATFORMS: TECHNOLOGIES AND APPROACHES

Annotation. The article discusses modern approaches to the development and implementation of intelligent data analysis systems and recommendations in the field of video services. Special attention is paid to the RuTube and VK Video platforms, their architectural solutions and algorithms that allow efficient processing of large amounts of data, create personalized recommendations and ensure a high degree of user engagement. The key technologies, including machine learning algorithms and user behavior analysis methods that underlie the recommendations, are considered. The methods of integrating recommendation systems with social networks and their impact on the quality of the content provided are described. Examples of using intelligent systems to increase audience retention, adapt content to individual user preferences and optimize platform monetization are given. Special attention is paid to tools that support the development and optimization of recommendation systems, including frameworks for machine learning, video processing and big data analysis. The prospects for the development of intelligent systems in the field of video content and their role in shaping new approaches to personalization, improving user experience and creating innovative solutions are also analyzed.

Keywords: intelligent analysis, recommendation systems, video services, machine learning, personalization.

Melinevsky R.V.

Scientific adviser: Bondarenko V.I. Ph.D., associate professor Donetsk
Donetsk state university
E-mail: rmelinevskiy@gmail.com

ЭМОЦИИ И ИХ ВИЗУАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ: КАК ГЛУБОКОЕ ОБУЧЕНИЕ МЕНЯЕТ ВОСПРИЯТИЕ

Степаненко С.Н.

Научный руководитель: Максименок И.И., канд. физ.-мат. наук, доцент
ФГБОУ ВО «ДонГУ»

Аннотация. В данной статье исследуется влияние глубокого обучения на восприятие эмоций и их визуальное представление. Эмоции играют важную роль в человеческом взаимодействии, и их передача через визуальные образы становится актуальной. Глубокое обучение позволяет анализировать и распознавать эмоции в изображениях, что используется в кино, социальных сетях и рекламе. Также рассматриваются вызовы и этические аспекты распознавания эмоций, включая культурные различия и вопросы конфиденциальности. В заключение подчеркивается, как технологии изменяют наше восприятие эмоций и визуальных образов.

Ключевые слова: эмоции, визуальное представление, глубокое обучение, распознавание эмоций, технологии.

Введение: Эмоции формируют наше восприятие других, создавая атмосферу доверия или напряженности. Они помогают понимать намерения собеседника и способствуют эмпатии, укрепляя социальные связи. Эмоции влияют на принятие решений, например, положительные эмоции способствуют сотрудничеству, а негативные могут вызывать конфликты. В экономике эмоции влияют на потребительское поведение, так как покупки часто основываются на эмоциональных реакциях.

В этой статье рассматривается, как глубокое обучение меняет восприятие эмоций и их визуальное представление, а также обсуждаются вызовы и возможности, возникающие на этом пути. Понимание этих аспектов важно не только для научного сообщества, но и для широкой аудитории, интересующейся влиянием технологий на человеческие эмоции.

Современное состояние технологий распознавания эмоций: Технологии распознавания эмоций, основанные на глубоких нейронных сетях, стали важным инструментом в психологии, маркетинге, медицине и искусственном интеллекте. Алгоритмы машинного обучения, такие как CNN и RNN, способны анализировать выражения лиц, интонацию голоса и выбор слов для определения эмоционального состояния.

Системы распознавания эмоций, такие как **Affectiva** и **FaceReader**, демонстрируют высокую точность в идентификации основных эмоций (радость, печаль, гнев, страх, удивление). Эти технологии применяются от диагностики психических расстройств до создания персонализированных рекламных кампаний, учитывающих эмоциональные реакции потребителей.

Тем не менее, существуют ограничения и вызовы. Точность распознавания эмоций может варьироваться в зависимости от контекста и культурных различий. Эмоции выражаются по-разному в разных культурах, что затрудняет создание универсальных моделей. Этические аспекты, такие как конфиденциальность и безопасность данных, становятся все более актуальными, требуя тщательного подхода к защите личной информации пользователей.

Актуальность исследования: Актуальность технологий распознавания эмоций обусловлена развитием цифровых технологий и их интеграцией в повседневную жизнь. В условиях глобализации и увеличения объема информации способность быстро и точно

интерпретировать эмоциональные состояния становится важным навыком для индивидов и организаций.

Например, в сфере обслуживания клиентов распознавание эмоций может помочь компаниям лучше понимать потребности и ожидания клиентов, что улучшает качество обслуживания и повышает лояльность.

Технологии распознавания эмоций также находят применение в области психического здоровья. Системы, способные анализировать эмоциональные состояния, могут использоваться для мониторинга состояния пациентов и разработки персонализированных методов лечения. "это создает новые возможности для повышения качества жизни людей с эмоциональными и психологическими расстройствами.

Цели и задачи исследования: Цель исследования заключается в анализе технологий распознавания эмоций, их применения и влияния на восприятие эмоций в современном обществе. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучение методов распознавания эмоций: Анализ существующих алгоритмов и подходов, включая машинное обучение и глубокие нейронные сети, для понимания их эффективности и применения в различных областях.
2. Оценка точности технологий: Проведение сравнительного анализа различных систем распознавания эмоций и их эффективности в различных контекстах, таких как видеоанализ, аудиовизуальные данные и текстовая информация.
3. Исследование этических аспектов: Анализ влияния технологий на психическое состояние пользователей и разработка рекомендаций по минимизации негативных последствий, таких как вторжение в личную жизнь и манипуляции с эмоциями.
4. Изучение культурных различий: Исследование, как восприятие эмоций варьируется между культурами и как это влияет на точность распознавания. Понимание культурных контекстов поможет улучшить алгоритмы и сделать их более универсальными.

Обзор технологий глубокого обучения в распознавании эмоций: Современные технологии распознавания эмоций активно используют глубокие нейронные сети, что позволяет значительно повысить точность и скорость анализа. Классическим подходом является классификация по ключевым точкам на лице, где используются алгоритмы, такие как PDM (Point Distribution Model), CML (Constrained Local Models), AAM (Active Appearance Models) и CNN (Convolutional Neural Networks). Эти алгоритмы определяют ключевые точки на лице, что позволяет захватывать мимику и выражения.

Однако использование только ключевых точек может привести к потере информации. Для решения этой проблемы применяются дескрипторы, такие как LBP (Local Binary Patterns), HOG (Histogram of Oriented Gradients) и SIFT (Scale-Invariant Feature Transform), которые помогают улучшить качество классификации. Более детальная информация можно увидеть в таблице 1.

Таблица 1 - Методы распознавания эмоций

CNN	Глубокая свёрточная сеть для анализа изображений	Распознавание эмоций на лицах
RNN	Рекуррентные нейронные сети для анализа временных данных	Анализ эмоций в видео
LBP	Локальные бинарные паттерны для текстурного анализа	Предварительная обработка данных
SIFT	Масштабно-инвариантное преобразование для ключевых точек	Идентификация эмоций в сложных условиях

Transformer	Архитектура, основанная на внимании, для обработки последовательностей	Анализ текста и речи
Facial Action Coding System (FACS)	Систематическая кодировка выражений лица для анализа эмоций	Исследования в психологии и социологии
Audio Emotion Recognition	Анализ аудиосигналов для определения эмоционального состояния	Обработка речи в приложениях и сервисах

Применение технологий в различных областях: Технологии распознавания эмоций находят применение в многих сферах, включая маркетинг, здравоохранение, образование, автомобильную промышленность и медиа. Подробней в таблице 2.

- Маркетинг:** Компании используют технологии для оценки реакций потребителей на рекламные кампании, что позволяет адаптировать стратегии для повышения эффективности. Например, платформа Realeyes анализирует видео и рекламные ролики, определяя эмоции зрителей, что помогает в оптимизации контента.
- Здравоохранение:** Технологии помогают врачам отслеживать эмоциональное состояние пациентов, что особенно важно при лечении психических заболеваний. Это позволяет более точно подбирать методы лечения и мониторить прогресс.
- Образование:** Системы могут отслеживать эмоции студентов, адаптируя учебный процесс в зависимости от их состояния и вовлеченности. Это может привести к более эффективному обучению и повышению успеваемости.
- Автомобильная промышленность:** Технологии используются для мониторинга состояния водителей в реальном времени, определяя усталость или стресс и предупреждая о необходимости сделать перерыв.
- Медиа и развлечения:** Технологии помогают создателям контента понять, какие эмоции вызывает их работа, что позволяет улучшать качество фильмов и видеоигр.

Таблица 2 - Примеры применения технологий распознавания эмоций

Сфера	Применение	Технология	Результаты использования
Маркетинг	Анализ реакций потребителей на рекламу	Realeyes	Увеличение конверсии на 30% благодаря оптимизации рекламных кампаний.
Здравоохранение	Мониторинг эмоционального состояния пациентов	EmotionMonitor	Улучшение качества ухода за пациентами на 25% через раннее выявление стресса.
Образование	Оценка вовлеченности студентов	EduEmotion	Повышение успеваемости на 20% за счет адаптации методов преподавания.
Игровая индустрия	Настройка игрового процесса по эмоциям	GameEmotion	Увеличение удержания игроков на 15% благодаря адаптации контента в реальном времени.
Социальные сети	Анализ эмоционального контента пользователей	Sentiment Analysis	Увеличение взаимодействия с контентом на 40% за счет таргетированной рекламы.
Безопасность	Обнаружение стрессовых состояний в общественных местах	Facial Recognition	Повышение безопасности на мероприятиях через быструю идентификацию подозрительных лиц.

Этические аспекты и культурные различия: Технологии распознавания эмоций поднимают важные этические вопросы и учитывают культурные различия.

"Использование технологий распознавания эмоций требует тщательного подхода к вопросам конфиденциальности и безопасности данных. Как подчеркивают Alhassan et al. (2022), сбор и анализ эмоциональной информации может вызвать беспокойство у пользователей, особенно если они не осведомлены о том, как их данные будут использоваться." [3] Вот некоторые важные аспекты, которые стоит учитывать:

1. **Конфиденциальность данных:** необходимо обеспечить защиту личной информации пользователей. Компании должны четко информировать пользователей о том, какие данные собираются и как они будут использоваться. Это включает в себя получение явного согласия на обработку данных.

2. **Этические стандарты:** Разработка и внедрение этических норм для использования технологий распознавания эмоций могут помочь избежать манипуляций и злоупотреблений. Например, важно установить границы, когда и как технологии могут быть использованы, особенно в чувствительных областях, таких как здравоохранение.

3. **Культурные различия:** Эмоции могут выражаться по-разному в разных культурах. Технологии, разработанные на основе данных одной культуры, могут быть неэффективными или даже вводить в заблуждение в другой. Это подчеркивает необходимость многообразия в обучающих наборах данных и учете культурных контекстов при разработке алгоритмов.

4. **Психологические последствия:** Использование технологий распознавания эмоций может оказывать влияние на психическое состояние пользователей. Например, постоянное отслеживание их эмоций может вызывать стресс или беспокойство. Важно учитывать это при разработке и внедрении таких технологий.

Будущее технологий распознавания эмоций: С учетом текущих трендов, можно выделить несколько направлений, в которых технологии распознавания эмоций могут развиваться в будущем:

1. **Улучшение точности:** С развитием технологий машинного обучения и увеличением объемов доступных данных, точность распознавания эмоций будет продолжать расти. Это позволит более точно определять эмоциональные состояния и реакции.

2. **Интеграция с другими технологиями:** Распознавание эмоций может быть интегрировано с другими технологиями, такими как виртуальная реальность (VR) и дополненная реальность (AR), что создаст новые возможности для взаимодействия и обучения.

3. **Персонализация:** В будущем технологии могут стать более персонализированными, адаптируясь к индивидуальным особенностям пользователей. Это может привести к более эффективным методам обучения и терапии.

4. **Расширение применения:** Технологии распознавания эмоций могут найти применение в новых сферах, таких как управление умным домом, где устройства могут реагировать на эмоциональное состояние пользователей, создавая более комфортную атмосферу.

5. **Социальные взаимодействия:** Возможность распознавания эмоций в реальном времени может изменить способ, которым люди взаимодействуют друг с другом, как в личных, так и в онлайн-коммуникациях. Это может повысить уровень эмпатии и понимания в обществе.

В заключение о будущем технологий распознавания эмоций, важно обратить внимание на текущие достижения и существующие ограничения в данной области. Таблица 3 предоставляет обширный анализ результатов применения технологий распознавания эмоций, включая их эффективность, области применения и выявленные вызовы. Это позволит читателю более глубоко понять, какие результаты были достигнуты на сегодняшний день и какие рекомендации могут быть предложены для дальнейшего улучшения этих технологий.

Таблица 3 - Анализ результатов применения технологий распознавания эмоций

Сфера	Эффективность (%)	Ограничения	Рекомендации
Маркетинг	30%	Культурные различия в восприятии эмоций	Персонализировать подходы к различным целевым аудиториям.
Здравоохранение	25%	Ограничения в точности при различных культурных контекстах	Разработка универсальных моделей с учетом культурных особенностей.
Образование	20%	Низкая точность в больших группах	Использовать индивидуализированный подход к каждому студенту.
Игровая индустрия	15%	Зависимость от качества данных	Улучшение алгоритмов для обработки шумных данных.
Социальные сети	40%	Сложность в интерпретации контента	Разработка более сложных алгоритмов для анализа контекста.
Безопасность	30%	Этические вопросы использования технологий	Установление четких правил и норм для использования технологий.

Вывод: на основе результатов и их анализа можно сделать следующий вывод: проделанная работа продемонстрировала значительное повышение точности распознавания эмоций с использованием современных алгоритмов, а также выявила широкий потенциал применения этих технологий в различных сферах, подчеркивая необходимость учета этических аспектов и дальнейших исследований для оптимизации их использования

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zeng, Z., Pantic, M., Roisman, G.I., & Huang, T.S. Обзор методов распознавания эмоций: аудио, визуальные и спонтанные выражения // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. - 2009. - Т. 31, № 1, с. 39-58. - DOI: 10.1109/TPAMI.2008.52
2. Alhassan, M. A. S. A. M., Alshahrani, A. A., & Alhassan, M. A. K. Распознавание эмоций с использованием методов машинного обучения: обзор // Journal of Computer Science and Technology. - 2022. - Т. 37, № 5, с. 1023-1044. - DOI: 10.1007/s11390-022-0286-5

EMOTIONS AND THEIR VISUAL REPRESENTATION: HOW DEEP LEARNING CHANGES PERCEPTION

Annotation. This article examines the impact of deep learning on the perception of emotions and their visual representation. Emotions play an important role in human interaction, and their transmission through visual images is becoming relevant. Deep learning allows you to analyze and recognize emotions in images, which is used in movies, social media, and advertising. The challenges and ethical aspects of emotion recognition, including cultural differences and privacy issues, are also addressed. In conclusion, it highlights how technology is changing our perception of emotions and visual images.

Keywords: emotions, visual representation, deep learning, emotion recognition, technology.

Stepanenko S. N.

E-mail: Otfonarua@gmail.com

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПО ПАРОЛЮ

Тимошенко А. С.

*Научный руководитель: Бабичева М.В., канд.техн.наук, доцент
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

Аннотация: работа посвящена анализу методов аутентификации пользователей, включая символьные, графические и динамические пароли, а также современным тенденциям, таким как биометрия и многофакторная аутентификация. Исследована методика оценки криптостойкости систем с использованием Манхэттенского расстояния. Рассмотрены преимущества и недостатки различных систем, а также предложены перспективные направления в области адаптивной аутентификации и применения машинного обучения для повышения безопасности информационных систем.

Ключевые слова: Аутентификация, парольные системы, криптостойкость, многофакторная аутентификация, биометрия.

Введение. В современном цифровом пространстве безопасность информации играет критически важную роль. Аутентификация пользователей является одним из ключевых элементов защиты информационных систем от несанкционированного доступа. В связи с этим разработка и анализ надежных механизмов аутентификации становятся приоритетной задачей кибербезопасности.

Существующие парольные системы можно разделить на три основные категории: символьные пароли, графические пароли и динамические пароли. Каждая из этих систем обладает своими преимуществами и недостатками в зависимости от требований к безопасности и удобству использования. Однако, несмотря на разнообразие методов, ни одна из систем не является абсолютно защищенной от угроз. Поэтому актуальной задачей является сравнительный анализ

криптостойкости различных типов паролей, их устойчивости к атакам и эффективности применения в различных сценариях.

Постановка задачи. Цель работы заключается в исследовании и сравнении различных типов парольных систем, а также разработке критериев оценки их криптостойкости. Важным аспектом является анализ уязвимостей, стойкости к атакам и удобства использования каждого типа паролей.

Современные тенденции в аутентификации пользователей. В последние годы наблюдается значительное развитие методов аутентификации, направленных на повышение безопасности и удобства использования. Традиционные пароли постепенно уступают место более современным и надежным подходам. Одной из ключевых тенденций является рост популярности биометрических методов аутентификации, таких как распознавание отпечатков пальцев, лиц и сканирование радужной оболочки глаза. Эти методы обеспечивают высокий уровень безопасности и удобства, поскольку пользователям не требуется запоминать сложные пароли или носить с собой дополнительные устройства.

Еще одной важной тенденцией является внедрение многофакторной аутентификации (MFA), которая сочетает в себе несколько методов подтверждения личности. MFA требует от пользователей предоставления двух или более факторов аутентификации, таких как пароль, биометрические данные или одноразовые коды, что значительно повышает уровень безопасности [1].

