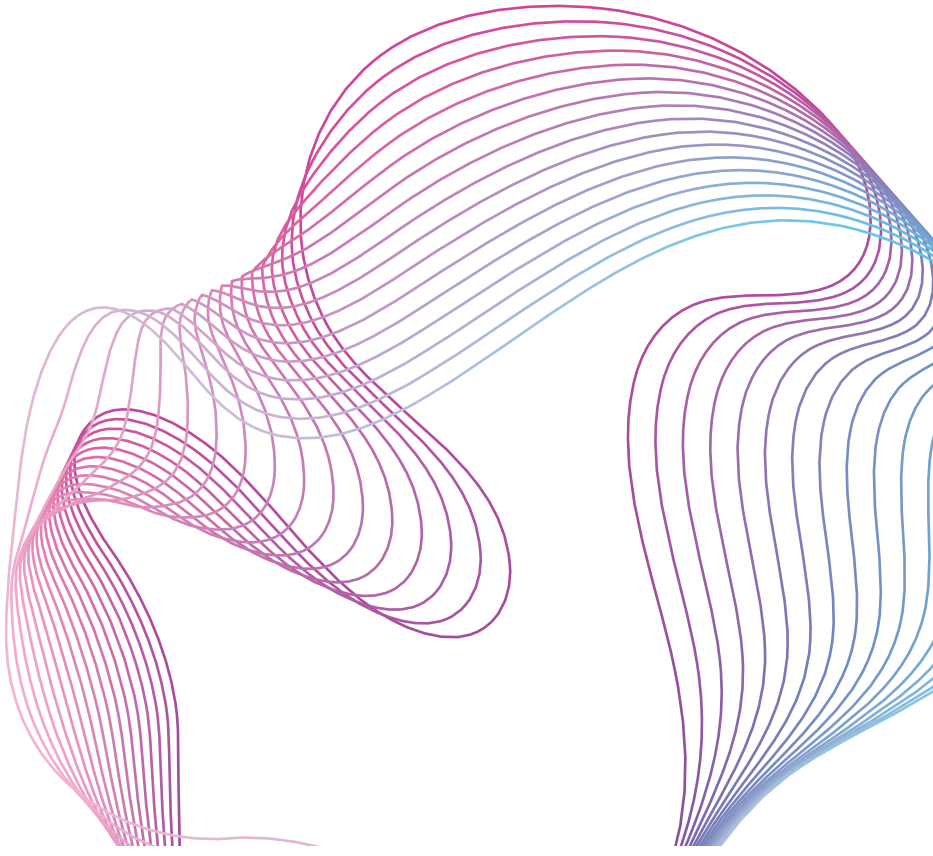
ИТМО

АЛЬМАНАХ НАУЧНЫХ РАБОТ

молодых ученых Университета ИТМО

Санкт-Петербург,
29 января - 02 февраля 2024 г.



Том 2

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

АЛЬМАНАХ НАУЧНЫХ РАБОТ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ Университета ИТМО

Том 2

Санкт-Петербург
2024

УДК 004, 063, 065, 504
ББК 20, 32, 40
Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. Том 2. – СПб.: Университет ИТМО, 2024. – 334 с.

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, доложенные на Пятьдесят третьей (LIII) научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО, проходившей с 29 января по 02 февраля 2024 года, по тематикам: деятельность химико-биологического кластера, дизайн и урбанистика, инфокоммуникационные технологии, трансляционные информационные технологии, деятельность военного учебного центра, экотехнологии.

Под общей редакцией профессора, доктора технических наук, проректора по научной работе Никифорова В.О.

ISBN 978-5-7577-0717-4
ISBN (Том 2) 978-5-7577-0719-8

ИТМО (Санкт-Петербург) — национальный исследовательский университет, научно-образовательная корпорация. Альма-матер победителей международных соревнований по программированию. Приоритетные направления: IT и искусственный интеллект, фотоника, робототехника, квантовые коммуникации, трансляционная медицина, Life Sciences, Art&Science, Science Communication.
Лидер федеральной программы «Приоритет-2030», в рамках которой реализовывается программа «Университет открытого кода». С 2022 ИТМО работает в рамках новой модели развития — научно-образовательной корпорации. В ее основе академическая свобода, поддержка начинаний студентов и сотрудников, распределенная система управления, приверженность открытому коду, бизнес-подходы к организации работы. Образование в университете основано на выборе индивидуальной траектории для каждого студента.
ИТМО пять лет подряд — в сотне лучших в области Automation & Control (кибернетика) Шанхайского рейтинга. По версии SuperJob занимает первое место в Петербурге и второе в России по уровню зарплат выпускников в сфере IT. Университет в топе международных рейтингов среди российских вузов. Входит в топ-5 российских университетов по качеству приема на бюджетные места. Рекордсмен по поступлению олимпиадников в Петербурге. С 2019 года ИТМО самостоятельно присуждает ученые степени кандидата и доктора наук.

© Университет ИТМО, 2024
© Авторы, 2024

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

по направлению инфокоммуникационные технологии, дизайн и урбанистика, деятельность химико-биологического кластера

Председатель редколлегии:

Горелик Самуил Лейбович, д.т.н., доцент факультета инфокоммуникационных технологий

Члены редколлегии:

Федоров Дмитрий Алексеевич, к.т.н., доцент факультета инфокоммуникационных технологий

по направлению трансляционные информационные технологии

Председатель редколлегии:

Бухановский Александр Валерьевич, д.т.н., профессор факультета цифровых трансформаций, директор мегафакультета трансляционных информационных технологий

Члены редколлегии:

Гусарова Наталия Федоровна, к.т.н., доцент факультета инфокоммуникационных технологий

Митягин Сергей Александрович, к.т.н., директор института дизайна и урбанистики

Арсеньева Анна Закировна, старший преподаватель факультета инфокоммуникационных технологий, заместитель директора школы разработки видеоигр

Духанов Алексей Валентинович, д.т.н., доцент факультета цифровых трансформаций

Федоров Дмитрий Алексеевич, к.т.н., доцент факультета инфокоммуникационных технологий

по направлению деятельности военного учебного центра

Председатель редколлегии:

Зиновьев Владимир Валентинович, старший преподаватель военного учебного центра

Члены редколлегии:

Андреев Сергей Борисович, доцент военного учебного центра

Яковлев Андрей Дмитриевич, доцент военного учебного центра

по направлению экотехнологии

Председатель редколлегии:

Тамбулатова Екатерина Викторовна, к.т.н., декан факультета экотехнологий, доцент факультета экотехнологий

Члены редколлегии:

Сергиенко Ольга Ивановна, к.т.н., доцент факультета экотехнологий

Юльметова Ралия Фагимовна, к.х.н., доцент факультета экотехнологий

ВВЕДЕНИЕ

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, доложенные на Пятьдесят третьей (LIII) научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО, проходившей 29 января – 02 февраля 2024 г., по тематикам: деятельность химико-биологического кластера, дизайн и урбанистика, инфокоммуникационные технологии, трансляционные информационные технологии, деятельность военного учебного центра, экотехнологии.

Конференция проводится в целях ознакомления общественности с результатами научных исследований, выполненных в рамках: государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ, стратегии развития Университета ИТМО до 2027 года, грантов Президента РФ для поддержки молодых российских ученых, РНФ, по постановлению Правительства РФ N 218 от 9 апреля 2010 года " Об утверждении Правил предоставления субсидий на развитие кооперации российских образовательных организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций реального сектора экономики в целях реализации комплексных проектов по созданию высокотехнологичных производств", по постановлению Правительства РФ № 220 от 09 апреля 2010 г. «О мерах по привлечению ведущих ученых в российские образовательные организации высшего образования, научные учреждения и государственные научные центры Российской Федерации», поддержки исследовательских центров в сфере искусственного интеллекта, в том числе в области «сильного» искусственного интеллекта, систем доверенного искусственного интеллекта и этических аспектов применения искусственного интеллекта, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 5 июля 2021 г. № 1120, государственной поддержки центров Национальной технологической инициативы на базе образовательных организаций высшего образования и научных организаций, национального проекта «Наука и университеты», национальной программы «Цифровая экономика в Российской Федерации» и по инициативным научно-исследовательским проектам, выполняемыми преподавателями, научными сотрудниками, молодыми учеными, аспирантами, студентами и студентами Университета, в том числе в содружестве с предприятиями, организациями Российской Федерации, а также международными сообществами для увеличения эффективности научно-исследовательской деятельности и подготовки кадров и специалистов высшей квалификации.

Деятельность химико-биологического кластера

УДК 612.115.1

ИЗУЧЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ И ЛИЗИСА ФИБРИНОВОГО СГУСТКА В УСЛОВИЯХ МОДЕЛЬНОЙ ГИПЕРГЛИКЕМИИ *IN VITRO*

Барсукова О.Ю.[1] *(студент),* ***Зверева В.А.***[1] *(студент),* ***Собянин А.В.***[1] *(аспирант)*

Научный руководитель – к.б.н., доцент Прилепский А.Ю.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: olesya.barsukova.03@mail.ru, veronika.zvereva.03@gmail.com, sobyanin@scamt-itmo.ru

Работа выполнена при поддержке государственного задания № FSER-2022-0008 в рамках национального проекта «наука и университеты».

При сахарном диабете повышенный риск тромбоза и нарушение фибринолиза связывают с гликированием белков плазмы. Продемонстрировано, что свойства фибриновых сгустков зависят от степени их гликирования в условиях модельной гипергликемии *in vitro*. Для создания гликированных сгустков использовали плазму крови, смешанную с различными концентрациями глюкозы после инкубации. При растворении сгустков наблюдалось уменьшение мутности со временем, но результаты по образцам с разной концентрацией глюкозы остаются неоднозначными.

Ключевые слова

Сахарный диабет, тромб, тромбоз, гликирование, гликированный сгусток, фибринолиз, фибриновый сгусток, концентрация глюкозы.

Большинство случаев тромбоза связаны с сердечно-сосудистыми и цереброваскулярными заболеваниями, особенно у пациентов с диагностированным сахарным диабетом, которые составляют особую группу риска. В данном случае избыточное гликирование белков может повлиять на свойства тромбов и скорость фибринолиза, что в свою очередь важно для тромболитической терапии в условиях гипергликемии. При сахарном диабете меняется естественный процесс разрушения тромба. Это актуально в связи с ростом заболеваемости сахарным диабетом в мире. На 2023 год в России почти 5 млн человек болеют сахарным диабетом (рис. 1 [2]), во всем мире 600 млн, а по прогнозам ВОЗ к 2050 году число таких пациентов возрастет до почти полутора миллиардов. Для больных СД характерна высокая резистентность к основным тромболитическим препаратам, поэтому эффективность тромболизисной терапии у таких пациентов снижена по сравнению с общей популяцией, что требует поиска новых решений [1].

На сегодняшний день не разработано единого методологического подхода в диагностике нарушений фибринолиза при сахарном диабете. Существующие методики, как правило, требуют значительной затраты реагентов и не гарантируют успешного результата. Поэтому в данной работе применяется метод droplet microarray (DMA), при котором образцы наносятся на предметное стекло с покрытием GPOSS – омнифобно-омнифильный паттерн смачивания на поверхности субстрата. Таким образом, каждая капля является отдельным экспериментом. Преимуществом данного метода является сокращение затрат реагентов и времени исследования, так как используется капля в качестве объема с фиксацией ее в лунке.

В рамках данной работы изучение образования фибриновых сгустков и моделирование процесса фибринолиза было проведено с целью определения различий в скорости этого процесса в образцах с нормальной и повышенной концентрацией глюкозы после инкубации *in vitro*. Для последующего образования гликированных сгустков контрольную человеческую плазму крови (“Тех-контроль Н”), получали образцы плазмы с глюкозой разной концентрации

(0 мМ, +4 мМ, +10 мМ, +30 мМ, +60 мМ, +90 мМ), которые впоследствии подвергали инкубации в течение 1 недели при температуре 37°C (соответствует температуре тела человека), чтобы глюкоза связалась с белками плазмы, в частности с фибриногеном – предшественником фибрина, который формирует каркас тромба, и плазминогеном, лизирующим последний [3]. Различная концентрация глюкозы может влиять на степень гликирования белков плазмы, так как глюкоза способна реагировать с аминогруппами радикалов аминокислот (лизина, аргинина) в реакции Майяра, в том числе белков, участвующих в фибринолизе.

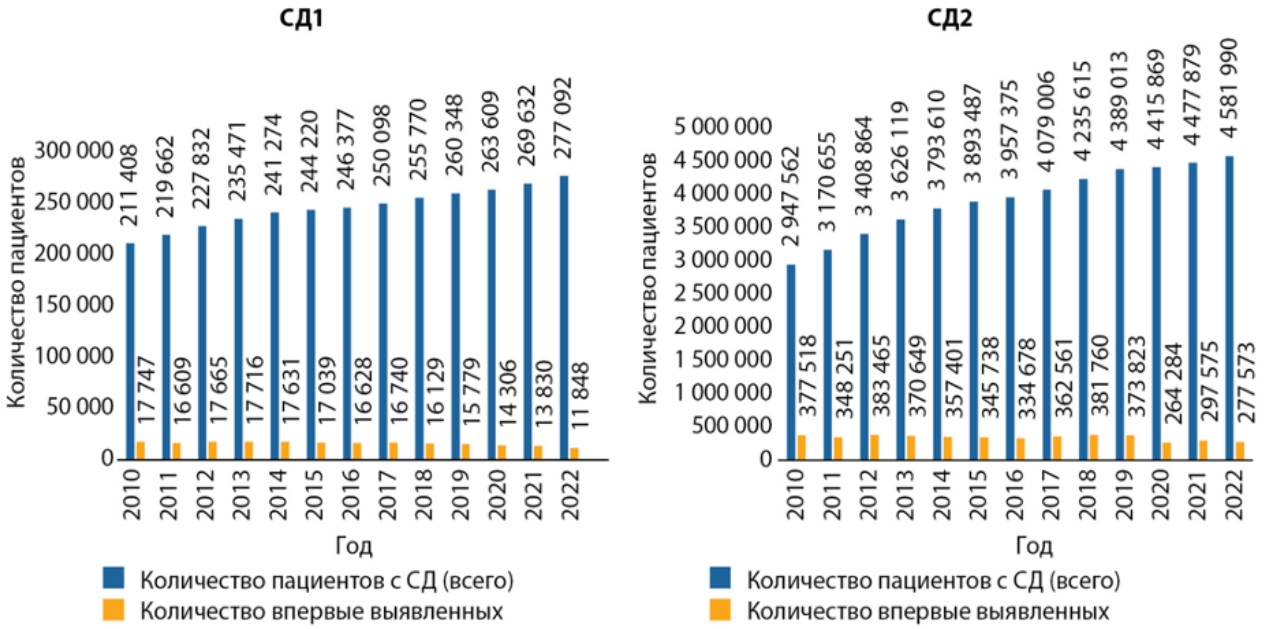


Рис. 1. Динамика количества пациентов с сахарным диабетом 1 и 2 типа в Российской Федерации, в абсолютных значениях, 2010–2022 гг.

После того, как образцы плазмы были выдержаны в инкубаторе, из них формировались модельные сгустки. Для этого использовался 1 мкл раствора плазмы и 1 мкл раствора тромбина (“Тромбин”, Технология-стандарт), 3–4 ед. NIH/мл. Полученные образцы раскапывали на омнифобно-омнифильные паттерны на платформу droplet microarray (DMA), представляющую собой предметное стекло с покрытием GPOSS (далее – чип). Для активации растворения сгустков применяли 2 мкл раствора тромболитика “Пуролаза” (проурокиназы) (1 мг/мл). Видео-регистрацию растворения сгустков проводили на микроскопе Leica DMi 8 в режиме dark field при увеличении x5. Полученные видеозаписи ускоряли в 8 раз и подвергали пакетной обработке для получения отдельных кадров с выделением зоны определения плотности/мутности. Математическую обработку данных проводили с использованием программного обеспечения Wolfram Mathematica.