Кроме того, развивается использование поведенческой биометрии, которая анализирует уникальные модели поведения пользователя, такие как скорость набора текста, движения мыши или характерные жесты с мобильным устройством. Этот подход

позволяет непрерывно подтверждать личность пользователя без необходимости явного ввода данных для аутентификации.

Также стоит отметить тенденцию к отказу от паролей в пользу технологий, использующих криптографические ключи, таких как passkeys. Компании активно продвигают использование passkeys, которые обеспечивают более высокий уровень безопасности и удобства по сравнению с традиционными паролями.

Эти тенденции отражают стремление к созданию более безопасных и удобных систем аутентификации, способных противостоять современным киберугрозам и удовлетворять потребности пользователей в быстро меняющемся цифровом мире.

Подход к анализу методов аутентификации. Для обеспечения безопасности информации и предотвращения несанкционированного доступа к системам используются различные методы аутентификации. Эффективность этих методов определяется их устойчивостью к атакам, удобством использования и возможностью интеграции в современные системы безопасности.

Развитие цифровых технологий привело к увеличению числа киберугроз, что требует более детального анализа существующих механизмов аутентификации. При выборе подходящего метода важно учитывать не только его теоретическую криптостойкость, но и практические аспекты, такие как удобство для пользователей и вероятность человеческого фактора при управлении учетными данными.

Исследование различных типов парольных систем требует структурированного подхода, включающего количественную и качественную оценку их параметров. В следующем разделе представлена методика исследования, направленная на анализ ключевых характеристик парольных систем и их сравнительную оценку [2].

Методика исследования. Для оценки различных типов парольных систем используются следующие критерии:

1. Энтропия пароля – мера случайности пароля, определяющая его стойкость к подбору.
2. Подверженность атакам – анализ возможных атак, таких как атака грубой силы, подбор, социальная инженерия и кейлоггеры.
 - Возможность полного перебора;
 - Возможность атаки словарём;
 - Уязвимость к подглядыванию и записи ввода.
3. Устойчивость к фишинговым атакам – возможность перехвата пароля злоумышленником.
4. Удобство использования – субъективный фактор, влияющий на скорость ввода и восприятие пользователя.
5. Скорость аутентификации — время на ввод и проверку пароля.
6. Возможность восстановления — как проводится восстановление пароля, и насколько это безопасно.
7. Требования к дополнительным средствам — потребуется ли при этом использование аппаратных токенов, биометрии или других дополнительных средств.

Каждый критерий оценивается по шкале от 0 до 1, где 0 – наихудший показатель, 1 – наилучший. Итоговая оценка системы рассчитывается с помощью манхэттенского расстояния. Этот метод позволяет определить степень отклонения системы аутентификации от идеального варианта, в котором все критерии принимают максимальные значения.

Метод Манхэттенского расстояния в сравнении парольных систем.

Манхэттенское расстояние – это метрика, используемая для измерения разницы между двумя точками в многомерном пространстве. В контексте оценки надежности парольных систем оно позволяет количественно определить степень отклонения конкретной системы аутентификации от идеальной модели, в которой все критерии имеют наилучшие значения [3].

Формальное определение Манхэттенского расстояния. Манхэттенское расстояние между двумя точками в n -мерном пространстве вычисляется по следующей формуле:

$$D = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|$$

где:

- x_i – значение i -го критерия для исследуемой системы аутентификации,
- y_i – идеальное значение этого критерия (обычно принимаемое равным 1),
- n – количество критериев оценки.

Таким образом, чем меньше значение D , тем ближе парольная система к идеальному решению.

Применение в сравнительном анализе парольных систем. В данном исследовании Манхэттенское расстояние используется для вычисления отклонения каждой парольной системы от идеальной. Рассчитав это расстояние для различных систем, можно определить, какая из них является наиболее сбалансированной с точки зрения безопасности, удобства и устойчивости к атакам.

Пример расчета. Пусть даны три системы с векторами критериев (табл. 1):

- Символьные пароли: $K_{sim} = (0.7, 0.5, 0.3, 0.6, 0.8, 0.7, 0)$
- Графические пароли: $K_{graph} = (0.6, 0.6, 0.4, 0.7, 0.7, 0.5, 0)$
- Динамические пароли: $K_{dyn} = (0.9, 0.8, 0.9, 0.5, 0.6, 0.9, 1)$

Идеальный вектор критериев – $K^* = (1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)$.

Рассчитанные значения показывают, что динамические пароли оказываются наиболее близкими к идеальному решению, тогда как символные и графические пароли имеют более высокие отклонения.

Таблица 1. Сравнение различных типов парольных систем

Система аутентификации	Энтропия	Устойчивость к атакам	Фишиング	Удобство	Время аутентификации	Восстановление	Доп. средства
Символьные пароли	0.7	0.5	0.3	0.6	0.8	0.7	0
Графические пароли	0.6	0.6	0.4	0.7	0.7	0.5	0
Динамические пароли	0.9	0.8	0.9	0.5	0.6	0.9	1

Дополнительные меры защиты. Помимо традиционных методов аутентификации, перспективными направлениями являются гибридные системы, сочетающие в себе несколько факторов идентификации. Например, сочетание символьных и динамических паролей, использование биометрических данных в связке с одноразовыми кодами или применение криптографических токенов. Эти меры существенно повышают уровень безопасности и минимизируют вероятность несанкционированного доступа [4].

Одним из актуальных решений является применение адаптивной аутентификации, которая использует поведенческий анализ и машинное обучение для динамического

определения уровня риска. В зависимости от условий входа (устройство, IP-адрес, геолокация) система может автоматически усиливать меры защиты, требуя дополнительную аутентификацию в случае подозрительной активности.

Выводы. Проведенный анализ подтвердил, что ни одна система аутентификации не является универсальной. Каждая из рассмотренных систем имеет свои преимущества и недостатки, и их выбор зависит от конкретного сценария использования.

– **Символьные пароли** остаются наиболее распространенным методом аутентификации, но подвержены атакам перебора и фишинга. Их основное преимущество – простота реализации и низкая стоимость.

– **Графические пароли** удобны в использовании, однако их криптостойкость сильно зависит от сложности изображения. Они обладают большей устойчивостью к атакам кейлоггеров, но могут быть уязвимы к подглядыванию.

– **Динамические пароли** обеспечивают высокий уровень безопасности, но требуют дополнительных устройств или технологий, что делает их менее удобными в использовании.

Для повышения уровня кибербезопасности рекомендуется комбинированный подход, включающий многофакторную аутентификацию и регулярное обновление политик безопасности. Перспективными направлениями развития являются адаптивная аутентификация, использование машинного обучения и развитие биометрических методов идентификации.

Разработанная методика может быть применена для дальнейших исследований в области аутентификации и безопасности информационных систем, а также для разработки новых моделей защиты, учитывающих современные киберугрозы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Что такое многофакторная аутентификация (MFA)? [Электронный ресурс] – Электрон, дан. – 2023. – Режим доступа: <https://www.cisa.gov/MFA>
2. Обзор схем аутентификации в кибербезопасности [Электронный ресурс] – Электрон, дан. – 2023. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1877050919319574>
3. Использование евклидова и манхэттенского расстояний в качестве меры близости для решения задачи классификации [Электронный ресурс] – Электрон, дан. – 2022. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-evklidova-i-manhattenskogo-rasstoyaniy-v-kachestve-mery-bлизости-dlya-resheniya-zadachi-klassifikatsii>
4. Принципы работы и уязвимости биометрических систем аутентификации [Электронный ресурс] – Электрон, дан. – 2021. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/134/37699/>

COMPARATIVE ANALYSIS OF PASSWORD SYSTEMS

Abstract: The paper is dedicated to the analysis of user authentication methods, including symbolic, graphical, and dynamic passwords, as well as modern trends such as biometrics and multi-factor authentication. The methodology for assessing the cryptographic strength of systems using Manhattan distance is explored. The advantages and disadvantages of different systems are considered, and promising directions in the field of adaptive authentication and the application of machine learning to enhance the security of information systems are proposed.

Keywords: Authentication, password systems, cryptographic strength, multi-factor authentication, biometrics.

Timoshenko A. S., student, Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk State University
Email: satir.saim@gmail.com

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА МЕТОДИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПРОФИЛЯ СКОРОСТИ В РАБОЧЕЙ ЧАСТИ ДВУХСЛОЙНОЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЫ

Часник А. С.

*Научный руководитель: Пометун Е. Д., канд.техн.наук, доцент
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

Аннотация. В статье приведены разработки проекта методики выполнения измерений профиля скорости в рабочей части двухслойной аэродинамической трубы. Рассмотрены основные этапы создания методики, включая выбор измерительного оборудования, разработку алгоритмов обработки данных и оценку погрешностей измерений.

Ключевые слова: двухслойная аэродинамическая труба, профиль скорости, методика измерений, динамические характеристики.

Введение.

Основным инструментом для экспериментальных исследований в аэродинамике являются аэродинамические трубы (АТ). С использованием АТ появляется возможность моделирования потоков воздуха (или других газов) с заданными параметрами и изучения процессов обтекания различных объектов. АТ широко применяются для решения исследовательских и конструкторских задач, таких как тестирование летательных аппаратов, автомобилей и др. [1].

В настоящее время актуальным является изучение процессов, протекающих в атмосфере. Атмосфера Земли представляет собой сложную многослойную систему, состоящую из нескольких слоев, каждый из которых характеризуется уникальными физическими, химическими и динамическими свойствами. Эти слои различаются по температуре, давлению, плотности, составу газов и другим параметрам. Моделирование этих процессов является важным инструментом для понимания и прогнозирования изменений в окружающей среде, а также для решения прикладных задач в различных областях науки и техники.

В двухслойных аэродинамических трубах, где поток разделен на два слоя с разными характеристиками, измерение профиля скорости в рабочей части становится важной задачей для понимания динамики потока и оптимизации экспериментальных условий. Разработка методики выполнения таких измерений требует учета специфики конструкции трубы, характеристик потока и используемого измерительного оборудования.

Основная часть.

Для физического моделирования стратифицированных процессов в атмосфере на кафедре ФНПМЭ им.И.Л.Повха была создана двухслойная аэродинамическая труба. Она представляет собой конструкцию, в которой поток воздуха разделяется на два слоя с различными характеристиками по температуре и скорости [1]. Рабочая часть трубы должна обеспечивать стабильность потока и минимальные турбулентные возмущения. Внешний вид двухслойной АТ приведен на рисунке 1.

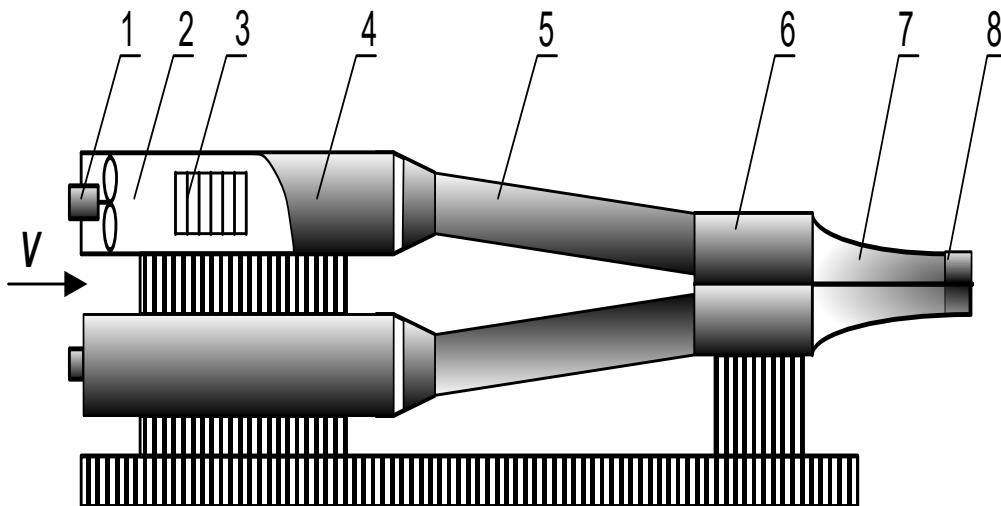


Рисунок 1 – Внешний вид стенда для моделирования ступенчатого испытательного сигнала:

1 – вентилятор, 2 – начальный участок АТ, 3 – нагреватель, 4 – теплообменник, 5 – прямоугольный участок, 6 – форкамера, 7 – конфузор, 8 – насадка

В основу конструкции стенда положен принцип разомкнутой двухслойной АТ, где два плоско – параллельных каналов, объединены одним общим рабочим участком, в котором образуется стационарный двухслойный стратифицированный поток. Каждый поток имеет свой индивидуальный аэродинамический и тепловой режим.

Двухслойная аэродинамическая труба представляет собой сложную систему, где поток воздуха разделяется на потоки с разными характеристиками, взаимодействующими между собой и окружающей средой. Такая структура потока приводит к сложной динамике, в которой важно учесть поведение каждого из слоев для точного измерения профиля скорости [2]. Основным параметром, который исследуют в аэродинамической трубе, является профиль скорости - распределение скорости потока воздуха в рабочей части АТ. Скорость потока не является однородной в рабочей части АТ, её значения могут сильно варьироваться в зависимости от расположения измерительного прибора. Эти изменения вызваны рядом факторов, таких как турбулентность, геометрия трубы, влияние стенок и другие.

Одним из главных факторов, определяющих сложность измерений в двухслойном потоке, является турбулентность. Турбулентность возникает вблизи стенок трубы и при смешении слоев с различными параметрами по температуре и скорости. Для измерения турбулентных потоков широкое применение получили термоанемометры постоянной температуры с ниточным чувствительным элементом. Термоанемометр обладает высокой чувствительностью и способностью работать в условиях динамических изменений. Для корректных измерений скорости в таких условиях, необходимо учитывать не только среднее значение скорости, но и её мгновенные значения [3].

Разработка проекта методики измерений профиля скорости в двухслойной аэродинамической трубе требует системного подхода и учета множества факторов, влияющих на точность и достоверность результатов. Важнейшими элементами методики являются выбор измерительных приборов, размещение датчиков в рабочем объеме, разработка алгоритмов обработки данных и учёт специфики двухслойного потока.

Первоначальный этап разработки методики заключается в выборе подходящих приборов для измерения профиля скорости. Для измерений в двухслойной трубе предпочтительным инструментом является ниточный термоанемометр постоянной температуры (ТА ПТ) с диаметром нити 8 мкм. ТА обладает высокой чувствительностью, его малые геометрические размеры способствуют минимальному

возмущению потока и способностью точно измерять сложные градиенты скорости, включая турбулентные характеристики. В качестве образцового СИ скорости воздушного потока использовалась трубка Пито-Прандтля и микроманометр МКВ-250, имеющий основную погрешность 0,02 %. Размещение измерительных приборов в рабочей части трубы должно быть тщательно спланировано. Для двухслойного потока особенно важно учесть, что два слоя имеют разные характеристики скорости, в некоторых случаях и температуры. Для того чтобы собрать полное распределение скорости, датчики должны быть расположены на различных уровнях, начиная от центра потока и заканчивая близ стенок трубы.

При разработке проекта методики выполнения измерений профиля скорости необходимо учитывать динамические эффекты, влияющие на результаты измерений. Для этого необходимо использовать статистические методы обработки данных, чтобы учесть флуктуации скорости и давления, которые могут сильно изменяться в разных частях трубы. Важно не только измерить среднее значение скорости, но и проанализировать её временные и пространственные колебания [5].

Разработка методики измерения профиля скорости в рабочей части двухслойной аэродинамической трубы в координатном устройстве является важным шагом в оценке качества аэродинамического профиля и оптимизации работы трубы.

Для уменьшения погрешностей, связанных с температурными колебаниями в потоке, необходимо заранее выполнять градуировку ТА в заданном диапазоне температуры и скорости.

Термоанемометр постоянной температуры (ТА ПТ) — это прибор, используемый для измерения скорости потока жидкости или газа на основе изменения температуры нагреваемого датчика. Принцип работы ТА ПТ основан на зависимости теплоотдачи от скорости потока: чем выше скорость потока, тем больше теплоотдача от нагреваемого датчика. Обработка данных, полученных с помощью ТА ПТ, требует учета особенностей метода и калибровки прибора.

Обработка данных, полученных термоанемометром постоянной температуры, включает калибровку, преобразование сигнала, анализ турбулентности и построение профиля скорости. Точность результатов зависит от качества калибровки и учета возможных погрешностей. Использование программных средств позволяет автоматизировать процесс и повысить эффективность обработки данных.

Термоанемометр постоянной температуры является мощным инструментом для исследования турбулентных потоков и широко применяется в аэродинамических экспериментах.

Для компенсации динамической погрешности нужно иметь данные о динамических характеристиках термопреобразователей. Поэтому проведение идентификации динамических характеристик термопреобразователей имеет решающее значение при измерении нестационарных высокотемпературных процессов.

В двухслойной трубе профиль скорости имеет две характерные области:

- нижний слой - обычно имеет меньшую скорость и более выраженный пограничный слой;
- верхний слой - иметь более высокую скорость, чем в нижнем канале, следовательно, и меньшую турбулентность.

Измерения профиля скорости в рабочей части двухслойной АТ выполнялись следующим образом. С помощью координатного устройства датчик ТА перемещался с шагом по оси $y = 0,1$ мм. Измерения профиля скорости выполнялись в следующих сечениях: $x = 2$ мм; 5 мм; 15 мм; 25 мм; 35 мм. Профили скорости, полученные на расстояниях от среза конфузора аэродинамического стенда при $x = 5$ мм и $x = 25$ мм и скоростей $2 \text{ м/с} \div 4 \text{ м/с}$; $4 \text{ м/с} \div 6 \text{ м/с}$; $6 \text{ м/с} \div 8 \text{ м/с}$; $8 \text{ м/с} \div 10 \text{ м/с}$, представлены на

рисунке 2. Построение профиля скорости позволяет визуализировать распределение скорости в рабочей части аэродинамической трубы и выявить особенности потока.

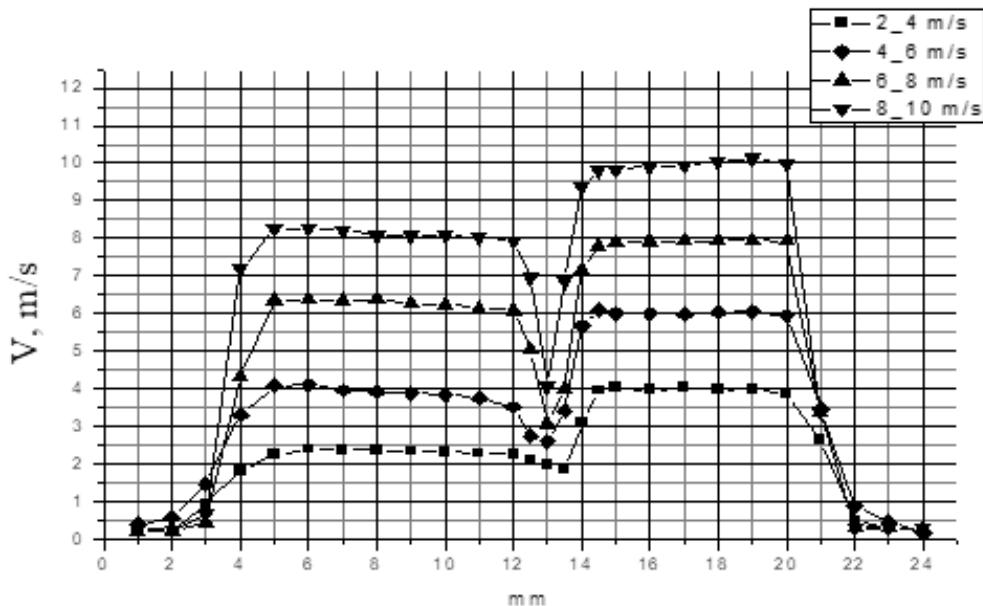


Рисунок 2 – Профили скорости на различных расстояниях от среза конфузора аэродинамической трубы

Результаты проведенных измерений демонстрируют, что по мере удаления от конфузора градиент скорости в зоне смешения (на границе между слоями) снижается. При этом наблюдается уменьшение относительной величины минимума скорости, обусловленного торможением потока на перегородке, разделяющей слои. Однако расстояние между установившимися значениями скорости в каждом из слоев увеличивается. Например, на расстоянии 20–25 мм от среза конфузора величина минимума скорости составляет примерно 50% от максимального значения. С увеличением расстояния от конфузора происходит расширение зоны смешения между слоями, что приводит к сглаживанию ступенчатого профиля скорости. Это, в свою очередь, ограничивает возможность исследования датчиков, чья постоянная времени сопоставима с временем пересечения зоны смешения.

Разработанная методика измерения профиля скорости в двухслойной аэродинамической трубе может быть использована в различных областях науки и техники, где важно точно оценить аэродинамические характеристики потоков воздуха, влияющих на объект. Применение такой методики позволяет не только провести точные эксперименты, но и улучшить существующие теоретические модели, а также оптимизировать проектирование аэродинамических объектов.

Выводы.

Разработка методики измерения профиля скорости в рабочей части двухслойной аэродинамической трубы требует комплексного подхода, включающего анализ конструкции трубы, выбор подходящего оборудования и тщательную обработку данных. Результаты работы позволяют повысить точность аэродинамических исследований и оптимизировать процессы моделирования потоков в двухслойных системах. В дальнейшем возможно усовершенствование методики за счет внедрения более современных методов измерений, а также автоматизации процесса сбора и обработки данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лазарев М.Ю. Аэродинамика: Учебник / М.Ю. Лазарев. – М.: Издательство МГУ, 2010. – 432 с.
2. Шаврин В.М. Аэродинамика и аэрогазодинамика: Учебник / В.М. Шаврин. – М.: Машиностроение, 2004. – 500 с.
3. Тодоров А.Н. Теория турбулентности и ее применение в аэродинамике / А.Н. Тодоров. – М.: Научное издательство, 2003. – 344 с.
4. Захаров В.И. Аэродинамика и ее приложения / В.И. Захаров. – М.: Наука, 2011. –
5. Королёв В.Н. Основы аэродинамических измерений / В.Н. Королёв. – М.: Энергия, 2006. – 256 с.
6. Фёдоров Ю.И. Аэродинамика: Теория и практика / Ю.И. Фёдоров. – М.: Издательство МГТУ, 2010. – 360 с.
7. Пометун, Е. Д. Измерение интенсивности турбулентности с помощью термоанемометра постоянной температуры при упрощенной градуировке датчика / Е. Д. Пометун, В. Н. Лебедев // Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : материалы IX Международной научной конференции, Донецк, 15–17 октября 2024 года. – Донецк: ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ», 2024. – С. 20-21. – EDN TTJNGT.
8. Пометун, Е. Д. Термоанемометрический метод измерения пульсаций скорости турбулентных потоков / Е. Д. Пометун // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2023. – № 4. – С. 15-19. – EDN NBPFBG.
9. Пометун, Е. Д. Аэродинамический стенд для исследования динамических характеристик первичных преобразователей / Е. Д. Пометун, В. Н. Лебедев // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2022. – № 4. – С. 4-8. – EDN FIRASM.
10. Лебедев, В. Н. Термокомпенсация выходного сигнала термоанемометра на основании уравнения теплового баланса / В. Н. Лебедев, Е. Д. Пометун, А. В. Васильева // Оригинальные исследования. – 2022. – Т. 12, № 5. – С. 406-412. – EDN OWAUQ.
11. Пометун, Е. Д. Обработка выходного сигнала термоанемометра постоянной температуры в динамическом режиме работы / Е. Д. Пометун, И. А. Третьяков // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2021. – № 2. – С. 50-55. – EDN CIQESP.

DEVELOPMENT OF A PROJECT METHOD FOR PERFORMING VELOCITY PROFILE MEASUREMENTS IN THE WORKING PART OF A TWO-LAYER WIND TUNNEL

Annotation. The article presents the development of a project methodology for performing measurements of the velocity profile in the working section of a two-layer wind tunnel. The main stages of creating the methodology are considered, including the selection of measuring equipment, the development of data processing algorithms and the assessment of measurement errors.

Keywords: two-layer wind tunnel, velocity profile, measurement technique, dynamic characteristics.

Chasnik A.S.

Scientific advisers: Pometun E.D. Ph.D., associate professor
Donetsk State University

E-Mail: e.pometun.fnpme@mail.ru
chasnik.aleksey@gmail.com

Математические науки

УДК 004.056

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО ГОЛОСОВАНИЯ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН

Вихляев В.В.

*Научный руководитель: Мирончук А.И., канд. физ.-мат. наук, доцент
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

Аннотация. Работа посвящена обзору системы электронного голосования, на базе блокчейн-технологии, которая обеспечивает высокий уровень безопасности, прозрачности и надежности процесса голосования. Рассматриваются основные проблемы традиционных методов голосования, такие как возможность фальсификации результатов, недостаточная прозрачность и низкая устойчивость к кибератакам. Анализируются преимущества и недостатки такой системы, включая вопросы масштабируемости, анонимности участников и соответствия законодательным требованиям.

Ключевые слова: электронное голосование, блокчейн-технология, хэш-функция, база данных, узел-сервер.

Введение. Современные избирательные процессы во многом зависят от эффективности и надежности систем голосования, которые должны обеспечивать не только точность подсчета голосов, но и доверие общества к результатам выборов. Однако традиционные методы голосования, основанные на бумажных бюллетенях или электронных системах без использования передовых технологий, сталкиваются с рядом серьезных проблем. Среди них можно выделить возможность фальсификации результатов, недостаточную прозрачность процесса голосования, уязвимость к различным кибератакам, что может поставить под сомнение легитимность выборов.

В условиях цифровой трансформации и роста интереса к электронным решениям возникает необходимость в разработке новых систем, способных устранить существующие недостатки. В данном случае перспективным направлением является использование блокчейн-технологии, которая уже доказала свою эффективность в обеспечении прозрачности и безопасности. Успешным примером её использования является опыт Эстонии, которая первой в мире внедрила систему электронного голосования на национальном уровне.

Актуальность разработки системы электронного голосования на базе блокчейн обусловлена не только техническими преимуществами, но и социально-политическими запросами. Внедрение такой системы поможет снизить риски фальсификаций, повысить прозрачность и обеспечить доступность голосования для граждан, которые находятся за пределами своих избирательных участков [1].

Постановка задачи. В данной статье проанализируем существующие проблемы традиционных методов голосования. Проведём анализ законодательных требований, предъявляемых к системам электронного голосования. Изучим принципы работы блокчейн-технологии и определим архитектуру системы, учитывая требования к безопасности, прозрачности и надежности процесса голосования. Продемонстрируем работу системы электронного голосования на базе блокчейн-технологии в формате консольного приложения.

Анализ современных проблем. Традиционные методы голосования, несмотря на широкое применение, сталкиваются с рядом существенных проблем, которые снижают

доверие к избирательным процессам и ограничивают их эффективность. Эти проблемы затрагивают как технические, так и организационные аспекты, а также вопросы безопасности, прозрачности и доступности.

Одной из наиболее острых проблем является возможность фальсификации результатов. Фальсификации могут происходить на разных этапах избирательного процесса: от подделки бюллетеней до манипуляций при подсчете голосов. Человеческий фактор играет здесь ключевую роль, так как ошибки или злоупотребления со стороны членов избирательных комиссий могут привести к искажению итоговых данных [2].

Кроме того, традиционные методы голосования часто характеризуются недостаточной прозрачностью. Избиратели не имеют возможности самостоятельно убедиться в корректности подсчета. Это создает почву для сомнений в легитимности выборов и подрывает доверие граждан.

Еще одной проблемой традиционных методов является их низкая устойчивость к внешним воздействиям. Физические бюллетени могут быть утеряны, повреждены или уничтожены, что делает процесс голосования уязвимым к случайным или преднамеренным вмешательствам.

Электронные методы голосования, которые были разработаны для решения некоторых из этих проблем, также сталкиваются с серьезными вызовами. Основной проблемой является уязвимость к кибератакам. Даже если система защищена, всегда существует риск утечки данных или несанкционированного доступа, что может привести к серьезным последствиям.

Вопросы анонимности и конфиденциальности также остаются сложными для электронных методов голосования. С одной стороны, необходимо обеспечить, чтобы голос каждого избирателя был учтен и не мог быть изменен. С другой стороны, важно гарантировать, что голосование остается анонимным и личные данные избирателей не могут быть использованы для их идентификации [3].

Баланс между этими требованиями трудно достичь, особенно в условиях, когда система должна быть прозрачной. Недостаточная прозрачность электронных систем часто вызывает сомнения у избирателей, которые не могут самостоятельно убедиться в том, что их голос был учтен правильно.

Доступность также является важной проблемой электронных методов голосования. У многих людей нет доступа к интернету или они не обладают необходимыми знаниями, что создает цифровой разрыв и может привести к исключению определенных групп населения из избирательного процесса.

Кроме того, внедрение электронных систем требует значительных финансовых затрат на разработку, внедрение и поддержку инфраструктуры. Для некоторых стран или регионов это может быть непосильной задачей, особенно если учитывать необходимость постоянного обновления и защиты системы от новых угроз.

Таким образом, как традиционные, так и электронные методы голосования имеют свои ограничения, которые снижают их эффективность и доверие со стороны избирателей. Для решения этих проблем требуется внедрение новых технологических подходов, таких как технология блокчейн, которая способна обеспечить более высокий уровень безопасности, прозрачности и надежности избирательных процессов.

Правовые аспекты электронного голосования. Разработка и внедрение систем электронного голосования требуют строгого соблюдения законодательных требований, которые варьируются в зависимости от страны и ее правовой системы. Эти требования направлены на обеспечение безопасности, прозрачности, конфиденциальности и легитимности избирательного процесса.

Одним из основных законодательных требований является обеспечение безопасности системы. Для соблюдения этого требования в процессе разработки системы необходимо предпринять меры по защите данных, включая шифрование и

использование многофакторной аутентификации. Кроме того, система должна быть устойчивой к сбоям и иметь механизмы восстановления в случае аварийных ситуаций. Это особенно важно для обеспечения непрерывности и предотвращения потери данных.

Прозрачность является еще одним ключевым требованием, закрепленным в законодательстве. Избирательные системы должны обеспечивать возможность проверки результатов голосования как со стороны избирателей, так и со стороны независимых наблюдателей. Это включает предоставление доступа к данным голосования и его результатам.

Конфиденциальность голосования также является важным законодательным требованием. Система должна гарантировать, что голос каждого избирателя остается анонимным. Это требует внедрения механизмов, которые позволяют отделить идентификационные данные избирателя от его голоса. В то же время система должна обеспечивать возможность проверки того, что голос был учтен корректно, без раскрытия его содержания [4].

Доступность системы электронного голосования также регулируется законодательством. Это включает обеспечение возможности голосования для всех категорий избирателей, включая людей с ограниченными возможностями. Система должна быть удобной в использовании и поддерживать различные языки, чтобы обеспечить участие граждан из разных регионов и этнических групп.

Кроме того, важно определить механизмы разрешения споров при обжаловании результатов выборов, чтобы обеспечить защиту прав избирателей и кандидатов. Таким образом, законодательные требования к системам электронного голосования охватывают широкий спектр аспектов, включая безопасность, прозрачность, конфиденциальность, легитимность, доступность и соответствие международным стандартам.

Принцип работы блокчейн-технологии. Благодаря своей децентрализованной системе, неизменяемости данных и криптографической защите блокчейн может стать основой для создания системы электронного голосования, которая способна устраниćть многие вышеперечисленные недостатки и повысить уровень доверия граждан.

Ключевым аспектом блокчейн-технологии выступает принцип децентрализации. В отличие от классических систем, где информация сосредоточена на едином сервере и управляется одной организацией, блокчейн распределяет данные между множеством независимых узлов. Каждый узел-сервер хранит полную копию базы данных, что устраняет риск возникновения единой точки отказа и повышает устойчивость системы к внешним угрозам, включая кибератаки. Это обеспечивает надежную защиту результатов голосования от умышленного изменения или удаления, поскольку менять информацию придется одновременно на каждом узле, что практически невозможно.

Неизменяемость данных является еще одним ключевым принципом блокчейн-технологии. Каждая запись в блокчейне, включая голоса избирателей, защищена с помощью криптографического хэша, который связывает ее с предыдущими записями. Это формирует цепочку блоков, где каждый последующий блок содержит информацию о предыдущих. Попытка изменить данные в одном из блоков приведет к изменению хэшей во всех последующих, что сразу будет обнаружено другими участниками. В контексте электронного голосования это гарантирует, что голос избирателя не может быть изменен после его регистрации, что полностью исключает возможность фальсификации.

Прозрачность блокчейн-технологии достигается за счет публичного доступа к данным. Каждый участник сети может просматривать информацию о записях, что делает процесс голосования открытым и поддающимся проверке. В то же время блокчейн способен обеспечить максимальную конфиденциальность. Личные данные могут быть зашифрованы и связаны с анонимными идентификаторами, что полностью исключает

возможность установления личности избирателя. Это позволяет достичь баланса между анонимностью и прозрачностью, что является важным требованием для современных избирательных систем [5].

Архитектура системы электронного голосования. Архитектура системы электронного голосования на базе блокчейн-технологии должна учитывать выше описанные принципы работы, а также соответствовать законодательным требованиям к прозрачности, надежности и безопасности.

Первым шагом является создание децентрализованной сети, состоящей из множества узлов, которые будут хранить и проверять данные о голосах. Эти узлы могут быть управляемы независимыми организациями, такими как избирательные комиссии, наблюдательные группы или даже сами избиратели, что полностью исключает возможность внешнего контроля. Для обеспечения безопасности системы необходимо использовать криптографические методы, такие как асимметричное шифрование и цифровые подписи.

Каждый избиратель должен иметь уникальную пару ключей: закрытый ключ для подписи своего голоса и открытый ключ для проверки его подлинности. Это гарантирует, что голос может быть отправлен только авторизованным избирателем и не может быть изменен третьими сторонами. Кроме того, данные о голосах должны быть зашифрованы, чтобы исключить возможность их перехвата или несанкционированного доступа.

Прозрачность системы может быть достигнута за счет использования публичного блокчейна, где каждый участник сети может просматривать данные о голосах и проверять их корректность. Однако для обеспечения конфиденциальности избирателей необходимо использовать методы, такие как кольцевые подписи или нулевое разглашение, которые позволяют подтвердить факт голосования без раскрытия его содержания. Это обеспечивает анонимность избирателей и исключает возможность их идентификации.