На рисунках 2 и 3 наблюдается уменьшение “цифровой” плотности с увеличением времени лизиса фибринового сгустка. Увеличение “цифровой” плотности на 700 с в пробе с контролем и +4 мМ можно объяснить тем, что фрагмент фибринового сгустка, имеющий более плотную структуру, отделившись от основной части сгустка в процессе растворения, зашел в зону регистрации: плотность фибринового сгустка неравномерна по всему объему. Последующее падение плотности согласуется с представлениями о том, что сгусток разрушается под действием тромболитика: отделившийся фрагмент, попавший в зону регистрации, тоже со временем лизировался.

На рисунке 4 представлены образцы с высокой концентрацией глюкозы. Данные неоднозначны, на протяжение всего времени наблюдаются скачки “цифровой плотности”. Это может быть связано со структурой сгустка, который более плотный при высоких концентрации глюкозы.

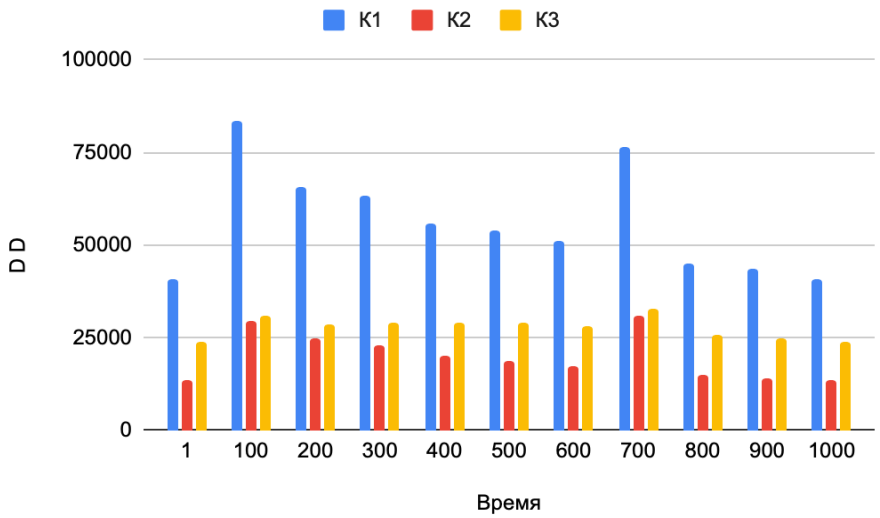


Рис. 2. Зависимость “цифровой” плотности (D D) от времени (t/8, c/8). По вертикали отложены значения “цифровой” плотности, по горизонтали – время (с учетом ускорения записи видео в 8 раз). К1, К2, К3 – контроль (плазма без дополнительного добавления глюкозы, 4mM)

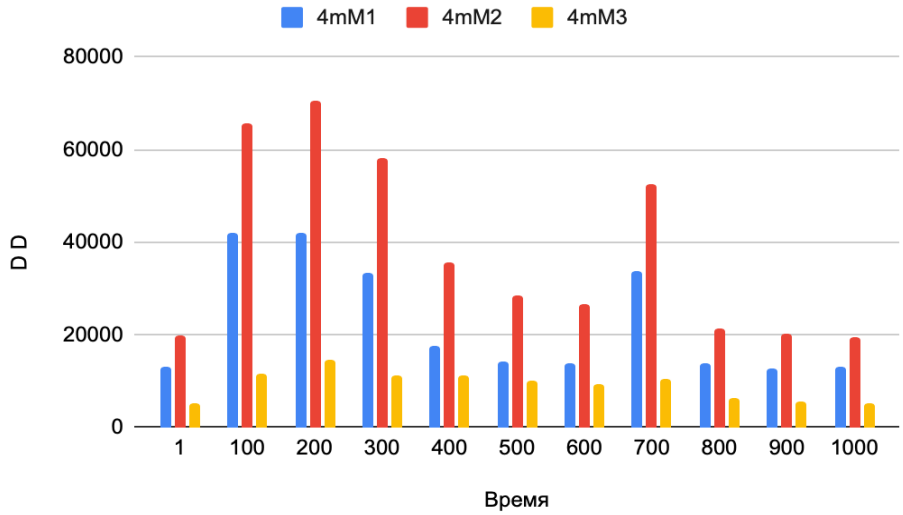


Рис. 3. Зависимость “цифровой” плотности (D D) от времени (t/8, c/8). По вертикали отложены значения “цифровой” плотности, по горизонтали – время (с учетом ускорения записи видео в 8 раз). 4 mM 1, 2, 3 – концентрация глюкозы +4 mM

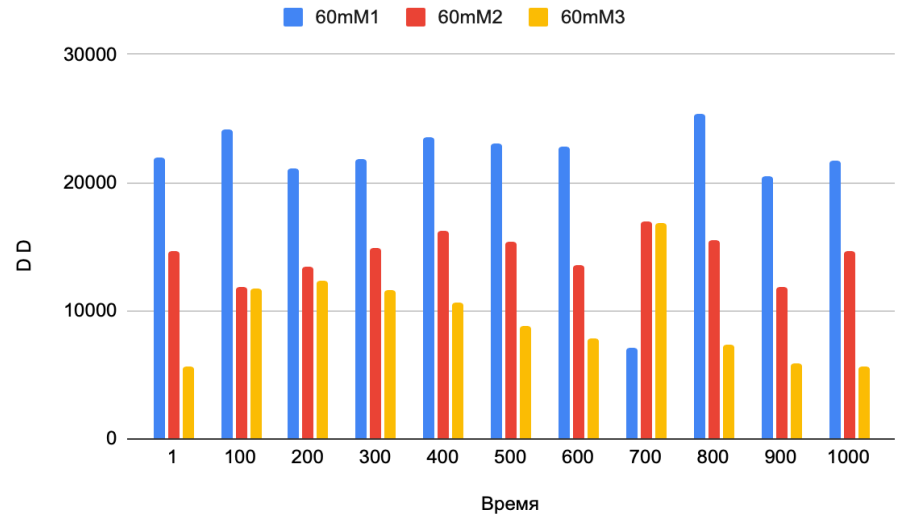


Рис. 4. Зависимость “цифровой” плотности (D D) от времени (t/8, c/8). По вертикали отложены значения “цифровой” плотности, по горизонтали – время (с учетом ускорения записи видео в 8 раз). 60 mM 1, 2, 3 – концентрация глюкозы +60 mM

Получены данные показателей “цифровой” плотности/мутности для образцов различной концентрацией глюкозы до и после инкубации. Определено, что цифровая плотность при растворении сгустка уменьшается со временем относительно равномерно в контрольных пробах, а в пробах после инкубации с глюкозой зависимость меняется неравномерно. При более высоких концентрациях глюкозы скорость взаимодействия плазмы с белками неоднородна, что говорит о возможности наличия негликированных активных центров взаимодействия тромболитика с плазминогеном или плазмина с фибрином. Мутность при растворении сгустка уменьшается со временем, что может указывать на разрушение структуры фибринового сгустка. Скорость растворения фибриновых сгустков неравномерно изменяется с повышением концентрации глюкозы в пробе. Результаты данной работы позволяют более полно понять влияние разных концентраций глюкозы на образование и лизис фибринового сгустка, в частности на кинетику фибринолиза. Это может иметь практическое значение в диагностике и лечении состояний, связанных с нарушением коагуляционной системы и фибринолиза при гипергликемии.

Список использованных источников

1. Bondarenko I.Z., Shirshina I.A. Mechanisms of thrombogenesis associated with diabetes mellitus: what defines the prognosis of invasive myocardial revascularization methods? // Diabetes Mellitus. – 2013. – №. 3. – Pp. 58–63.
2. Dedov I.I. и др. Diabetes mellitus in the Russian Federation: dynamics of epidemiological indicators according to the Federal Register of Diabetes Mellitus for the period 2010–2022 // Diabetes mellitus. – 2023. – №. 2(26). – Pp. 104–123.
3. Perween S. и др. Post-translational modifications on glycated plasma fibrinogen: A physicochemical insight // International Journal of Biological Macromolecules. – 2019. – №. 126. – Pp. 1201–1212.