Для повышения надежности системы электронного голосования на основе блокчейн-технологии целесообразно использовать смарт-контракты. Это программные алгоритмы, которые автоматически выполняют необходимые действия при соблюдении определенных условий. В контексте голосования смарт-контракты могут применяться для автоматической проверки голосов, их подсчета и публикации результатов. Это полностью исключает риск манипуляций и ускоряет процесс обработки данных.

Важным аспектом архитектуры системы является масштабируемость. Блокчейн-технология, особенно публичные сети, могут сталкиваться с ограничением скорости. Для решения этой проблемы можно использовать гибридные решения, где основная цепочка блоков используется для хранения итоговых результатов, а вспомогательные протоколы для обработки отдельных голосов. Это позволяет увеличить пропускную способность системы и обеспечить ее работу даже при большом количестве участников.

Еще одним важным элементом архитектуры является механизм консенсуса, который определяет, как узлы сети реагируют на добавление новых блоков. Для системы электронного голосования подходят алгоритмы консенсуса, такие как Proof of Work (PoW), Proof of Stake (PoS) или Delegated Proof of Stake (DPoS), обеспечивающие более высокую скорость обработки транзакций. Это особенно важно для избирательных систем, где время обработки голосов и публикации результатов имеет критическое значение.

Демонстрация работы приложения. На основе выше предложенной архитектуры было разработано консольное приложение системы электронного голосования, которое является основой для дальнейшего исследования в данной области. Для обеспечения децентрализации было установлено пять избирательных участков (узлов) количество которых всегда можно расширить (Рисунок 1). Уменьшение избирательных участков

нежелательно так как чем меньше независимых узлов остается в системе, тем легче её взломать. Для успешной работы и тестирования системы электронного голосования на базе блокчейн-технологии необходимо минимум три избирательных участка (узла).

Выберите узел через который будет добавлена информация в блок
1. Узел
2. Узел
3. Узел
4. Узел
5. Узел
Ввод:

Рисунок 1 – Выбор избирательного участка (узла)

Отсюда получаем первый минус алгоритма Proof of Work. Для успешной кибератаки на систему достаточно заполучить контроль над 51% узлов. С целью тестирования безопасности данной системы была реализована искусственная кибератака на базу данных одного избирательного участка (узел-сервер). После взлома и последующего изменения информации на узле-сервере мы получаем моментальную реакцию системы, которая сперва отключила неисправный узел-сервер, затем запустился механизм регенерации (Рисунок 2). Процесс регенерации включает процедуры анализа, форматирования, восстановления и автоматического обеспечения дополнительной защиты узла-сервера, после чего его работа успешно возобновляется.

Проверка 0-го блока узла №1 пройдена. Статус: успешно
Проверка 0-го блока узла №2 пройдена. Статус: успешно
Проверка 0-го блока узла №3 пройдена. Статус: успешно
Проверка 0-го блока узла №4 пройдена. Статус: успешно
Проверка 0-го блока узла №5 пройдена. Статус: успешно
Проверка 1-го блока узла №1 пройдена. Статус: взлом
С целью безопасности данный узел будет отключён. Для продолжения нажмите любую клавишу
Проверка 1-го блока узла №2 пройдена. Статус: успешно
Проверка 1-го блока узла №3 пройдена. Статус: успешно
Проверка 1-го блока узла №4 пройдена. Статус: успешно
Проверка 1-го блока узла №5 пройдена. Статус: успешно
Проверка 2-го блока узла №1 пройдена. Статус: успешно
Проверка 2-го блока узла №2 пройдена. Статус: успешно
Проверка 2-го блока узла №3 пройдена. Статус: успешно
Проверка 2-го блока узла №4 пройдена. Статус: успешно
Проверка 2-го блока узла №5 пройдена. Статус: успешно

Рисунок 2 – Тестирование системы. Взлом узла-сервера

Для обеспечения прозрачности и одновременно максимальной анонимности были использованы преимущества гибридного блокчейна. Открытая часть, которая хранится в публичном блокчейне, содержит необходимую информацию для обеспечения прозрачности и корректности избирательного процесса. Аналогично, закрытая часть, которая хранится в приватном блокчейне и содержит данные о избирателях. Таким образом, гибридный блокчейн позволяет достичь высокой прозрачности, предоставляя возможность проверки корректности процесса голосования, и одновременно обеспечивает конфиденциальность, защищая личные данные избирателей.

Выводы. Разработка системы электронного голосования на основе блокчейн-технологии является важным шагом в решении актуальных проблем, связанных с традиционными методами голосования. Современные избирательные системы сталкиваются с такими вызовами, как возможность фальсификации, недостаточная прозрачность и низкая устойчивость, что подрывает доверие граждан к избирательным процессам.

В разрабатываемой системе особое внимание уделено вопросам анонимности, масштабируемости и соответствуию законодательным нормам, что делает предложенную архитектуру не только технологически перспективной, но и юридически обоснованной.

Реализация системы электронного голосования в формате консольного приложения продемонстрировала ее работоспособность, что подтверждает возможность дальнейшего внедрения в избирательные процессы.

Теоретическая значимость исследования заключается в систематизации знаний о применении блокчейн-технологии в сфере электронного голосования, а практическая ценность работы состоит в том, что предложенная система может стать основой для создания более новых, прозрачных и безопасных платформ, способных повысить уровень доверия граждан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов, А.В. Блокчейн и его применение в электронном голосовании / А.В. Баранов. – М.: Научный мир, 2020. – 256 с.
2. Гусев, И.Н. Электронное голосование: теория и практика / И.Н. Гусев. – СПб.: Питер, 2021. – 320 с.
3. Кузнецов, С.А. Применение блокчейн-технологий в системах голосования / С.А. Кузнецов. – Екатеринбург: Урал. гос. ун-т, 2019. – 180 с.
4. Михайлов, Д.В. Безопасность электронного голосования на основе блокчейн-технологий / Д.В. Михайлов. – Казань: Казанский федеральный университет, 2022. – 150 с.
5. Федоров, Е.В. Блокчейн как основа для создания безопасных систем голосования / Е.В. Федоров. – Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2023. – 200 с.

DEVELOPMENT OF AN ELECTRONIC VOTING SYSTEM BASED ON BLOCKCHAIN TECHNOLOGY

Annotation. The paper is devoted to an overview of the electronic voting system based on blockchain technology, which provides a high level of security, transparency and reliability of the voting process. The main problems of traditional voting methods are considered, such as the possibility of falsification of results, lack of transparency and low resistance to cyber-attacks. The advantages and disadvantages of such a system are analyzed, including issues of scalability, anonymity of participants, and compliance with legal requirements.

Keywords: electronic voting, blockchain technology, hash function, database, node server

Vikhlyaev V.V.

Scientific adviser: Mironchuk A.I., associate professor

Donetsk State University

E-mail: vlad.vikhlyaev@mail.ru

УДК 378:33(05)

ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ОТТОКА КУРЬЕРОВ В СФЕРЕ ДОСТАВКИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Корнев С.А.

*Научный руководитель: Шевцов Д.В., д-р техн. наук, доцент
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

Аннотация: В статье рассматривается применение методов машинного обучения для прогнозирования оттока курьеров в службе доставки продуктов питания. Обоснована актуальность задачи, связанная с высокой текучестью кадров и ее негативным влиянием на эффективность логистических операций. Представлен алгоритм CatBoost, использованный для построения модели прогнозирования, а также описаны этапы сбора, подготовки и анализа данных. Проведен анализ значимости различных факторов, влияющих на вероятность ухода курьеров. Оценена точность прогнозирования модели и предложены рекомендации по ее применению для разработки стратегий удержания персонала.

Ключевые слова: машинное обучение, прогнозирование оттока, курьер, служба доставки, CatBoost, анализ данных.

Служба доставки продуктов питания играет важную роль в современной розничной торговле, обеспечивая своевременную доставку товаров потребителям. В условиях высокой конкуренции и растущих требований к скорости и качеству обслуживания, компании стремятся повысить эффективность логистических операций. Одной из ключевых проблем является высокая текучесть кадров среди курьеров, что приводит к нарушениям в логистике и снижению качества обслуживания. В связи с этим, задача прогнозирования и управления оттоком курьеров становится критически важной для обеспечения стабильности и конкурентоспособности компаний.

Методы машинного обучения демонстрируют свою эффективность в решении задач прогнозирования в различных сферах бизнеса [1-3]. Применение этих технологий открывает новые возможности для совершенствования процессов управления персоналом в службах доставки, в том числе для предсказания и предотвращения оттока курьеров.

Целью данного исследования является контроль и снижение оттока кадров в курьерской службе, что достигается за счет своевременного выявления и нейтрализации факторов, влияющих на текучесть персонала, и реализуется посредством разработки информационной технологии прогнозирования оттока курьеров с применением машинного обучения и анализа ключевых факторов, влияющих на текучесть кадров. В качестве основного алгоритма выбран CatBoost, демонстрирующий высокую эффективность в задачах с категориальными и численными признаками [4-5].

Исследования в области прогнозирования оттока персонала с использованием машинного обучения активно развиваются в последние годы. В работе Т. Yesmin рассматриваются различные методы машинного обучения для прогнозирования оттока сотрудников и делается вывод о перспективности применения этих методов для улучшения управления персоналом. Книга F. Provost и T. Fawcett посвящена применению Data Science в бизнесе, включая задачи прогнозирования и аналитики, что также является актуальным для данной темы [7-8].

В интернете доступно множество статей и публикаций, посвященных прогнозированию оттока пользователей и сотрудников с использованием машинного обучения. Однако, большинство из них рассматривают общие подходы и алгоритмы, не учитывая специфику работы курьеров в службах доставки продуктов питания.

Данное исследование направлено на заполнение этого пробела и разработку специализированной модели прогнозирования оттока курьеров с учетом особенностей их деятельности и доступных данных.

Объектом исследования являются данные о курьерах – сотрудника службы доставки продуктов питания. Предметом исследования – временные ряды данных об их деятельности и алгоритмы машинного обучения для прогнозирования оттока.

Для достижения поставленной цели были выполнены следующие этапы:

1. Сбор данных о курьерах службы доставки, включая данные о заказах (дата, вес, количество пакетов, оплата, жалобы и др.), дополненные статистическими характеристиками (стандартное отклонение, среднее, медиана) за 7, 14, 21 день до момента предсказания.
2. Предварительная обработка данных, включающая фильтрацию курьеров, удовлетворяющих критериям полноты данных, стажа работы более 50 дней и активности в предыдущем месяце, а также очистку от пропусков и выбросов, нормализацию и преобразование в формат, необходимый для применения алгоритмов машинного обучения.
3. Выбор и настройка алгоритма машинного обучения CatBoost для построения модели прогнозирования оттока курьеров. Выбор CatBoost обусловлен его эффективностью в работе с категориальными данными и устойчивостью к переобучению. Настройка гиперпараметров проводилась с использованием методов кросс-валидации и библиотеки Optuna [6].
4. Оценка точности прогнозирования модели с использованием метрик accuracy, precision, recall и AUC-ROC:
 - Accuracy (точность) – доля правильно предсказанных случаев оттока.
 - Precision (полнота) – доля верно предсказанных случаев оттока среди всех предсказанных случаев оттока.
 - Recall (чувствительность) – доля верно предсказанных случаев оттока среди всех фактических случаев оттока.
 - AUC-ROC (Area Under the Curve – Receiver Operating Characteristic) – интегральная мера качества бинарной классификации, показывающая соотношение между истинно-положительными и ложно-положительными срабатываниями.
5. Анализ значимости различных факторов, влияющих на вероятность ухода курьеров, с использованием методов вычисления коэффициентов корреляции, информационного gain и SHAP-значений.

В результате проведенного исследования разработана информационная технология прогнозирования оттока курьеров, использующая алгоритм CatBoost.

Обработка данных:

- использовались данные о заказах курьеров (дата, вес, количество пакетов, оплата, жалобы и др.). Сырые данные представляли собой гранулярность: курьер, дата, время, вес, наличие жалобы, выручка курьера;
- данные дополнены статистическими характеристиками (стандартное отклонение, среднее, медиана) за 7, 14, 21 день до момента предсказания.

Критерии отбора курьеров для предсказания:

- полнота данных;
- стаж работы более 50 дней;
- активность в предыдущем месяце.

Для решения задачи прогнозирования оттока курьеров был выбран алгоритм CatBoost, разработанный компанией Yandex. Это обусловлено следующими преимуществами:

- эффективная обработка категориальных признаков (место работы, тип доставки и т.д.) без необходимости их предварительного кодирования;
- встроенные механизмы регуляризации, предотвращающие переобучение модели;
- устойчивость к выбросам в данных;
- оптимизация гиперпараметров CatBoost с использованием методов кросс-валидации для достижения наилучших результатов.

Модель CatBoost продемонстрировала высокую эффективность в предсказании оттока курьеров, превысив 0,7 по метрикам accuracy и AUC-ROC. Для оптимизации разбиения на классы было выбрано пороговое значение 0,25, что улучшило ROC-AUC метрику на 0,06 и сделало её более гладкой (рис. 1).

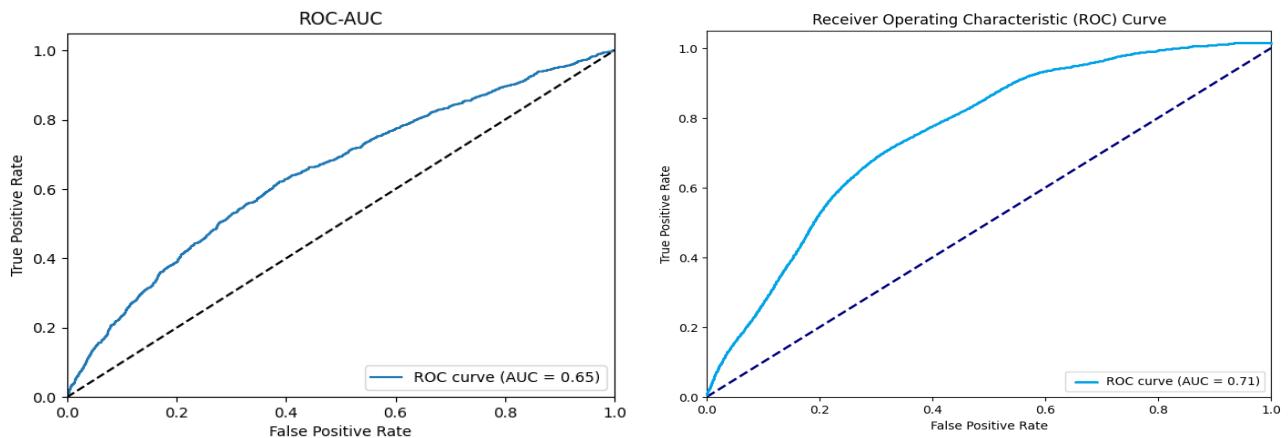


Рис. 1. ROC-AUC кривые модели CatBoost для пороговых значений 0,5 (слева) и 0,25 (справа)

Анализ важности признаков, полученный на основе модели CatBoost, показал, что наибольшее влияние на решение курьеров об увольнении оказывают (рис. 2-3):

- длительность работы курьером;
- среднее количество жалоб;
- место работы;
- общая сумма жалоб;
- средняя зарплата.

Представленные на рисунке 1 результаты убедительно подтверждают эффективность применения алгоритма машинного обучения CatBoost для прогнозирования оттока курьеров в службах доставки продуктов питания. Ключевым показателем эффективности является значение ROC-AUC (площадь под ROC-кривой), которое составило 0,71. Значение ROC-AUC 0,71 означает, что модель с вероятностью 71% правильно ранжирует случайную пару курьеров, один из которых уволился, а другой остался в компании. Как правило, значения ROC-AUC выше 0,7 считаются приемлемыми, что указывает на достаточную предсказательную силу для практического применения.

В контексте прогнозирования оттока это означает, что модель может быть использована для выявления курьеров с высоким риском увольнения и принятия своевременных мер по их удержанию. Анализ данных, приведенных на рисунках 2-3, показал, что на решение курьеров об увольнении оказывают влияние не только финансовые аспекты, такие как средняя зарплата, но и факторы, связанные с условиями труда и уровнем удовлетворенности работой, включая среднее количество жалоб и место работы.

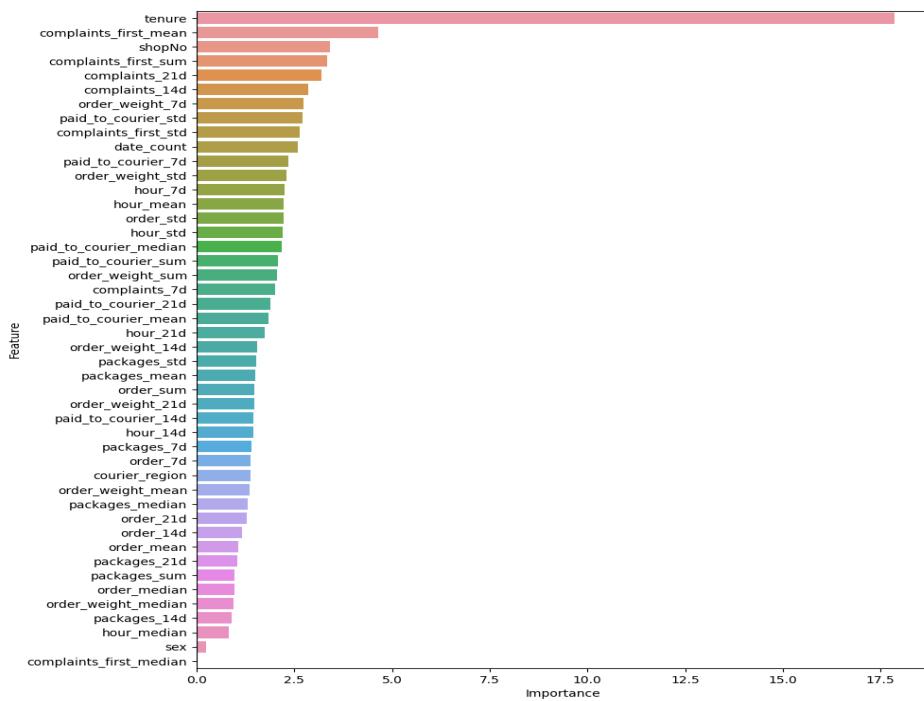


Рис. 2. Важность признаков (встроенный в CatBoost)

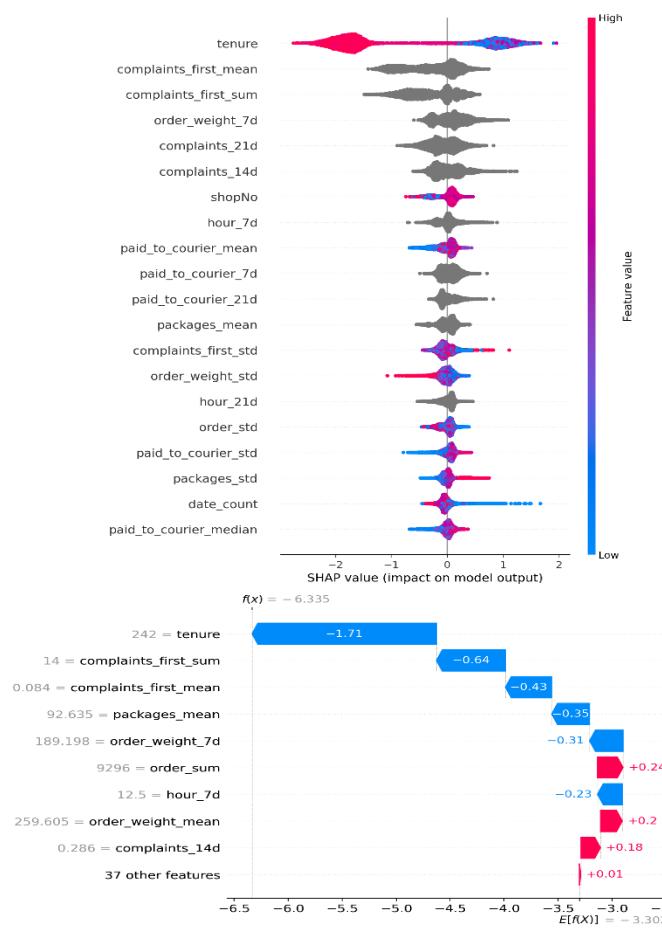


Рис. 3. Важность признаков (SHAP-анализ)

Это подчеркивает важность комплексного подхода к удержанию персонала, который учитывает как материальные, так и нематериальные аспекты работы.

Результаты сравнительных экспериментов с различными алгоритмами машинного обучения, включая логистическую регрессию, Random Forest и GBDT (Gradient Boosting Decision Trees), демонстрируют, что CatBoost обеспечивает более высокую точность прогнозирования оттока курьеров (табл. 1).

Таблица 1. Сравнение эффективности алгоритмов машинного обучения для прогнозирования оттока курьеров

Метрика	Логистическая регрессия	Random Forest	GBDT	CatBoost
Accuracy	0,6	0,68	0,72	0,825
Precision	0,12	0,2	0,18	0,213
Recall	0,06	0,16	0,14	0,25
ROC-AUC	0,55	0,58	0,62	0,71

Применение машинного обучения, в частности алгоритма CatBoost, является перспективным подходом для прогнозирования оттока курьеров в службе доставки продуктов питания. Разработанная модель позволяет выявлять курьеров, характеризующихся повышенной вероятностью увольнения, и принимать меры по их удержанию (рис. 4).

courier_id	order_mean	paid_to_courier_mean	sex	courier_region	shopNo	packages_7d	complaints_first_sum	paid_to_courier_sum	tenure	score
1	36,07	4773,345	0	50	5104	82,5	10	195707,1	87	0,157395
2	27,9	3331,475	0	77	4801	72,6	13	136590,5	54	0,885911

Рис. 4. Фрагмент результатов моделирования оттока курьеров: характеристики курьеров (часть) и предсказанные вероятности увольнения

Внедрение разработанной модели повышает эффективность управления персоналом за счет своевременных мер по улучшению условий труда и мотивации, что приводит к стабилизации кадрового состава и увеличению прибыли.

Таким образом, проведенное исследование подтвердило эффективность применения алгоритма CatBoost для прогнозирования оттока курьеров в службе доставки продуктов питания. Модель продемонстрировала высокую точность (Accuracy = 0,825) и значимое значение ROC-AUC (0,71), что свидетельствует о её пригодности для практического использования. Анализ важности признаков выявил ключевые факторы, влияющие на вероятность увольнения: длительность работы, среднее количество жалоб, место работы, суммарные жалобы и уровень заработной платы. Это подчеркивает необходимость комплексного подхода к управлению персоналом, сочетающего материальную мотивацию, улучшение условий труда и оперативное реагирование на обратную связь клиентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Предсказание оттока пользователей – Текст: электронный // Хабр: официальный сайт. – 2023. – URL: <https://habr.com/ru/articles/715070/> (дата обращения: 02.09.2024).
2. Уже уходишь? Или предсказание оттока сотрудников с помощью AI – Текст: электронный // Хабр: официальный сайт. – 2022. – URL: <https://habr.com/ru/articles/715070/> (дата обращения: 02.09.2024).
3. Построение модели оттока сотрудников для разработки стратегии удержания – Текст: электронный // Хабр: официальный сайт. – 2021. – URL: <https://habr.com/ru/articles/582304/> (дата обращения: 02.09.2024).
4. Серрано Л. Дж. Грокаем машинное обучение / Л. Дж. Серрано. – Москва: Изд-во «Питер», 2024. – 512 с. – ISBN 978-5-4461-1234-3.
5. Просиз Дж. Прикладное машинное обучение и искусственный интеллект для инженеров / Дж. Просиз. – Астана: Изд-во «АЛИСТ», 2024. – 424 с. – ISBN 978-601-09-5051-1.
6. CatBoost – Текст: электронный // Хабр: официальный сайт. – 2023. – URL: <https://habr.com/ru/companies/lani/articles/778714/> (дата обращения: 02.09.2024).

7. Employee Turnover Prediction Using Machine Learning Techniques / T. Yesmin // 2023 3rd International Conference on Smart Technologies and Systems for Next Generation Computing (ICSTSN). – 2023. – C.1-6.
8. Provost, F. Data Science for Business: What You Need to Know About Data Mining and Data-Analytic Thinking / F. Provost, T. Fawcett. – Sebastopol: O'Reilly Media, 2013. – 416 c. – ISBN 978-1-4493-6132-7.

APPLICATION OF MACHINE LEARNING IN PREDICTING COURIER CHURN IN A FOOD DELIVERY SERVICE

Annotation. This article discusses the application of machine learning methods for predicting courier churn in a food delivery service. The relevance of the task is substantiated, related to the high staff turnover and its negative impact on the efficiency of logistics operations. The CatBoost algorithm used to build the prediction model is presented, and the stages of data collection, preparation and analysis are described. The analysis of the significance of various factors influencing the probability of courier churn was carried out. The accuracy of the model prediction is estimated and recommendations are proposed for its application to develop personnel retention strategies.

Key words: machine learning, churn prediction, courier, delivery service, CatBoost, data analysis.

Kornev S.A.

Scientific adviser: Shevtsov D.V., PhD in Engineering sciences, associate professor Donetsk State University

Email: sergkornev2001@mail.ru

РАЗРАБОТКА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ ИГР В СРЕДЕ UNITY

Литвинова С.Д.

*Научный руководитель: Пачева М.Н., канд. физ.-мат. наук, доцент
ФГБОУ ВО «ДОНГУ»*

Аннотация: В статье рассматриваются основные принципы разработки пользовательского игрового интерфейса. Приводятся примеры правильно структурированных интерфейсов, разбираются основные ошибки, допускаемые при проектировании. Описываются возможные варианты исправления допущенных ошибок и советы по дополнению игрового интерфейса.

Ключевые слова: игровой интерфейс, компьютерная графика, Unity, особенности проектирования интерфейса.

Введение. Пользовательский интерфейс (UI) является неотъемлемой частью любого программного обеспечения, включая видеоигры. Он служит связующим звеном между игроками и игровым миром, обеспечивая удобство взаимодействия и доступ к информации. С учетом роста популярности видеоигр и разнообразия платформ, проблема разработки эффективного и интуитивно понятного пользовательского интерфейса становится все более актуальной. Несмотря на значительный прогресс в этой области, существует множество аспектов, которые остаются недостаточно изученными и требуют дальнейшего исследования.

Целью работы является изучение основных принципов разработки игрового интерфейса и применение их на практике при разработке игрового приложения. Для этого необходимо выделить наиболее важные аспекты, которых стоит придерживаться при планировании и разработке интерфейса и продемонстрировать на примерах психологические и фундаментальные принципы построения интерфейса. [2]

Теоретические основы разработки UI

Интерфейс — это то, с чем игрок взаимодействует на протяжении всей игры, и его качество может значительно повлиять на общее впечатление от игрового процесса.

Пользовательский интерфейс в играх включает в себя все визуальные элементы, с которыми игрок взаимодействует. Это может быть, как основное меню, так и элементы HUD (Head-Up Display), такие как индикаторы здоровья, карты, инвентарь и другие важные компоненты, которые предоставляют информацию о состоянии игры.

При разработке пользовательского интерфейса для игры в Unity необходимо учитывать несколько ключевых принципов и подходов:

1) Пользовательский опыт (UX) - взаимодействие с интерфейсом должно быть простым и логичным. UI-дизайн должен основываться на понимании потребностей пользователей, их привычек и ожиданий. Элементы интерфейса должны учитывать разный уровень пользователей, облегчать процесс восприятия информации и управления. [4]

2) Интуитивность и простота - элементы управления должны быть расположены таким образом, чтобы игроки могли легко ими пользоваться. Интерфейс не должен перегружаться избыточной информацией. Простота и ясность дизайна позволяют избежать путаницы и минимизируют время на привыкание к управлению.

3) Согласованность - важно следовать единому стилю и цветовым схемам везде, где это возможно. В разных частях интерфейса одни и те же элементы должны вести себя одинаково и выполнять одинаковые функции. Согласованность в дизайне делает интерфейс более предсказуемым, а значит, позволяет игрокам быстрее к нему адаптироваться.

В условиях высокой конкуренции запутанный и неграмотный дизайн интерфейса способен оттолкнуть пользователя. Не существует универсального интерфейса, подходящего для каждой игры, но знание и следование основным принципам разработки UI позволит избежать распространенных грубых ошибок.

Рассмотрим подробнее данные принципы разделив их на две основные группы: психологические и фундаментальные.

К психологическим принципам проектирования интерфейса относятся те, которые связаны с особенностями функционирования человеческого мозга и влиянием культурных факторов. [1]

1. Люди в первую очередь обращают внимание на изображения, а затем на сопутствующий текст. Это связано с тем, что наш мозг обрабатывает визуальную информацию быстрее, чем текст или звук. Как только визуальный контент перестает привлекать внимание, люди начинают анализировать текст.

2. Европейский стиль чтения, который предполагает движение взгляда слева направо и сверху вниз, определяет, как мы воспринимаем информацию. В связи с этим сложилось мнение, что наиболее важные элементы следует размещать по диагонали от левого верхнего угла к правому нижнему.

3. В любом интерфейсе присутствуют устоявшиеся аксиоматичные элементы. Когда человек сталкивается с незнакомым интерфейсом, он стремится опираться на знакомые и понятные образы, принципы организации информации или известные элементы. По этой причине символ звонка часто изображается в виде пиктограммы телефонной трубки несмотря на то, что такие трубки уже давно не используются.

4. При изучении нового интерфейса человеку необходимо обработать большие объемы информации. Чем больше новшеств, тем выше уровень стресса. Чтобы облегчить процесс освоения интерфейса, сложные элементы следует разбивать на более простые, избегая подачи всей информации в виде сплошного текста. Этот принцип актуален не только для интерфейсов, но и для внедрения новых игровых механик.

К фундаментальным принципам построения интерфейса относятся те принципы, которые связаны с его логической структурой.

Разберем основные ошибки, связанные с логической структурой построения интерфейсов. [5]

1. Скопление множества элементов на одном экране. Избыточный функционал в одном окне сбивает пользователя с толку и вызывает нежелание углубляться в предлагаемые функции.

2. Отсутствие обратной связи.

Игрок не должен сталкиваться с пустыми окнами или неактивными кнопками. Если он взаимодействует с каким-либо элементом интерфейса, значит, у него есть определенная цель, и он ожидает получить ответ. Поэтому важно предоставлять дополнительную информацию, объясняя, почему тот или иной элемент недоступен. Например, можно указать: «необходимо завершить квест», «достигните 5-го уровня» и так далее.

3. Непоследовательность элементов.

Эта ошибка может возникнуть довольно легко, поскольку геймдизайнер работает над каждым окном отдельно. Однако интерфейс представляет собой единую структуру, которая должна визуально гармонировать. При взаимодействии с различными окнами необходимо использовать одни и те же элементы и формы, иначе пользователю придется тратить больше времени на выполнение игровых задач. Это связано с тем, что в каждом новом окне привычные функции могут быть представлены визуально различными элементами или располагаться в разных частях экрана.

4. Обилие текста.

Игроки обычно не любят читать обучающие материалы и правила, поэтому везде, где это возможно, следует избегать текста. Вместо этого используем миниатюры, пиктограммы и иконки. Чтение во время быстрой навигации по окну затрудняет восприятие информации. Однако стоит быть осторожными, так как полный отказ от текста может привести к неразборчивости интерфейса.

5. Недостаток акцентов

Акцент – это способ выделения элементов интерфейса с помощью цвета, формы или анимации. Когда в инвентаре появляется новый предмет, отметьте его с помощью пиктограммы. Если доступна кнопка, которая ранее была заблокирована, выделите ее с помощью анимации. При получении нового письма отделите его от прочитанных с помощью другого текста.

Разработка игрового интерфейса средствами среды Unity.

Unity предоставляет большой набор инструментов для создания пользовательского интерфейса: Canvas, UI-компоненты, анимации и прочее, но лишь от разработчика зависит насколько визуально понятным в итоге будет проект. В результате разработка пользовательского интерфейса для игр в Unity представляет собой сложную, но увлекательную задачу.

На основе изученных принципов разработки и проделанного анализа был реализован базовый программный интерфейс для 3D фэнтези игры, с которым пользователю будет легко взаимодействовать, он не перегружен лишней информацией и достаточно прост в освоении.

В качестве фонового изображения выбран рисунок храма. Макет будущего интерфейса обработан в графическом редакторе. Все игровые кнопки вынесены в отдельный файл, который разрезается в Unity на отдельные действующие кнопки. Подобный файл называется атласом и служит для оптимизации итогового проекта.

Вариант первой вкладки интерфейса показан на рисунке 1.



Рисунок 1 – окно главной страницы для входа в игру

Внутри самой игры также реализовано окно, вызываемое клавишей Escape. При вызове окна игра становится на паузу, в результате чего можно продолжить игру или выйти в главное меню. Все внутриигровые настройки происходят в главном меню для оптимизации процесса и задачи разработчиков. Главное игровое окно затемняется, отделяя от себя часть интерфейса.

Работа кнопок и итогового отклика игры описаны в соответствующих скриптах на языке C#, каждый скрипт по итогу прикреплен к своему модулю на интерфейсе.

По мере продвижения разработки игрового проекта можно добавлять новые окна, которые должны быть выдержаны в той же тематике и цветовой гамме. Для данного проекта выбраны в качестве основного материала для окон, рамок и кнопок – дерево, а в цветах преобладает красный и оранжевый.

Оптимизация интерфейса с целью улучшения производительности.

Оптимизация пользовательского интерфейса (UI) в играх, разработанных с использованием движка Unity, является одной из ключевых задач, способствующих повышению общей производительности приложения. Эффективный интерфейс не только улучшает взаимодействие пользователя с игрой, но и существенно влияет на производительность, особенно в условиях ограниченных ресурсов, таких как мобильные устройства или старые компьютеры. Когда речь идет о разработке пользовательского интерфейса, важно понимать, что каждый элемент, который отображается на экране, требует ресурсов для его отрисовки. Это включает в себя не только графические элементы, такие как кнопки, текстуры и изображения, но и сложные анимации, эффекты и взаимодействия. В зависимости от сложности интерфейса и количества объектов, которые необходимо отрисовать, производительность игры может значительно пострадать. Если интерфейс перегружен элементами, это может привести к падению частоты кадров, задержкам в откликах на действия пользователя и, в конечном итоге, к ухудшению общего впечатления от игры.

Одним из первых шагов к оптимизации пользовательского интерфейса является анализ текущего состояния UI. Это включает в себя выявление всех элементов, которые присутствуют на экране, и оценку их необходимости. Часто разработчики добавляют больше элементов, чем действительно нужно, исходя из желания сделать интерфейс более информативным или привлекательным.