УДК 543.92

ОПТИМИЗАЦИЯ ДИЗАЙНА ДНК-СЕНСОРОВ ДЛЯ ДЕТЕКЦИИ НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ ПРИ ПОМОЩИ ПРЕДИКТИВНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Брюккель А.Г. *[1](студент),* ***Горбенко Д.А.*** *[1] (аспирант),* ***Баранникова М.В****.[2](студент)*
Шепелев И.А*.[3]*
Научный руководитель – к.б.н. Кошель Е.И.*[1]*

1 – Университет ИТМО
2 – Московский физико-технический институт
3 – АГНИ

email: brukkel@scamt-itmo.ru

Работа поддержана Министерством образования и науки Российской Федерации № ФСЭР-2022-0009 и Программой Приоритет 2030.

Использование бинарных дезоксирибозимных наносенсоров для детекции патогенных нуклеиновых кислот и клинически значимых однонуклеотидных замен является перспективным методом. Эта процедура анализа не требует дорогостоящего оборудования и обученного персонала, обладает высокой специфичностью и чувствительностью. В настоящий момент дизайн наносенсоров для каждой целевой последовательности проводится преимущественно вручную, результаты тестов подтверждаются только *in vitro,* что трудоемко и дорого. В данной работе описан метод оптимизации дизайна проб через создание математической модели, основанной на данных о ранее созданных дизайнах.

Ключевые слова
Бинарные дезоксирибозимные наносенсоры, методы детекции нуклеиновых кислот, аддитивная регрессия, оптимизация дизайна, математическая модель.

Методы детекции нуклеиновых кислот, такие как ПЦР и ДНК-чипы, имеют недостатки, например проведение процедур затратно по времени, обученного персонала, требует чистых лабораторий и использования ферментов, что приводит к высокой себестоимости. В отличие от них, методы с использованием бинарных дезоксирибозимных наносенсоров предлагают более простую процедуру анализа и высокую специфичность без потери чувствительности. Бинарные наносенсоры представляют собой конструкции на основе функциональных ДНК структур, таких как G-квадруплексы или дезоксирибозимы 10–23 (рис. 1). Они состоят из фрагмента целевой ДНК и двух "плеч", каждое из которых имеет область гибридизации с целевой последовательностью и область, отвечающую за формирование функциональной структуры. В случае конструкции по типу дезоксирибозима (BiDz), “плечи” ($BiDz_a$ и $BiDz_b$), формируя структуру 10–23, расщепляют специально сконструированный субстрат (F-sub), что приводит к детектируемому сигналу в виде флуоресцентного свечения [1]. Бинарные наносенсоры обладают высокой чувствительностью и могут успешно интегрироваться в более сложные системы, такие как ДНК-машины.

Для создания одного успешно работающего бинарного дезоксирибозимного сенсора на настоящий момент необходимо затратить от 3 до 6 месяцев и примерно до 100 тыс. р. на апробацию дизайнов для одной целевой последовательности. Тестирование *in vitro* является самым надежным способом проверки эффективности сенсоров. Предсказания существующих программных решений для оценки гибридизации комплекса (NuPack) и для вторичных структур (UNAfold) почти не подтверждаются экспериментально. Это связано с поэтапным формированием массивных надмолекулярных комплексов, и нечувствительности ПО к

стекинговым связям сложной геометрии. Таким образом, для выбора эффективного сенсора на одну целевую последовательность необходимо протестировать от 4 до 10 вариантов дизайна.

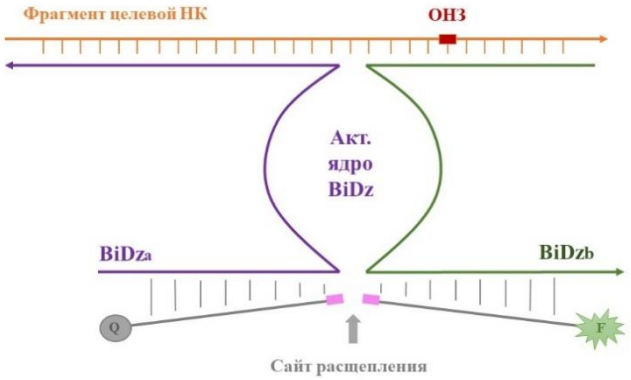


Рис. 1. Бинарный наносенсор на основе дезоксирибозима 10–23

Целью данной работы было сокращение трудозатрат по разработке сенсоров при помощи создания предиктивной математической модели на основе данных, собранных в одной лаборатории. Главным ограничительным критерием выбора метода моделирования было количество собранных данных. Выборка в 50 дизайнов слишком мала для классических методов машинного обучения, что делает невозможным их использование. Т. о. был подобран алгоритм аддитивной регрессии SISSO, сочетающий в себе «compressed sensing» и символьную регрессию [2]. По результатам анализа данных с использованием SISSO была создана математическая модель, учитывающая такие параметры как изменение свободной энергии Гиббса (ΔG), длины аналит-связывающих последовательностей (L_a и L_b), длины анализируемых последовательностей (L_{tar}) в качестве входных данных. Выходным параметром было ΔG в зависимости от соотношения длин аналит-связывающих регионов плеч.

Модель с наименьшим отклонением от экспериментальных данных представлена в виде сложной нелинейной функции ΔG (L_a, L_b, L_{tar}):

$$\Delta G = c_0 + a_0 \cdot \frac{L_b - L_a}{exp(-L_a) + a_1 \cdot \frac{L_{tar}}{L_b} + \sqrt{L_a}},$$

где c_0 = 6.349344297939948, свободный коэффициент (intercept),
a_0= -4.111602093839712,
a_1 = -1.34036239532227 - коэффициенты нелинейных дескрипторов.

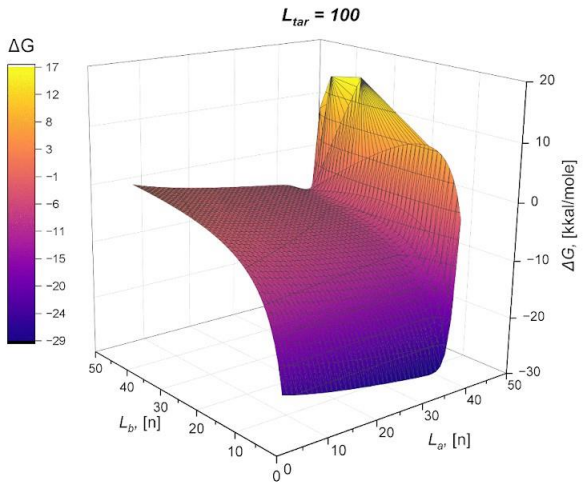


Рис. 2. Зависимость ΔG от длин плеч L_a и L_b при длине аналита L_{tar}=100 нуклеотидов

График на рисунке 2 иллюстрирует, как меняются значения ΔG при изменении длин плеч L_a и L_b в указанном диапазоне. Можно заметить, что даже небольшие изменения длины плеч могут привести к значительным изменениям в значениях ΔG. Эта чувствительность подчеркивает потенциальное влияние незначительных модификаций этих параметров на общую стабильность системы. Помимо этого, квадратный корень и экспоненциальная зависимость в знаменателе функции с одной стороны обеспечивают непрерывность и плавность функции, а с другой стороны ведут к существенным изменениям ΔG при варьировании параметра L_a. Поскольку коэффициенты a_0 и a_1 отрицательны, значение функции ΔG уменьшается с увеличением L_a и, хотя конкретные значения зависят от их совокупности. Таким образом, тщательное рассмотрение этих параметров имеет решающее значение для определения и оптимизации стабильности системы.