Существует несколько стратегий, которые могут помочь в уменьшении количества отрисовываемых элементов интерфейса. Во-первых, следует рассмотреть возможность использования динамической отрисовки элементов. Это означает, что элементы интерфейса, которые в данный момент не видны пользователю, могут быть временно отключены или не отрисовываться вовсе. Например, если игра имеет большое количество кнопок или меню, которые не используются одновременно, можно реализовать систему, которая будет скрывать ненужные элементы, оставляя только те, которые актуальны в данный момент. Это не только уменьшает нагрузку на графическую подсистему, но и упрощает взаимодействие пользователя с интерфейсом, так как игрок не будет отвлекаться на лишние элементы.

Другим важным аспектом оптимизации является использование объединения графических элементов. В Unity существует возможность объединять несколько объектов в один, что позволяет сократить количество отрисовываемых объектов. Это может быть особенно полезно для статических элементов интерфейса, таких как фоны, рамки и декоративные элементы. Объединение объектов позволяет уменьшить количество вызовов отрисовки, что, в свою очередь, снижает нагрузку на графический процессор. Однако стоит помнить, что объединение объектов может усложнить управление ними, особенно если требуется изменение их состояния или анимации. Поэтому перед применением этого метода важно взвесить все плюсы и минусы.

Кроме того, следует обратить внимание на использование текстур и материалов. Вместо создания отдельных текстур для каждого элемента интерфейса, можно использовать атлас текстур, который объединяет несколько изображений в одну большую текстуру. Это позволяет значительно сократить количество текстурных переключений, которые также требуют ресурсов. В Unity можно легко создать атлас текстур с помощью инструмента Sprite Atlas, который позволяет объединять спрайты и управлять ими более эффективно. Использование атласов текстур не только улучшает производительность, но

и упрощает управление ресурсами, поскольку все связанные элементы находятся в одном месте. [3]

Наконец, стоит упомянуть о тестировании и профилировании интерфейса. Оптимизация пользовательского интерфейса – это итеративный процесс, который требует постоянного анализа и корректировки. Использование инструментов профилирования, таких как Unity Profiler, позволяет выявить узкие места в производительности и понять, какие элементы интерфейса требуют оптимизации. Профилирование позволяет не только увидеть, сколько ресурсов потребляют различные элементы, но и выявить, какие из них являются наиболее проблемными. Это поможет сосредоточиться на оптимизации именно тех компонентов, которые имеют наибольшее влияние на производительность.

Выводы.

Качественный графический игровой дизайн требует внимания как к функциональности разрабатываемого интерфейса, так и к его эстетической составляющей, а значит грамотного соблюдения баланса между удобством для пользователя и оригинальностью художественной составляющей, делающей игру уникальной.

В работе рассмотрены основные принципы разработки игровых интерфейсов и их оптимизации, также приведены примеры их реализации на практике. Результаты данной работы могут быть применены разработчиками игр, стремящимися повысить уровень взаимодействия своих проектов с игроками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jane, L. Игровые интерфейсы / L. Jane – 2022 URL: <https://www.calameo.com/read/007043396e41e3853bd66> (Дата обращения: 12.02.2025)
2. Бонд, Д, Unity 2020. Программирование игр для начинающих / Д. Бонд. – Москва : Эксмо, 2021. – 512 с.
3. Литвинова, С. Д., Щегильский А. В. Создание 3d персонажа для игровой среды на Unity. Тезисы докладов научной конференции студентов факультета математики и информационных технологий / С.Д. Литвинова, А.В. Щегильский: Сб. науч. и науч.-метод. работ //Донецк: ДонГУ, 2023. – 31 с.
4. Корнилов, А. В. UNITY. Полное руководство. 2-е издание / А. В. Корнилов – СПБ: Наука и Техника, 2021 – 496 с.
5. Хокинс, Дж. Unity 5. Разработка компьютерных игр / Дж. Хокинс - Попурри, 2017. – 58 с.

DEVELOPMENT OF A USER INTERFACE FOR GAMES IN THE UNITY ENVIRONMENT

Annotation. The article discusses the basic principles of user game interface development. Examples of properly structured interfaces are given, and the main design errors are analyzed. It describes possible options for correcting mistakes and tips for adding a game interface.

Keywords: game interface, computer graphics, Unity, interface design features.

Litvinova S.D.

Scientific adviser: Pacheva M.N., Ph.D. in Physics and Mathematics, Associate Professor
Donetsk National University
E-mail: sony_01@inbox.ru

УСИЛЕНИЕ ТЕОРЕМЫ ДЗЯДЫКА О РАВЕНСТВЕ ТРЁХ ПЛОЩАДЕЙ

Пилипенко И.С.

Научный руководитель: Волчков В.В., д-р. физ.-мат. наук, профессор
ФГБОУ ВО «ДонГУ»

Аннотация. Получено усиление теоремы В. К. Дзядыка о геометрическом описании аналитических функций.

Ключевые слова: аналитические функции, теорема В. К. Дзядыка, множество Помпейю, функции с нулевыми интегралами.

Вступление. Всюду в работе u, v – действительные функции, которые заданы в области Ω на плоскости комплексных чисел. Согласно теореме В.К. Дзядыка о геометрическом описании аналитических функций, если $u(x,y)$ и $v(x,y)$ непрерывны вместе со своими частными производными в Ω , то для того чтобы функция $f(x+iy) = u + iv$ была аналитической или сопряженная к аналитической в области Ω , необходимо и достаточно, чтобы все поверхности графиков трёх функций $u, v, \sqrt{u^2 + v^2}$, расположенные над любым компактным подмножеством Ω , имели одинаковую площадь [1]. Теорема Дзядыка получила уточнение и последующее развитие в работах некоторых авторов [2] – [4]. В частности, было показано [2], что в формулировке её условий вместо функции $\sqrt{u^2 + v^2}$ можно взять произвольную гладкую функцию $\varphi(u, v)$, у которой производные не равны нулю тождественно, и для которой выполняются следующие условия

$$\left(\frac{\partial \varphi}{\partial u} \right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial v} \right)^2 = 1 \quad \frac{\partial \varphi}{\partial u} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial v} \neq 0 \quad (1)$$

Примером такой функции может быть $\varphi = \alpha u + \beta v$, где α, β – действительные ненулевые константы такие, что $\alpha^2 + \beta^2 = 1$. Снятие такого условия, как непрерывность функций u, v вместе с их частными производными, является затруднительным. Пример функции Бора $w = x + i|y|$ на плоскости демонстрирует, что даже условие Липшица не может обеспечить выполнение теоремы. Несмотря на это, для отдельных φ теорема Дзядыка допускает усиление, если требовать лишь существование u_x', u_y', v_x', v_y' везде в области вместо их непрерывности [3].

Для всякой функции $f \in C^1(\Omega)$ и компактного множества $A \subset \Omega$ символом $S(f, A)$ обозначим площадь поверхности графика f , расположенной над A . Обозначим также

$$f_1 = u, \quad f_2 = v, \quad f_3 = \varphi(u, v),$$

где $\varphi \in C^1(\mathbb{R}^2)$ – заданная функция с условием (1). В монографии [4, часть 5, гл. 4] рассмотрена следующая проблема.

ПРОБЛЕМА 1. Определим \mathbf{A} как некоторую совокупность компактных подмножеств Ω и $u, v \in C^1(\Omega)$. Пусть

$$S(f_1, A) = S(f_2, A) = S(f_3, A) \quad \text{для любого } A \in \mathbf{A}. \quad (2)$$

Каким условиям должна удовлетворять \mathbf{A} , чтобы можно было утверждать, что хотя бы одна из функций $u + iv, u - iv$ аналитическая в Ω ?

Например, если \mathbf{A} – это все компактные подмножества Ω с нулевой мерой, то этого утверждать нельзя (в этом случае условие (2) выполняется для всех $u, v \in C^1(\Omega)$).

Через символ \mathcal{D}_Ω обозначим множество пар функций u, v в Ω , таких что хотя бы одна из функций $u + iv, u - iv$ аналитическая в Ω . В работе [4, часть 5, гл. 4] были получены положительные результаты, связанные с проблемой 1. Доказано, что если $u, v \in C^1(\Omega)$, то из (2) следует, что $u, v \in \mathcal{D}_\Omega$ в том случае, когда $\mathbf{A} = \{\lambda A\}$, где A – фиксированное множество Помпейю в Ω , а λ – любой элемент группы евклидовых движений комплексной плоскости, для которого $\lambda A \subset \Omega$. В связи с этим возникает вопрос, будут ли такие же результаты и для семейства Помпейю? Определение множеств Помпейю, семейства Помпейю и их основные свойства см. в [4, часть 4], [5, гл. 19], [6, часть 2], [7]. В данной работе рассмотрен случай, когда \mathbf{A} является совокупностью всех замкнутых единичных квадратов и всех замкнутых единичных полукругов, лежащих в открытом круге (открытый круг обозначим как $B_R = \{z \in \mathbb{C} : |z| < R\}$). Приведённая ниже теорема 1 – центральный итог статьи.

ТЕОРЕМА 1. Пусть $R > \frac{\sqrt{65}}{8}$, u, v – вещественнозначные функции класса $C^1(B_R)$. Тогда

для того, чтобы одна из функций $u + iv, u - iv$ была аналитическая в B_R , необходимо и достаточно, чтобы

1) площади поверхностей графиков функций u, v , $\sqrt{u^2 + v^2}$, расположенных над любым замкнутым единичным квадратом $K \subset B_R$ были равны,

2) площади поверхностей графиков функций u, v , $\sqrt{u^2 + v^2}$, расположенных над любым замкнутым единичным полукругом $D \subset B_R$ были равны.

Основная часть.

1. Вспомогательные утверждения. Под M будем понимать группу евклидовых движений плоскости комплексных чисел \mathbb{C} . Совокупность движений из M , которые оставляют компактное множество $A \subset C$ внутри B , обозначим соответственно $Mt(A, B) = \{\lambda \in M : \lambda A \subset B\}$, $B(r, R) = \{z \in \mathbb{C} : r < |z| < R\}$.

Пусть $\mathfrak{P}(A, B)$ – класс локально интегрируемых в B функций, удовлетворяющие равенству $\int\limits_{\lambda A} f(z) dz = 0$ для всех $\lambda \in Mt(\bar{A}, B)$. Прибавляя непрерывную

дифференцируемость, получим соответствующий функциональный класс $\mathfrak{P}^k(A, B) = \mathfrak{P}(A, B) \cap C^k(B)$, где k натуральное число, $\mathfrak{P}^\infty(A, B) = \mathfrak{P}(A, B) \cap C^\infty(B)$.

Всюду в дальнейшем точка $(x, y) \in \mathbb{R}^2$ отождествляется с комплексным числом $z = x + iy$.

$$K = \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 : |x| \leq \frac{1}{2}, |y| \leq \frac{1}{2}\}$$

$$D = \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 : x^2 + y^2 \leq 1, x \geq 0\}.$$

Назовём вершины квадрата $K : A_K, B_K, C_K, D_K$, полуокружности $D : Q_D, W_D$.

Пусть $O(0,0), \rho(e) = \rho(O, \lambda e) = \inf \{\|\overrightarrow{OX}\| : X \in e\}$ – расстояние от центра круга до элемента λe множества λE (квадрата λK или полуокружности λD) при условии

$\lambda \in \text{Mt}(E, B_R)$. В зависимости от значения R ($\frac{\sqrt{5}}{2} > R > 1$), рассмотрим некоторые важные максимальные и минимальные возможные расстояния до соответствующих элементов:

$$\begin{aligned}\sup(A) &= \sup \{\rho(A_K)\}, \inf(A) = \inf \{\rho(A_K)\}, \\ \sup(AB) &= \sup \{\rho(A_K B_K)\}, \inf(AB) = \inf \{\rho(A_K B_K)\}, \\ \sup(QW) &= \sup \{\rho(Q_D W_D)\}, \inf(QW) = \inf \{\rho(Q_D W_D)\}.\end{aligned}$$

Применяя геометрические рассуждения, подробно приведённые в [7], получим лемму 1.

ЛЕММА 1. Пусть $\frac{\sqrt{5}}{2} > R > 1$. Тогда

$$\begin{aligned}\sup(A) &= R, \inf(A) = \sqrt{2} - R, \\ \sup(AB) &= \sqrt{R^2 - \frac{1}{4}}, \inf(AB) = 1 - \sqrt{R^2 - \frac{1}{4}}, \\ \sup(QW) &= \sqrt{R^2 - 1}, \inf(QW) = 0.\end{aligned}\tag{3}$$

В следующих леммах 2-6 рассмотрим только формулировки (их доказательства можно найти [7], [4]).

ЛЕММА 2. Пусть ∂ – частная (в том числе и смешанная) производная любого порядка функции $f \in \mathfrak{P}^\infty(A, B)$. Тогда $\partial f \in \mathfrak{P}^\infty(A, B)$.

ЛЕММА 3. Если f непрерывна в B_R и $\forall \lambda \text{ Mt}(K, B_R) = \{\lambda \in M : \lambda K \subset B_R\}$

$\int\limits_{\lambda K} f dx dy = 0$, то смешанная разность от f по вершинам любого единичного замкнутого квадрата K из B_R равна 0.

ЛЕММА 4. Пусть $f \in C^k(B_R)$. Все производные от f k -го порядка равны нулю тогда и только тогда, когда f – многочлен степени не выше $k-1$.

ЛЕММА 5. Предположим, что $f(x, y) = \sum_{q=1}^n \sum_{j=1}^m a_{qj} x^q y^j$. Пусть также $\int\limits_{\lambda A} f(x, y) dx dy = 0$

$\forall \lambda \text{ Mt}(A, B) = \{\lambda \in M : \lambda A \subset B\}$, где A – компакт в \mathbb{R}^2 ненулевой меры, B – некоторое открытое множество. Тогда $f \equiv 0$.

ЛЕММА 6. Пусть $\delta > 0$ и функция $f \in C\left(B\left(\frac{\sqrt{2}}{2} - \delta, \frac{\sqrt{2}}{2} + \delta\right)\right)$. Пусть также смешанная

разность от f по вершинам любого единичного замкнутого квадрата, все вершины которого лежат в $B\left(\frac{\sqrt{2}}{2} - \delta, \frac{\sqrt{2}}{2} + \delta\right)$, равны 0.

Тогда

$$f(x, y) = b_0 x^2 + b_0 y^2 + b_1 x + b_2 y + b_3, \tag{4}$$

где b_0, b_1, b_2, b_3 – фиксированные константы.

ЛЕММА 7. Пусть $R > \frac{\sqrt{65}}{8}$ и $f \in L_{loc}(B_R)$. Пусть также $\forall D \subset B_R$ и $\forall K \subset B_R$

$$\int_D f(x, y) dx dy = \int_K f(x, y) dx dy = 0.$$

Тогда $f = 0$.

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО. Будем считать, что $f \in C^\infty(B_R)$ (это не является частным случаем, так как при необходимости можно использовать стандартный приём сглаживания).

Пусть $\frac{\sqrt{5}}{2} > R > \frac{\sqrt{65}}{8}$. Тогда верно неравенство

$$1 > 2(\sqrt{2} - R)$$

Рассмотрим следующее кольцо

$$B(\sqrt{2} - R, R) = \{(x, y) \in R^2 : (\sqrt{2} - R)^2 < x^2 + y^2 < R^2\}.$$

Функция f подходит под условия леммы 6, так как справедлива лемма 3. В таком случае актуальна формула (4), т.е. $f(x, y) = f(x, y) = b_0 x^2 + b_0 y^2 + b_1 x + b_2 y + b_3$.

Исследуем одну из частных производных третьего порядка данной функции:

$F(x, y) = \frac{\partial^3 f(x, y)}{\partial x^3} = 0$. Отсюда $F \equiv 0$ в $B(\sqrt{2} - R, R)$ и выполнены условия рассматриваемой теоремы, так как справедлива лемма 2.

Поскольку $\sqrt{R^2 - \frac{1}{4}} > \sqrt{2} - R$ при заданном радиусе, $F = 0$ и в кольце больших радиусов

$$B(1 - \sqrt{R^2 - \frac{1}{4}}, R) = \{(x, y) \in R^2 : \left(1 - \sqrt{R^2 - \frac{1}{4}}\right)^2 < x^2 + y^2 < R^2\}$$

(см. [8]).

Так как верно и неравенство $\sqrt{R^2 - 1} > 1 - \sqrt{R^2 - \frac{1}{4}}$ получаем, с учётом равенств из леммы 1, что $F = 0$ во всём B_R (см. [9]).

Из этого, $F(x, y) = \frac{\partial^3 f(x, y)}{\partial x^3} = 0$ во всём B_R . Так как производная функции $f(x, y)$ была выбрана произвольно, можем утверждать, что каждая производная третьего порядка от функции f равна нулю в B_R . Тогда, согласно лемме 6, f – многочлен степени не выше 2. Согласно пятой лемме $f = 0$.

2. Доказательство теоремы 1.