График показывает тенденцию, при которой значения ΔG монотонно уменьшаются по мере уменьшения длины плеча L_b. Это отношение имеет выраженный нелинейный характер, и уменьшение ΔG увеличивается по мере уменьшения длины L_b. Согласно модели, выбор сенсоров с короткой рукой L_b предпочтительно для достижения более низких значений ΔG. Изменения длины руки L_a не приводит к такому значительному эффекту. Однако увеличение длины руки приводит к практически линейному уменьшению ΔG по всей плоскости параметров.

Согласно прогнозу модели, локальные минимумы ΔG достигнуты при соотношениях длин рук 18 (L_a) к 18 (L_b), 36 (L_a) и 13 (L_b), а также 35 (L_a) и 7 (L_b).Эти точки были выбраны для тестирования, в то время как альтернативные соотношения длин 18 (L_a) и 13 (L_b), 26 (L_a) и 10 (L_b) использовались в качестве контрольных, выбранных вручную. На основе полученных соотношений были созданы 5 дизайнов ДНК-зондов для верификации предсказаний модели. В качестве аналита использована последовательность вируса простого герпеса человека (ген UL9). Полученные пары были протестированы *in vitro* согласно методике определения отношения сигнала к фону (S/B) и методике определения лимита детекции, описанным в статье [3]. Для оценки эффективности сенсоров были использованы следующие показатели: отношение сигнала к фону (присутствие аналита / отсутствие аналита) после инкубации 1 и 3 часа с пороговым соотношением 1,5, а также лимит детекции после инкубации 1 час с пороговым значением 100 пМ [4].

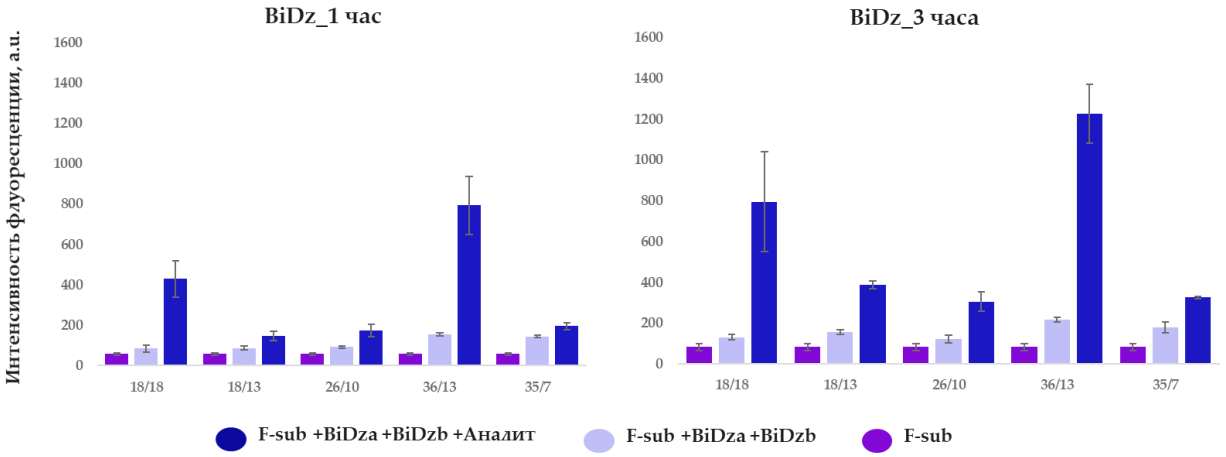


Рис. 3. Определение сигнала к фону для дезоксирибозима при инкубации в 1 и 3 часа, соответственно

После инкубации в течение 1 часа сигнал в присутствии аналита для пары 18 (L_a) к 18 (L_b) был в 5 раз выше, чем в пустом эксперименте, для пары 18 (L_a) и 13 (L_b) – в 1,7 раза выше. Для пары 26 (L_a) и 10 (L_b) отношение сигнал/фон составило 1,9, а для пары 36 (L_a) и 13 (L_b) – 5,12. Для пары 35 (L_a) и 7 (L_b) отношение сигнал/фон составило всего лишь 1,4. После 3-часовой инкубации отношение сигнал/фон увеличилось и составило 6,1 для пары 18 (L_a) к 18 (L_b) и

2,5 для пары 18 (L_a) и 13 (L_b). Пары аналит-связывающих плечей с разницей в 26 (L_a) и 10 (L_b) также показали отношение сигнал/фон 2,5, в то время как сенсор 36 (L_a) и 13 (L_b) достиг значения 5,6. Сенсор с парой 35 (L_a) и 7 (L_b) достиг приемлемого значения 1,8 после 3-часовой инкубации.

Лимит детекции был определен для пар 18 (L_a) к 18 (L_b), 36 (L_a) и 13 (L_b), 18 (L_a) и 13 (L_b), 26 (L_a) и 10 (L_b). Соотношение 35 (L_a) и 7 (L_b) не использовалось для лимита детекции из-за недостаточной разницы сигнала к фону. Лимит детекции для модельных пар был зафиксирован в пределах 100 pM (87 пМ для пары 18 (L_a) и 18 (L_b) и 27 пМ 36/13), тогда как для немодельных пар этот параметр составил 600-900 pM (670 пМ для 18/13 и 840 пМ для 26/10).

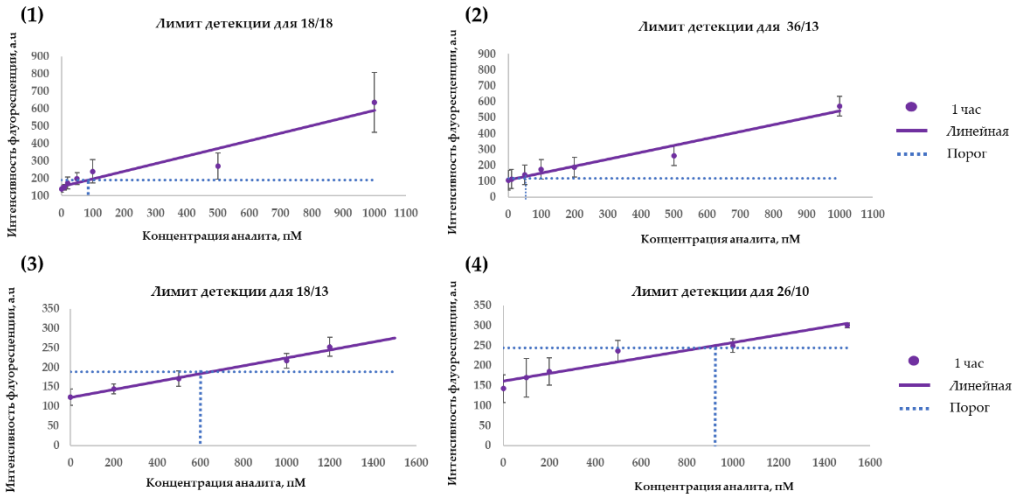


Рис. 4. Определение лимита детекции

Полученная модель позволяет охарактеризовать взаимосвязь физико-химических параметров, влияющих на успешную сборку сенсора. Полученные результаты показывают, что дизайны по предсказанным моделью парам не только эффективны, но и позволяют детектировать аналит в более низких концентрациях по сравнению с парами, подобранными только по эмпирическим соображениям. Таким образом, с помощью разработанной модели было сокращено время и количество экспериментов по отработке дизайна. В продолжении исследования планируется тестирование предсказанных соотношений на чувствительность к ОНЗ.

Список использованных источников

1. Kolpashchikov D.M. A binary deoxyribozyme for nucleic acid analysis. // Chem Biochem. – 2007. – T.8. – Pp. 2039–2042.
2. Ouyang R., Curtarolo S., Ahmetcik E., Scheffler M., Ghiringhelli L. M. SISSO: A compressed-sensing method for identifying the best low-dimensional descriptor in an immensity of offered candidates // Phys. Review Materials – 2018. – T. 2. – P. 083802.
3. Ateiah M., Gandalipov E.R., Rubel A.A., Rubel M.S. Kolpashchikov, D.M. DNA Nanomachine (DNM) Biplex Assay for Differentiating Bacillus cereus Species. Int. J. Mol. Sci. – 2023. – №. 24. – P. 4473.
4. Santoro S.W., Joyce G.F. A general purpose RNA-cleaving DNA enzyme. Proc Natl Acad Sci U S A. – 1997. – №. 94(9). – Pp. 4262-4268. DOI: 10.1073/pnas.94.9.4262.

УДК 621.35.035

РАЗРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЖИДКИХ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ ГИБКОЙ И НОСИМОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

***Маландина М.А.*[1]** *(студент),* ***Михайлова П.А.*[1]** *(студент),* ***Фальчевская А.С.*[1]** *(аспирант)*
***Научный руководитель – д.х.н. Виноградов В.В.*[1]**

1 – Университет ИТМО

e-mail: yatsuk@scamt-itmo.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №623102 «Адаптируемые автономные гибкие устройства для мониторинга здоровья».

В работе рассмотрены создание и механизмы различных гибких трибоэлектрических наногенераторов на основе сплава GaInSn. Проведен литературный обзор имеющихся в настоящее время вариантов трибоэлектрических устройств автономного питания, выделены основные их преимущества и недостатки. На сегодняшний день трибоэлектрические наногенераторы являются перспективным способом подпитки гибкой носимой электроники.

Ключевые слова
Жидкие металлы, галлий, GaInSn, ПДМС, трибоэлектрический наногенератор, гибкая электроника, носимая электроника, автономное питание.

Благодаря своей эластичности и электрическим свойствам и низкой токсичности, жидкие металлы, в особенности галлий и его сплавы (GaIn, GaInSn), могут быть использованы для создания функциональных устройств, которые могут адаптироваться к различным формам и поверхностям, что делает их идеальным выбором для гибкой и носимой электроники. Кроме того, жидкие металлы имеют высокую теплопроводность, что позволяет эффективно управлять тепловыделением в гибких устройствах, что является важным аспектом их производства и эксплуатации. В настоящее время ведутся активные исследовательские разработки по гибкой и носимой электронике, а также способам её подпитки. Одним из решений этой задачи являются трибоэлектрические наногенераторы (ТЭНг), способные собирать механическую энергию и преобразовывать ее в электрическую. Преимущества ТЭНгов на основе сплава GaInSn включают высокие гибкость и электропроводность, устойчивость к деформациям и надежность. Эти устройства могут быть использованы для автономного питания носимых устройств, датчиков, биомедицинских устройств и других приложений, где требуется независимый источник энергии. Такие ТЭНги на основе сплава GaInSn имеют большой потенциал для развития экологически чистых и эффективных систем генерации энергии.

Существует множество типов трибоэлектрических генераторов, например, одноэлектродный, с отдельно стоящим трибоэлектрическим слоем, скользящий в одной плоскости и вертикальный контактно-разделительный, однако в данной работе мы рассмотрим только одноэлектродный и вертикальный контактно-разделительный виды ТЭНгов [1].

Губчатый тип ТЭНга получается путем смешивания GaInSn, полимера Ecoflex 00–30 и порообразователя в нужных пропорциях, отверждения при t = 70°C и при помощи растворения порообразователя. Губчатый ТЭНг состоит из множества пор, в каждой из которых находятся миниатюризированные трибоэлектрические одноэлектродные наногенераторы. При нажатии на ТЭНг электроны GaInSn переходят к стенке поры экофлекса и образуются положительные и отрицательные заряды, на поверхности двух материалов. При разжатии ТЭНга, заряды остаются на противоположных сторонах, тем самым создавая разность потенциалов, которая генерирует электрический ток [2].

Другой тип ТЭНга — это одноэлектродный, он интересен тем, что его можно одновременно совместить с датчиками и таким образом сделать их автономными, за счет совмещения электрода датчика с электродом ТЭНга, образуя из ТЭНгов неструктурированные сенсоры (не имеющие паттерна). Получается он следующим образом: на приготовленную заранее полидиметилсилоксановую (ПДМС) подложку наносятся дропкастингом наночастицы GaInSn в этаноле, после полного растворения снимается оксидная пленка Ga2O3 и запечатывается вторым слоем полимера. Отдельно стоит выделить этап получения наночастиц галистана. Мы получали их в этаноле ультразвуковой обработкой в течение часа. Распределение частиц варьировалось от 50 до 400 нм, что наглядно изображено на рисунке 1. Отдельная частица GaInSn состоит из трех оболочек: GaInSn, оксид галлия, и самопроизвольно образующийся карбоновый слой, который предотвращает агломерацию частиц [3].

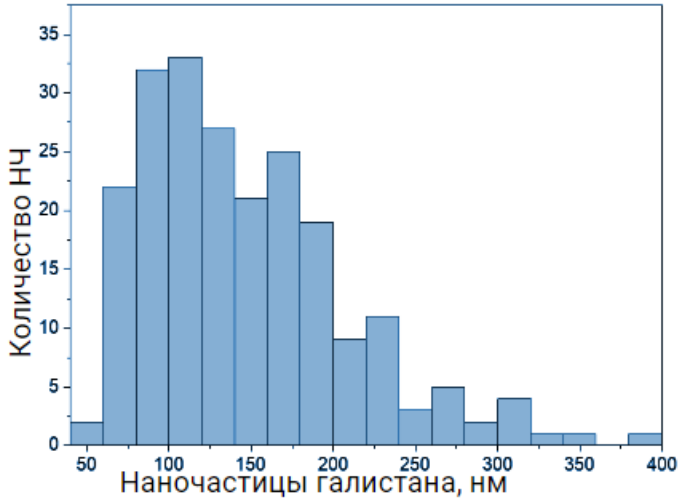


Рис. 1. Распределение частиц GaInSn

Особенностью именно этого вертикального контактно-разделительного генератора является ПДМС пленка, совмещенная с GaInSn. Способ приготовления состоит в смешивании ПДМС, н-гексана и GaInSn и последующей обработке в ультразвуковой ванне (Elmasonic S) в течение двух часов. Гексан растворяет ПДМС, и обработка ультразвуком становится легче. После этого получившаяся суспензия выливается в чашку Петри (D = 7,5 см) и в течение 24 часов выпаривается гексан при температуре 40°C. Когда гексан полностью испарился, полимеризовали пленку при 70°C. Во время испарения гексана GaInSn постепенно осаждается на дно чашки Петри, образуя равномерный слой. Собирая поэтапно слои ТЭНга, мы получаем структуру "сэндвича", изображенной на рисунке 2: медная подложка, пленка ПДМС-GaInSn, тонкий слой ПДМС и подвижный слой медной пластины.

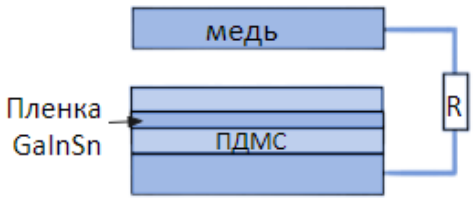


Рис. 2. Структура вертикального контактно-разделительного ТЭНга

Контактно вертикально разделительный ТЭНг, основан на эффектах электрификации и электростатической индукции. При приложении внешней силы на ТЭНг трибоэлектрические поверхности соприкасаются, и электроны переходят от одной поверхности к другой, способной к более сильному притяжению электронов, таким образом одна поверхность становится положительно заряженной (медь), ПДМС в свою очередь отрицательно заряженным. Когда

внешняя сила снимается, образуется разность потенциалов, и чтобы её компенсировать, заряды перетекают, с одной стороны, к другой, до тех пор, пока устройство не освободится, этот процесс генерирует ток в прямом направлении, тем самым образуя положительные пики. Когда сила будет приложена снова, разность потенциалов уже будет меньше из-за межслойного расстояния между трибоэлектрическими слоями, это генерирует тока в противоположном направлении [4].

Однако процесс изготовления данного ТЭНга довольно долгий. Поэтому мы решили взять за основу его структуру "сэндвича", но изменить процесс его создания. Модифицированная схема разработки приведена на рисунке 3. На кремниевую подложку наносится спинкоатингом тонкий слой полимера при помощи спинкоатера POLOS, аэрографом JAS 1202 наносится тонкий слой GaInSn и покрывается сверху полимером, запечатывая его.