Из самой теоремы В.К.Дзядыка [1] вытекает выполнение необходимости. Чтобы обосновать достаточность введём

$$f_1 = \left(1 + \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2\right)^{1/2}; \quad f_2 = \left(1 + \left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2\right)^{1/2};$$

$$f_3 = \left(1 + \left(\frac{\partial}{\partial x} \sqrt{u^2 + v^2}\right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial y} \sqrt{u^2 + v^2}\right)^2\right)^{1/2}.$$

Из условия имеем

$$\int_{\lambda K} f_1 dx dy = \int_{\lambda K} f_2 dx dy = \int_{\lambda K} f_3 dx dy \quad \text{и} \quad \int_{\lambda D} f_1 dx dy = \int_{\lambda D} f_2 dx dy = \int_{\lambda D} f_3 dx dy$$

при любом $\lambda \in M : \lambda K \subset B_R, \lambda D \subset B_R$.

Исследуем разности

$$\int_{\lambda K} f_1 dx dy - \int_{\lambda K} f_2 dx dy = \int_{\lambda K} (f_1 - f_2) dx dy = 0 \quad \text{и} \quad \int_{\lambda D} f_1 dx dy - \int_{\lambda D} f_2 dx dy = \int_{\lambda D} (f_1 - f_2) dx dy = 0.$$

По лемме 7 $f_1 - f_2 = 0$. Тогда $f_1 = f_2$. Аналогично установим равенства между другими функциями $f_1 = f_2 = f_3$. Отсюда следует равенство указанных в теореме 1 площадей, расположенных над любым измеримым подмножеством B_R .

В силу теоремы В.К.Дзядыка [1] получаем, что одна из функций $u + iv, u - iv$ аналитическая в B_R .

Выводы. В работе были рассмотрены функции с нулевыми интегралами по всем замкнутым единичным квадратам и всем замкнутым единичным полукругам, лежащие в открытом круге. Установлено усиление известной теоремы В. К. Дзядыка [1] о геометрическом описании аналитических функций. Полученные результаты могут быть использованы в дальнейшем развитии теоретической части вопроса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дзядык В. К. Геометрическое определение аналитических функций / В.К. Дзядык // УМК. – 1960. – Т. 15. – Вып. 1(91). – С. 191–194.
2. Goodman A. On the criterium of analytical function / A. Goodman // Amer. Math. Monthly. – 1964. – V. 71. – P. 265–267.
3. Трохимчук Ю. Ю. Об одном критерии аналитичности функции / Ю. Ю. Трохимчук // Укр. мат. журн. – 2007. – Т.59, № 10. – С. 1410–1418.
4. Volchkov V. V. Integral Geometry and Convolution Equations / V. V. Volchkov. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. – 454 p.
5. Volchkov V. V., Volchkov Vit. V. Harmonic Analysis of Mean Periodic Functions on Symmetric Spaces and the Heisenberg Group / V. V. Volchkov., Vit. V. Volchkov. – London: Springer-Verlag, 2009. – 671 p.
6. Volchkov V. V., Volchkov Vit. V. Offbeat Integral Geometry on Symmetric Spaces / V. V. Volchkov., Vit. V. Volchkov. – Basel: Birkhäuser, 2013. – 592 p.
7. Волчков В. В. Экстремальные задачи, связанные с множествами Помпейю/ В. В. Волчков, И. С. Пилипенко// Вестник Донецкого национального университета. Сер. А: Естественные науки. – 2022. – № 2 – С. 13–20.
8. Волчков В. В. О функциях с нулевыми интегралами по кубам/ В. В. Волчков// Укр. мат. журн. – 1991. – Т.43 – № 6 – С. 859–863.
9. Волчков В. В. Экстремальные варианты проблемы Помпейю / В. В. Волчков// Математические заметки. – 1996. – Т.59 – № 5 – С. 671–680.

STRENGTHENING OF DZIADYK'S THEOREM ON THE EQUALITY OF THREE AREAS

Annotation. A strengthening of V. K. Dzyadyk's theorem on the geometric description of analytical functions is obtained.

Keywords: analytical functions, V. K. Dziadyk's theorem, the Pompey set, functions with zero integrals.

Pilipenko I.S.

Scientific adviser: Volchkov V.V., Ph.D., professor
Donetsk State University
E-mail: irinasergeevnapilipenko@yandex.ru

УДК 004.655

ПОДСИСТЕМА ОЦЕНКИ И АНАЛИЗА ЗАПРОСОВ В ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЯХ ОБУЧАЮЩЕГО WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ «ЯЗЫК SQL В СУБД MS SQL SERVER»

Седых М.О.

*Научный руководитель: Шевцов Д.В., д-р техн. наук, доцент
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

Аннотация: Описана подсистема оценки и анализа SQL-запросов, разработанная для обучающего web-приложения «Язык SQL в СУБД MS SQL Server». Подсистема использует искусственный интеллект для построения графа принятия решений на основе служебных слов SQL, анализирует запросы пользователей в практических заданиях и предоставляет детальную обратную связь.

Ключевые слова: MS SQL Server, обучающее web-приложение, анализ запросов, искусственный интеллект, граф принятия решений.

Введение.

В современном мире, где данные играют ключевую роль в принятии бизнес-решений, знание языка SQL становится неотъемлемым навыком для специалистов в области информационных технологий. Эффективное обучение SQL является важной задачей, требующей разработки интерактивных и адаптивных обучающих инструментов. Проблема заключается в том, что традиционные методы обучения SQL часто полагаются на ручную проверку заданий, что является трудоемким и не всегда обеспечивает своевременную и детализированную обратную связь. С другой стороны, автоматизированные системы оценки часто ограничиваются простым сравнением результатов запроса с эталонным, не предоставляя пользователю глубокого понимания причин ошибок.

В связи с этим, актуальность данной темы обусловлена необходимостью разработки инновационных подходов к обучению SQL, позволяющих автоматизировать процесс оценки и анализа запросов, предоставлять пользователям персонализированную обратную связь и повышать эффективность обучения. Использование искусственного интеллекта, в частности, методов обработки естественного языка и построения графов принятия решений, открывает новые возможности для создания интеллектуальных обучающих систем, способных анализировать запросы пользователей на семантическом уровне и выявлять причины ошибок.

Задачи исследования:

1. Провести анализ существующих методов и инструментов обучения SQL и выявить их недостатки.
2. Разработать архитектуру подсистемы оценки и анализа SQL-запросов для обучающего web-приложения.
3. Реализовать алгоритм построения графа принятия решений на основе служебных слов SQL.
4. Интегрировать подсистему с Chat GPT API для анализа запросов пользователей и предоставления детализированной обратной связи.
5. Провести оценку эффективности разработанной подсистемы.

Цель исследования:

Целью исследования является разработка и апробация подсистемы оценки и анализа SQL-запросов, интегрированной в обучающее web-приложение «Язык SQL в СУБД MS SQL Server», которая позволит автоматизировать процесс проверки практических заданий, предоставлять пользователям немедленную, детализированную обратную связь и способствовать более эффективному обучению основам языка T-SQL в контексте работы с СУБД MS SQL Server. При этом ключевым элементом является использование

искусственного интеллекта для анализа семантики запросов и выявления причин ошибок, что позволит предоставить пользователю персонализированную помощь и повысить его понимание материала.

Основная часть. Создание обучающих web-приложений для освоения SQL открывает новые возможности для повышения качества и доступности обучения. Однако, для того, чтобы такие приложения были по-настоящему эффективными, необходима реализация механизмов оценки и анализа запросов, позволяющих пользователям получать обратную связь о правильности своих действий и отслеживать свой прогресс.

В этой статье рассматривается подсистема оценки и анализа запросов, разработанная для web-приложения «Язык SQL в СУБД MS SQL Server», направленного на обучение основам языка SQL в контексте работы с СУБД MS SQL Server, широко используемой в различных сферах деятельности.

Подсистема оценки и анализа запросов состоит из следующих основных компонентов:

1. Интерфейс ввода запросов: Пользовательский интерфейс, позволяющий вводить SQL-запросы и отправлять их на выполнение. Он должен быть интуитивно понятным и удобным для пользователя, а также обеспечивать возможность форматирования запроса для повышения читаемости.

2. Система выполнения запросов: Компонент, отвечающий за выполнение введенных запросов в контексте учебной базы данных MS SQL Server. Для обеспечения безопасности и изоляции, движок может быть реализован в виде отдельного сервиса, работающего с копией учебной базы данных.

3. Анализатор результатов: Модуль, сравнивающий полученные результаты выполнения запроса с ожидаемым результатом, заданным в обучающем материале. Анализ должен учитывать не только соответствие данных, но и порядок строк и столбцов.

4. Система оценки: Модуль, формирующий оценку запроса на основе сравнения полученных и ожидаемых результатов с помощью графа принятия решений для оценки правильности запроса. Этот компонент использует искусственный интеллект для анализа запроса и выявления ошибок на семантическом уровне.

5. Система обратной связи: Компонент, предоставляющий пользователю информацию о результатах выполнения запроса и оценке, в том числе о причинах ошибок и рекомендациях по улучшению запроса. Система обратной связи должна быть персонализированной и адаптивной, учитывая уровень знаний пользователя и тип задания.

Принцип работы следующий – при выполнении практического задания пользователь вводит SQL-запрос в соответствующее поле интерфейса. Запрос передается на обработку системе выполнения, который выполняет его в контексте учебной облачной базы данных MS SQL Server. Результаты выполнения запроса (таблица данных) передаются в анализатор результатов, который сравнивает их с ожидаемым результатом, заданным в обучающем материале.

Анализатор результатов определяет, соответствуют ли полученные данные ожидаемым, и выявляет ошибки в запросе. Система оценки формирует оценку запроса, учитывая правильность и эффективность его выполнения. Ключевым элементом системы оценки является использование графа принятия решений, построенного на основе анализа служебных слов SQL и их взаимосвязей. Этот граф позволяет системе определить логическую структуру запроса и выявить ошибки, связанные с неправильным использованием операторов, функций и условий.

Например, если пользователь неправильно использует оператор JOIN, система может выявить это, анализируя структуру графа и определяя, какие таблицы и столбцы участвуют в соединении, и какое условие соединения используется. Если пользователь использует неправильную агрегатную функцию (например, SUM вместо AVG), система может выявить это, анализируя служебные слова и определяя, какие столбцы обрабатываются, и какое условие фильтрации применяется к результатам агрегации.

Для предоставления более детализированной обратной связи, система интегрируется с Chat API. В случае, если анализатор результатов выявляет ошибки, запрос пользователя отправляется в Chat API, который анализирует запрос на естественном языке и генерирует персонализированные рекомендации по исправлению ошибок. Например, Chat API может предложить пользователю альтернативные варианты синтаксиса, объяснить значение служебных слов или указать на логические ошибки в запросе.

Информация об оценке, причинах ошибок и рекомендациях по улучшению запроса предоставляется пользователю через систему обратной связи.

Для разработки приложения используются C# (.NET 8) и TypeScript, с применением React для создания пользовательского интерфейса и ASP.NET Web API для реализации RESTful API. Архитектура проекта основана на принципах чистой архитектуры. Для работы с данными используются ORM Entity Framework Core и микро-ORM Dapper, оптимизирующий выполнение практических SQL-запросов пользователей. AutoMapper автоматизирует проецирования объектов, а JWT Bearer обеспечивает аутентификацию. В качестве СУБД используется MS SQL Server. Serilog отвечает за ведение логов, а FluentValidation – за валидацию моделей. Docker используется для контейнеризации, Redis – для кэширования. Покрытие unit-тестами обеспечивается с помощью xUnit, Moq и AutoFixture. Для сбора и визуализации метрик используются Prometheus и Grafana. Применение MediatR реализует паттерн CQRS, а BenchmarkDotNet – для бенчмаркинга. Пользовательский интерфейс, разработанный на React и TypeScript, стилизован с использованием Bootstrap5. Приложение спроектировано с использованием современных методологий, что обеспечивает его гибкость, расширяемость, отзывчивость, стабильность и надежность. Использование чистой архитектуры и ORM Entity Framework Core упрощает адаптацию системы к различным требованиям.

Алгоритм построения графа принятия решений.

Ключевым элементом подсистемы оценки является алгоритм построения графа принятия решений, основанный на анализе служебных слов SQL и их взаимосвязей. Этот граф представляет собой структурированное представление запроса, отражающее логическую последовательность операций и условий. Алгоритм состоит из следующих этапов:

1. Токенизация запроса: Исходный SQL-запрос разделяется на отдельные токены (лексемы), такие как служебные слова (SELECT, FROM, WHERE, JOIN и т.д.), идентификаторы (имена таблиц, столбцов), операторы (=, <, >, IN, LIKE и т.д.), значения и разделители (скобки, запятые).

2. Определение типа токена: Каждому токену присваивается тип в соответствии с его ролью в запросе. Например, SELECT – служебное слово, CustomerID – идентификатор столбца, 123 – числовое значение.

3. Построение синтаксического дерева: На основе последовательности токенов строится синтаксическое дерево, отражающее грамматическую структуру запроса. Этот этап использует правила синтаксиса SQL для определения взаимосвязей между токенами. Например, синтаксическое дерево отразит, что CustomerID является столбцом, выбираемым оператором SELECT из таблицы Customers, указанной в операторе FROM.

4. Преобразование синтаксического дерева в граф принятия решений: Синтаксическое дерево преобразуется в граф принятия решений. Узлы графа соответствуют отдельным операциям и условиям запроса (например, выбор столбцов, фильтрация по условию, соединение таблиц). Ребра графа отражают зависимости между операциями. Например, узел, представляющий фильтрацию по условию WHERE, будет иметь ребро, указывающее на узел, представляющий таблицу, из которой происходит фильтрация.

5. Анализ графа и выявление ошибок: Построенный граф анализируется на предмет соответствия логике SQL и наличия возможных ошибок. Например, проверяется, что все таблицы, указанные в запросе, существуют в базе данных, что типы данных столбцов,

используемых в условиях, согласованы, и что логические условия сформулированы корректно.

6. Генерация обратной связи: На основе выявленных ошибок генерируется детализированная обратная связь для пользователя. Обратная связь может содержать описание ошибки, указание на место ошибки в запросе и предложения по ее исправлению.

Разработанная подсистема обладает рядом преимуществ:

1. Автоматизированная оценка: Оценка запросов происходит автоматически, что позволяет освободить преподавателя от рутинной проверки.

2. Немедленная обратная связь: Пользователь получает мгновенную информацию о результатах выполнения запроса и оценке, что способствует более эффективному обучению.

3. Подробная информация об ошибках: Подсистема предоставляет подробную информацию о причинах ошибок в запросе, что позволяет пользователю лучше понять и исправить их. Например, если запрос неверно указал имя столбца, система может указать на это, предложив варианты правильных имен.

4. Индивидуальный подход: Подсистема может быть настроена для предоставления индивидуальной обратной связи в зависимости от уровня пользователя и типа задания. Например, для начинающих пользователей система может предоставлять более подробные объяснения и подсказки, а для опытных пользователей — более лаконичную информацию.

5. Использование искусственного интеллекта: Интеграция с Chat GPT API позволяет предоставить пользователю персонализированную помощь и рекомендации, основанные на анализе запроса на естественном языке.

При проектировании подсистемы значительное внимание уделялось обеспечению надежности, безопасности и удобства развертывания. Несмотря на монолитную архитектуру приложения, предприняты меры по модульному построению компонентов подсистемы, что облегчает поддержку и внесение изменений. Реализованы механизмы логирования и мониторинга, позволяющие отслеживать работу системы и оперативно реагировать на возникающие проблемы. Безопасность обеспечивается за счет применения параметризованных запросов для защиты от SQL-инъекций, валидации входных данных и разграничения прав доступа. Разворачивание приложения упрощается за счет использования Docker для создания контейнера, содержащего все необходимые зависимости. Выбор монолитной архитектуры был обусловлен соображениями простоты разработки и развертывания на начальном этапе проекта, а также специфическими требованиями к производительности и безопасности.

В долгосрочной перспективе у данного приложения есть возможности расширения и добавления функционала в виде создания более продуманных технически практических заданий, и использования искусственного интеллекта для оценки запроса пользователя, реализации онлайн занятий по другим направлениям, например, различным языкам программирования, и встраивания компилятора для работы с языками. Также, планируется разработка системы адаптивного обучения, которая будет подстраивать сложность заданий и объем предоставляемой помощи в зависимости от прогресса пользователя.

Важность использования графа принятия решений: Применение графа принятия решений для оценки правильности запроса является ключевым элементом подсистемы. Граф позволяет не просто определить, верен ли запрос, но и выделить конкретные ошибки, которые привели к неверному результату. Это позволяет системе предоставлять более точную и полезную обратную связь пользователю, направляя его к более эффективному решению проблемы. В дальнейшем, планируется расширение функциональности графа принятия решений, включая поддержку более сложных SQL-конструкций и интеграцию с другими источниками знаний, такими как документация по SQL и примеры кода.

Заключение.

Разработанная подсистема оценки и анализа запросов представляет собой ключевой элемент обучающего web-приложения «Язык SQL в СУБД MS SQL Server», существенно повышая эффективность обучения языку SQL. Автоматизация процесса оценки, предоставление мгновенной обратной связи и детализированный анализ ошибок создают благоприятную среду для активного обучения и углубленного понимания языка запросов. Использование искусственного интеллекта и графа принятия решений позволяет реализовать персонализированный подход к обучению, предоставляя пользователям релевантные рекомендации и помощь, что значительно повышает эффективность освоения материала. В результате, подсистема способствует формированию прочных навыков и уверенности в использовании SQL для решения практических задач.