Принцип работы данного трибоэлектрического генератора аналогичен предыдущему, однако время на его создание заметно сократилось.

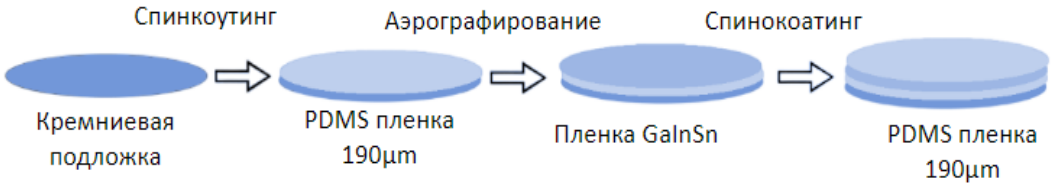


Рис. 3. Схема получения вертикального контактно-разделительного ТЭНга

Таким образом, трибоэлектрические генераторы на основе жидких металлов представляют собой перспективное направление в области гибкой и носимой электроники. Они могут быть интегрированы в различные поверхности и материалы, что делает их универсальными и применимыми в различных областях, включая электронику, медицину, спорт и промышленность. Благодаря своей высокой эффективности и надежности, они могут стать ключевым компонентом в развитии автономных устройств и систем. Характеристик вырабатываемых ТЭНгом с диаметром D=7,5 см хватило, чтобы зажечь диод с рабочим напряжением: ~2.0 - 3.0 В и потреблением тока ~20 мА, что соответствует нужному напряжению для микроконтроллера. Исследования и разработки в этой области продолжаются, и ожидается, что трибоэлектрические генераторы на основе жидких металлов будут играть все более значимую роль в создании инновационных технологий, способных удовлетворить потребности современного общества в энергосбережении и устойчивом развитии.

Список использованных источников

1. Trinh V.L., Chen-Kuei C. Advances in Triboelectric Nanogenerators for Sustainable and Renewable Energy: Working Mechanism, Tribo-Surface Structure, Energy Storage-Collection System, and Applications // MDPI. – 2023. – №. 11(9). – P. 2.
2. Jihyeon P., Inkyum K., Jonghyeon Y., Daewon K. Liquid-metal embedded sponge-typed triboelectric nanogenerator for omnidirectionally detectable self-powered motion sensor // Nano Energy. – 2021. – V. 89. – Part B. – P. 4.
3. Yijia Y., Jing H., Jinrong H., Jia S., Zhong L.W., Soonmin S., Qijun S. Stretchable Energy-Harvesting Tactile Interactive Interface with Liquid-Metal-Nanoparticle-Based Electrodes // Advanced Functional Materials. – 2020. – №. 30. – P. 2.
4. Kim J., Kim J.H., Seo S. Amplifying the Output of a Triboelectric Nanogenerator Using an Intermediary Layer of Gallium-Based Liquid Metal Particles // Nanomaterials. – 2023. – V. 13. – №. 1290. – P. 6.

Дизайн и урбанистика

УДК 711.4.01:74

РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОНСТРУИРОВАНИЯ ВЕРНАКУЛЯРНЫХ ДИЗАЙН-КОДОВ

Анохина А.С.*[1] *(студент)
***Научный руководитель – д.филос.н. Горнова Г.В.*[1]**

1 – Университет ИТМО

e-mail: im.brodsky@mail.ru

В работе рассмотрена проблематика существующей методологии конструирования дизайн-кодов и предложены варианты ее решения, которые являются основой в разработке вернакулярного метода конструирования дизайн-кодов, включающего цифровые инструменты и состоящего из шести связанных друг с другом этапов, а также направленного на стратегическое продвижение города, усиление его имиджа и укрепление идентичности.

Ключевые слова
Дизайн-код, брендинг, идентичность, вернакулярные районы, городская среда, цифровой сервис.

Практика внедрения дизайн-кодов в городское пространство России на сегодняшний день становится все более востребованной и с каждым годом используется активнее в разных регионах страны. Более чем в 10 городах России дизайн-код успешно внедрен и оказывает положительное влияние на качество городской среды, идентификацию горожан с местом проживания, увеличение притока туристов и инвестиций.

К 2024 году в городском управлении стоит задача повысить комфорт и индекс качества городской среды на 30 процентов, а также создать партисипативный механизм в формировании комфортной жизни в городе. Это указано в протоколе заседания проектного комитета по национальному проекту «Жилье и городская среда» от 21. 12. 2018 № 3 [1]. Городские проекты, непосредственно связанные с дизайн-кодом, могут стать одним из элементов, способствующих повышению индекса качества городской среды, и разрабатываться в логике стратегического пространственного развития городов.

Дизайн-код – это свод правил, регламентирующих стилистику и особенности размещения рекламных, информационных и навигационных вывесок в городском пространстве и расположение объектов уличного благоустройства. Задачами, которые помогает решить дизайн-код, являются улучшение качества городской среды и объединение внешних архитектурных элементов общей концепцией фирменного стиля с целью устранения визуального шума.

В России основными разработчиками проектов дизайн-кодов являются КБ Стрелка, студия Артемия Лебедева и Василий Дубейковский. В их портфолио можно найти кейсы как крупных городов, например Москвы, Нижнего Новгорода и Калининграда, так и малых, например Териберки, Зарайска и Южно-Сахалинска. Однако, несмотря на развитие этого направления, на данный момент отсутствует унифицированная методика конструирования дизайн-кодов, вследствие чего каждый город или регион решают данную задачу по-своему исходя из бюджета, контекста и представлений разработчиков, а итоговый свод правил не всегда комплексно внедряется в городскую среду, растягиваясь в реализации на долгие годы.

В ходе разработки нового метода были проанализированы не только примеры внедрения проектов дизайн-кода, но и другой современный популярный подход к созданию фирменного стиля города – территориальный брендинг, поскольку иногда данные проекты разрабатываются единым документом. Главной целью территориального брендинга является продвижение города и усиление его имиджа, а целью дизайн-кода – улучшение качества городской среды [2]. Кроме того, в ходе анализа отечественных и зарубежных кейсов было выявлено, что оба подхода на этапе формирования концепции берут за основу факторы идентичности территории, чтобы в

итоге проекты брендинга и дизайн-кода вписывались в существующий контекст и укрепляли городскую идентичность местных жителей. Таким образом, было выявлено, что оба подхода решают похожие и взаимодополняющие друг друга задачи, и, разрабатывая данные проекты параллельно, можно получить наиболее эффективный результат в контексте развития города.

Однако, данная методология в настоящий момент имеет ряд проблем, которые мешают ее масштабированию:

1. Работа над брендом и дизайн-кодом требует много человеческих и финансовых ресурсов, что мешает многим городам быстро разрабатывать концепции и документации этих проектов.
2. Если бренд города и его дизайн-код формируются отдельно друг от друга, как зачастую и происходит, то в результате они противоречат друг другу, что мешает городу формировать целостный облик территории.
3. Бренд и дизайн-код не работают на стратегические цели города, а просто делают его визуально эстетичнее, что с финансовой точки зрения является недостаточным аргументом и приводит к тому, что администрация не внедряет данные проекты.

Кроме того, самой распространенной проблемой в проектах территориального брендинга и дизайн-кода является их непринятие как администрацией, так и местными жителями на этапе презентации проекта, поскольку предложенные решения не отражают территориальную идентичность и не вписываются в городской контекст. Это происходит потому, что конструирование бренда и дизайн-кода формируется либо на слишком больших уровнях, таких как регион, область или город, либо на небольших городских фрагментах, например отдельных жилых группах или общественных пространствах. На уровне региона или области зачастую не учитывается идентичность отдельных населенных пунктов, вследствие чего каждый город теряет свою уникальность. На городском уровне при формировании концепции фирменного стиля остаются без внимания отдельные части города, а именно районы, которые имеют свой собственный исторический контекст, характерные особенности, стиль застройки, материалы в отделке фасадов и благоустройства, а также ментальное восприятие этих территорий горожанами. А при брендировании множества маленьких городских фрагментов создается визуальная дробность среды, что мешает цельному восприятию города и зачастую портит исторический контекст.