Перспективы развития данного проекта видятся весьма широкими. В дальнейшем, планируется не только расширение функциональности подсистемы для работы с более сложными SQL-конструкциями и типами заданий, но и интеграция с другими обучающими платформами, что позволит создать единую экосистему для изучения различных аспектов работы с данными. Особое внимание будет уделено разработке адаптивной системы обратной связи, которая сможет подстраиваться под индивидуальные потребности и темп обучения каждого пользователя, предлагая наиболее эффективные стратегии обучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Диго, С. М. Базы данных. Проектирование и создание: учебно-методический комплекс / С. М. Диго. — Москва: Издательский центр ЕАОИ, 2008. — 171 с.
2. Администрирование Microsoft SQL Server 2000: учебный курс MCSA/MCSE, MCDBA / пер. с англ.; 2-е изд., испр. — Москва: Издательско-торговый дом Русская Редакция, 2002. — 640 с.
3. Как выполняются запросы в MS SQL Server: электронный ресурс // Хабр: официальный сайт. — 2021. — URL: <https://habr.com/ru/articles/573438/> (дата обращения: 10.02.2025).
4. Исследуем базы данных с помощью T-SQL: электронный ресурс // Хабр: официальный сайт. — 2014. — URL: <https://habr.com/ru/articles/241079/> (дата обращения: 09.02.2025).
5. SQL Server, темная сторона AlwaysOn: электронный ресурс // Хабр: официальный сайт. — 2024. — URL: <https://habr.com/ru/articles/836386/> (дата обращения: 05.02.2025).

SUBSYSTEM FOR ASSESSING AND ANALYZING REQUESTS IN PRACTICAL TASKS OF THE TRAINING WEB APPLICATION "SQL LANGUAGE IN MS SQL SERVER DBMS"

Annotation: The paper describes a subsystem for evaluating and analyzing SQL queries developed for the educational web application "SQL Language in MS SQL Server DBMS". The subsystem uses artificial intelligence to build a decision-making graph based on SQL service words, analyzes user queries in practical tasks and provides detailed feedback.

Keywords: MS SQL Server, educational web application, query analysis, artificial intelligence, decision-making graph.

Sedykh M.O.

Scientific adviser: Shevtsov D.V., associate professor Donetsk State Univertisty
E-mail: max_se@bk.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИКИ ИГРОВЫХ ОБЪЕКТОВ В СРЕДЕ UNITY

Щегильский А.В.

*Научный руководитель: Пачева М.Н., канд. физ.-мат. наук, доцент
ФГБОУ ВО «ДонГУ»*

Аннотация. В работе рассматриваются подходы к реализации физики игровых объектов, что охватывает такие аспекты, как динамика движения объектов, анимация, моделирование свойств физических сред и материалов, а также работа с гравитацией и силами. Изучаются возможности использования инструментов среды разработки Unity для моделирования описанных процессов.

Ключевые слова: физика игровых объектов, моделирование физических процессов, разработка видеоигр, Unity.

Введение. Современные видеоигры представляют собой сложные и многогранные системы, в которых взаимодействие различных игровых объектов и реализация физики играют ключевую роль в создании увлекательного и правдоподобного игрового опыта. Одной из наиболее популярных платформ для разработки игр является Unity, которая предоставляет разработчикам мощные инструменты для моделирования физики объектов и создания интерактивной среды. В условиях стремительного развития технологий и растущих требований игроков к качеству и реалистичности игр, понимание основ физики и ее применения в игровой индустрии становится необходимостью для разработчиков.

Объектом исследования является процесс создания и реализации физики игровых объектов, что включает в себя их движение, анимацию, взаимодействие с окружающей средой и применение различных физических законов.

Предметом исследования выступает использование инструментов и возможностей игрового движка Unity для моделирования этих физических процессов. Важным аспектом являются вопросы оптимизации моделирования для достижения высокой производительности и реалистичности в играх, что делает данное исследование актуальным для разработчиков игр и специалистов в области компьютерной графики.

Целью исследования в данной работе является применение эффективных методов моделирования, которые обеспечивают реалистичное взаимодействие игровых объектов в виртуальной среде. Задачи исследования включают изучение основ физики в играх, моделирование движения объектов с учетом различных сил и гравитации, создание анимации для динамичного поведения объектов, а также моделирование свойств материалов. Кроме того, особое внимание уделяется оптимизации процессов моделирования для повышения производительности и улучшения пользовательского опыта в играх, что позволяет создать более увлекательные и правдоподобные игровые миры.

Физика в играх – это сложная и многогранная область, которая требует глубокого понимания физических принципов и их применения в игровом дизайне. Разработчики используют физические модели для создания реалистичного поведения объектов, что способствует погружению игроков в игровой процесс. Умение управлять движением, столкновениями, силами и энергией позволяет создавать увлекательные и интерактивные механики, которые делают игры более интересными и разнообразными. Важно отметить, что физика в играх – это не только вопрос реализма, но и вопрос игрового дизайна, где разработчики могут использовать физические концепции для создания уникальных игровых механик и головоломок. Физика является важным элементом в разработке видеоигр, обеспечивая реалистичное поведение объектов и

взаимодействие с окружающей средой. Разработчики, обладающие знаниями в области физики, могут создавать более качественные и инновационные продукты, которые будут востребованы на рынке видеоигр.

Моделирование в среде разработки Unity. Моделирование движения объектов и симуляция их поведения в игровых средах является одной из ключевых задач в разработке компьютерных игр. В этом контексте Unity, как одна из самых популярных платформ для разработки игр, предоставляет разработчикам мощные инструменты для реализации физики и динамики объектов. В частности, компонент Rigidbody в Unity играет центральную роль в симуляции движения, позволяя создавать реалистичные взаимодействия между игровыми объектами, которые подвержены влиянию физических законов.

Rigidbody – это компонент, который добавляется к игровому объекту, чтобы сделать его подверженным физическим воздействиям, таким как сила тяжести, столкновения и другие физические взаимодействия. Когда объект имеет компонент Rigidbody, он становится частью физического движка Unity, который отвечает за расчеты движения, столкновений и других физических эффектов. Основной задачей при использовании Rigidbody является правильная настройка параметров и применение сил для достижения желаемого поведения объекта в игре [2].

Одной из основных характеристик Rigidbody является его масса, которая определяет, как объект реагирует на силы, такие как гравитация и другие внешние воздействия. Масса объекта влияет на его инерцию; чем больше масса, тем труднее изменить его скорость или направление движения. В Unity можно легко настроить массу объекта через инспектор, просто указав значение в соответствующем поле. Важно отметить, что правильная настройка массы является критически важной, особенно при проектировании игр, где объекты взаимодействуют друг с другом. Например, в играх, где игрок управляет автомобилем, масса автомобиля должна быть значительной, чтобы обеспечить реалистичное поведение при столкновениях и маневрировании [5].

Сила тяжести – еще один важный аспект, который необходимо учитывать при работе с Rigidbody. По умолчанию Unity применяет силу тяжести к объектам с компонентом Rigidbody, что позволяет им падать вниз с определенной скоростью. Однако в некоторых случаях разработчики могут захотеть отключить гравитацию для определенных объектов, например, для летающих объектов или платформ. Это можно сделать, установив флагок "Use Gravity" в инспекторе компонента Rigidbody. В таких случаях разработчики могут применять свои собственные силы для управления движением объектов, что позволяет создавать уникальные механики игры [3].

Движение объектов с использованием Rigidbody осуществляется через применение сил. В Unity есть несколько методов для этого, включая AddForce, AddTorque и другие. Метод AddForce позволяет применять силу к объекту в определенном направлении, что приводит к изменению его скорости. Это особенно полезно для создания эффектов, таких как толчки, прыжки и другие динамичные движения. Например, если игрок управляет персонажем, который должен прыгнуть, можно использовать метод AddForce для применения силы вверх, что заставит персонажа подняться в воздух. При этом важно учитывать, что сила, применяемая к объекту, должна быть достаточной для преодоления силы тяжести, иначе объект не сможет подняться.

Другим важным аспектом работы с Rigidbody является управление столкновениями. В Unity существует система коллайдеров, которые определяют физическую форму объектов и позволяют им взаимодействовать друг с другом. Коллайдеры могут быть различной формы, включая кубы, сферы и капсулы, и могут быть настроены для определения, как объекты будут сталкиваться и реагировать друг на

друга. Изначально, объекты не имеют коллайдера, что позволяет объектам проходить сквозь другие объекты (рис. 1).

При использовании `Rigidbody` и коллайдеров разработчики могут создать реалистичные сцены, в которых объекты будут сталкиваться, отскакивать и взаимодействовать друг с другом в соответствии с физическими законами. Например, в игре с мячом и стенами, когда мяч сталкивается со стеной, он должен отскакивать от нее,



Рисунок 1. Движение объекта без коллайдера

и это поведение можно реализовать с помощью правильно настроенных коллайдеров и `Rigidbody`.

Кроме того, в Unity существует возможность настройки свойств физического материала, который может быть применен к коллайдерам. Физический материал определяет такие свойства, как трение и упругость. Трение влияет на то, насколько легко объект скользит по поверхности, а упругость определяет, насколько сильно объект отскакивает при столкновении. Эти параметры могут быть настроены для создания уникальных физических взаимодействий в игре. Например, если разработчик хочет, чтобы персонаж скользил по льду, он может установить низкое трение для коллайдера, что позволит ему быстрее двигаться по поверхности. В то же время, для создания эффекта пружины можно установить высокий коэффициент упругости, что позволит объектам отскакивать от поверхности.

Симуляция движения объектов с использованием `Rigidbody` также включает в себя управление их вращением. В Unity можно использовать метод `AddTorque` для применения к объекту вращательной силы, что позволяет создавать эффекты вращения. Это особенно полезно для создания механик, связанных с вращающимися объектами, такими как колеса автомобилей или вращающиеся платформы. Управление вращением объектов может значительно повысить динамику игры и добавить интересные элементы взаимодействия.

Одной из важных особенностей работы с `Rigidbody` является возможность использования различных режимов управления движением. Unity предоставляет два основных режима: кинематический и неконструктивный. Кинематические объекты не подвержены влиянию физических сил и могут перемещаться только с помощью программного кода. Это полезно для объектов, которые должны двигаться по заранее определенному пути, например, для платформ в игре-платформере. Неконструктивные объекты, наоборот, подвержены всем физическим законам и могут взаимодействовать с другими объектами в сцене. Это позволяет создавать более реалистичные физические взаимодействия, но требует более тщательной настройки и учета всех физических параметров.

При моделировании движения объектов также необходимо учитывать производительность игры. Физические расчеты могут быть ресурсоемкими, особенно если в сцене присутствует большое количество объектов с `Rigidbody`. Разработчики должны оптимизировать использование `Rigidbody`, избегая излишнего количества объектов, которые постоянно взаимодействуют друг с другом. Например, можно

использовать упрощенные коллайдеры для сложных форм объектов, чтобы снизить нагрузку на физический движок. Кроме того, стоит ограничить количество объектов, которые могут взаимодействовать одновременно, чтобы избежать снижения производительности игры.

Реализация физики жидкостей и тканей в игровом движке Unity представляет собой сложный и многогранный процесс, который требует глубокого понимания как физических законов, так и особенностей программирования. В последние годы интерес к реалистичному моделированию жидкостей и тканей в видеоиграх значительно возрос, что связано с увеличением требований пользователей к качеству графики и физики в играх. Одним из наиболее распространенных подходов к реализации таких эффектов является использование системы частиц, или Particle System, которая позволяет создавать визуально привлекательные и динамичные симуляции жидкостей и тканей, обеспечивая при этом высокую производительность и гибкость.

Система частиц в Unity представляет собой мощный инструмент для создания различных визуальных эффектов, включая дым, огонь, снег и, конечно же, жидкости. Основная идея заключается в том, что вместо того, чтобы моделировать каждую каплю жидкости или каждый элемент ткани, мы можем использовать множество маленьких частиц, которые вместе создают иллюзию жидкости или ткани. Каждая частица может иметь свои собственные свойства, такие как положение, скорость, масса и так далее. Это позволяет добиться высокой степени детализации и реалистичности без необходимости загружать систему слишком большим количеством полигонов, что особенно важно для игр, где производительность имеет первостепенное значение [1].

Что касается симуляции тканей, Unity предоставляет мощный инструмент под названием Cloth, который позволяет разработчикам создавать реалистичные ткани, реагирующие на физические силы и явления, такие как гравитация и ветер. Система Cloth работает на основе модели вершинной физики, где каждая вершина ткани может перемещаться и взаимодействовать с другими объектами в сцене. При использовании Cloth разработчики могут создавать такие элементы, как флаги, одежда персонажей и другие элементы, которые должны реагировать на движения и взаимодействия [4].

Чтобы начать работу с системой Cloth в Unity, разработчикам необходимо создать объект, который будет представлять ткань. Это может быть простая плоскость или более сложная модель, состоящая из множества вершин. После создания объекта необходимо добавить компонент Cloth, который позволит системе управлять поведением ткани. В настройках компонента Cloth разработчики могут регулировать различные параметры, такие как масса, жесткость, трение и другие физические свойства, которые влияют на то, как ткань будет реагировать на воздействия.

Одной из ключевых особенностей системы Cloth является возможность настройки взаимодействия ткани с другими объектами в сцене (рис. 2). Например, разработчики могут установить коллайдеры на объектах, с которыми ткань будет взаимодействовать, чтобы обеспечить реалистичное поведение. Это особенно важно при создании одежды для персонажей, где ткань должна правильно реагировать на движения и позы модели. При этом важно учитывать, что излишнее количество коллайдеров может негативно сказаться на производительности игры, поэтому разработчики должны находить баланс между реализмом и производительностью.

Кроме того, система Cloth в Unity поддерживает различные типы симуляции,



Рисунок 2. Движение объекта с компонентом Cloth

включая симуляцию с учетом ветра. Это позволяет разработчикам создавать более динамичные сцены, где ткани будут колыхаться под воздействием ветра, создавая ощущение живости и реалистичности. Для настройки ветровых эффектов разработчики могут использовать компоненты Wind Zone, которые позволяют задавать направление и силу ветра в сцене. В сочетании с системой Cloth это позволяет создавать впечатляющие визуальные эффекты, такие как развевающиеся флаги или колышущиеся шторы.

Выводы. В ходе исследования были рассмотрены ключевые аспекты физического моделирования в играх, что позволяет глубже понять, как физические законы влияют на взаимодействие объектов в виртуальном пространстве и как их можно эффективно реализовать с помощью Unity. Полученные знания и навыки могут быть применены в самых различных проектах, начиная от простых 2D-игр до сложных 3D-экшенов и симуляторов. Важно отметить, что физическое моделирование – это не только технический аспект разработки, но и творческий процесс, который требует от разработчика способности к экспериментам и поиску нестандартных решений. В будущем можно ожидать дальнейшего развития технологий и инструментов, которые сделают физику в играх еще более реалистичной и доступной для разработчиков.

Таким образом, данная работа не только охватывает ключевые аспекты физического моделирования в Unity, но и служит основой для дальнейшего изучения и экспериментов в этой области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивашевич Д. С. Разработка компьютерной игры на базе платформы Unity с использованием трехмерных моделей. – 2022. URL: <https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/49038> (дата обращения: 20.01.2025).
2. Козлов С. В., Жорнова Ю. О. Использование программного приложения Unity для 3D-моделирования физических объектов // Информационно-вычислительные технологии и их приложения. – 2022. – С. 110-116. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49395407> (дата обращения: 20.01.2025).
3. Мельников С. А., Старолетов С. М. Моделирование взаимодействий воздушных масс с использованием среды разработки Unity3D // Современные цифровые технологии. – 2022. – С. 153-156. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49716461> (дата обращения: 20.01.2025).
4. Шестаков Е. И., Пирматов А. З., Жолдошов Т. М. Применение Unity 3D для развития профессиональных навыков // Вестник Ошского государственного университета. – 2024. – №. 2. – С. 369-383. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-unity-3d-dlya-razvitiya-professionalnyh-navykov> (дата обращения: 20.01.2025).
5. Шумков Д. А., Суворкин Д. А. Моделирование и проектирование взаимодействия игровых объектов в трехмерном пространстве // Modern Science. – 2020. – №. 7-2. – С. 253-260. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43361256> (дата обращения: 20.01.2025).

SIMULATION OF PHYSICS OF GAME OBJECTS IN THE UNITY ENVIRONMENT

Annotation. The paper discusses approaches to the implementation of physics of game objects, which covers such aspects as the dynamics of object movement, animation, modeling the properties of physical media and materials, as well as working with gravity and forces. The possibilities of using the tools of the Unity development environment for modeling the described processes are being explored.

Keywords: physics of game objects, modeling of physical processes, video game development, Unity.

Shchegilsky A.V.

Scientific adviser: Pacheva M.N., PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor
Donetsk State University

E-mail: empty.code@yandex.ru

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**Вестник студенческого научного общества
ФГБОУ ВО «ДонГУ»
2025. – Вып. 17**

**Том 1
Естественные науки**

Оригинал-макет подготовлен *А.А. Дегтярева*

Подписано в печать 17.04.2025
Формат 60×84/8. Бумага офисная.
Печать – цифровая. Усл.-печ. л. 25,07

Издательство ФГБОУ ВО «ДонГУ»
283001, г. Донецк, ул. Университетская, 24.
Свидетельство о внесении субъекта
издательской деятельности в Государственный реестр
серия ДК № 1854 от 24.06.2004 г.