В ходе теоретического исследования понятия «городская идентичность» было выявлено, что основой для ее формирования является ментальное восприятие городских фрагментов местными жителями [3]. Чаще всего самоидентификация человека в городском пространстве основывается не только на самом городе, но и на районе проживания, при этом не административном, а вернакулярном, то есть границы которого формируются в сознании самого горожанина [4]. Так, в методологии конструирования дизайн-кодов, учитывая идентичность местных жителей, формируется новый уровень его внедрения – вернакулярный. Каждый из вернакулярных районов имеет свои уникальные контекстуальные особенности, что позволит при формировании для них локальных дизайн-кодов добиться максимальной эффективности и результативности.

Таким образом, были предложены следующие решения ключевых проблем существующей методологии конструирования брендов и дизайн-кодов городов:

1. Объединить процессы формирования бренда и дизайн-кода, поскольку это позволит не только улучшать качество городской среды, но и помогать городу работать над стратегическими целями.
2. Поскольку брендинг является более широким понятием и предполагает масштабную работу по конструированию привлекательного образа места как для горожан, так и для туристов, инвесторов и новых жителей, в первую очередь, необходимо формировать цельный образ города, то есть бренд, а после вписывать в него элементы вернакулярных дизайн-кодов, которые будут укреплять идентичность местных жителей.
3. Автоматизировать значительную часть проектных задач и использовать в работе цифровые инструменты, которые позволят дешевле и быстрее формировать проекты, что поможет масштабировать данные процессы по всем городам.

4. Создавать проект бренда города и дизайн-кода совместно с администрацией и местными жителями через партисипативные практики.
5. Проектировать бренд города, отталкиваясь от элементов его идентичности: смыслов, истории, визуального облика и его восприятия местными жителями.
6. Разрабатывать бренд и дизайн-код исходя из целевой аудитории, перспективных направлений его развития и конкурентных преимуществ.
7. Разрабатывать локальные дизайн-коды для вернакулярных районов, что будет, во-первых, укреплять идентификацию горожан с местом проживания, а во-вторых, помогать выстраивать районам более точное позиционирование и здоровую внутригородскую конкуренцию.

Данные решения легли в основу вернакулярного метода конструирования локальных дизайн-кодов городских районов, который в свою очередь является основной для алгоритма цифрового сервиса, позволяющего автоматически конструировать элементы бренда и дизайн-кодов. Структура метода включает в себя шесть логически выстроенных друг за другом этапов: целеполагание, вернакулярное картирование и социологический опрос, сбор данных, загрузка данных в сервис и визуализация, обработка и передача данных, внедрение разработок, описанных на рисунке.

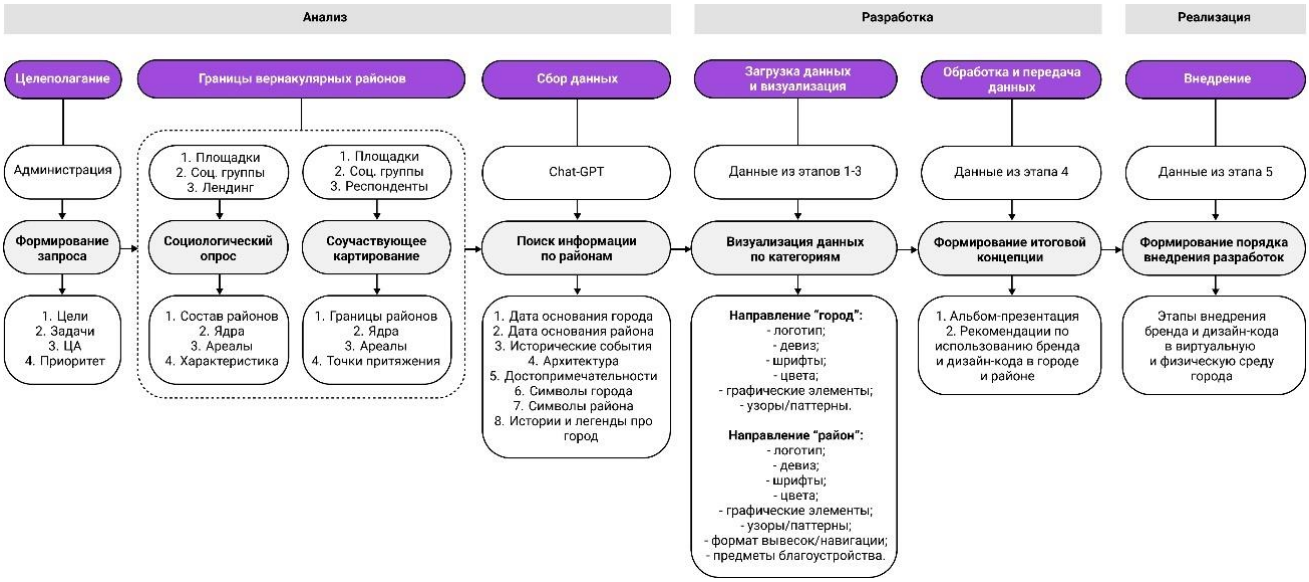


Рисунок. Структура вернакулярного метода конструирования локальных дизайн-кодов городских районов

Данный метод может быть унифицирован и масштабирован на все города России и за рубежом, поскольку он представляет собой конкретную цепочку действий, представляющую комплексную работу с изучением городского контекста, работу с местными жителями, обработку и загрузку данных в сервис и визуализацию.

Первый этап предполагает создание запроса от властей и местной администрации на внедрение комплексного брендинга или ребрендинга города. Данный этап является первым, поскольку именно брендинг задает общее направление развитию города. В зависимости от того, какие стратегические задачи решает администрация города, формируется общая концепция дальнейшего его развития и продвижения.

Если у города нет сформированного бренда, выраженного в конкретных символах, таких как девиз, логотип, фирменный стиль, то в этом случае задача этапа состоит в том, чтобы выявить, в чем заключается на данный момент стратегия продвижения территории и какие на текущем этапе ее развития стоят стратегические цели: усилить имидж, улучшить репутацию, привлечь туристов или инвестиции, и на чём конкретно акцентировать внимание (культура, экономика, качество городской среды, безопасность и т. д.). Если бренд города уже существует, то задача этапа состоит в том, чтобы выявить, что в настоящем бренде не соответствует

стратегическим целям, что необходимо улучшить, добавить и скорректировать в проекте. Ребрендинг города может существенно повлиять на его репутацию, культурное и экономическое значение, увеличить поток туристов, привлечь инвестиции и изменить отношение к городу у местных жителей.

Второй этап предполагает, в первую очередь, социологические опросы, целью которых является первичное составление вернакулярной карты города, а также выявление смыслов, символов и отличительных особенностей районов, в которых проживают местные жители. Во вторую очередь подключается проектная группа, которая будет напрямую взаимодействовать с горожанами и проводить соучаствующие практики в разных районах города. Все практики проводятся с помощью цифровых инструментов. На этом этапе составляется подробная вернакулярная карта города. Ментальное картирование предполагает использование сервиса «Конструктор карт Яндекса», что позволяет удобно и быстро в онлайн-режиме отрисовать ментальные карты, которые впоследствии накладываются друг на друга и образовывают ареалы вернакулярных районов.

Третий этап предполагает включение в работу Chat-GPT, который позволяет быстро обработать и собрать данные по архитектурному, историческому, смысловому, контекстуальному и аутентичному образу города (для формирования концепции брендинга) и вернакулярных районов (для формирования элементов дизайн-кода по каждому району). В ходе работы необходимо собрать данные по категориям:

1) дата основания города;
2) даты основания каждого района;
3) ключевые исторические события, которые отличают город;
4) архитектурные стили зданий, построенных в каждом районе и описание их материалов, колористики, деталей на фасадах;
5) достопримечательности в каждом районе;
6) символы каждого района;
7) символы города;
8) необычные истории и легенды про город.

Четвёртый этап предполагает собой систематизацию и оцифровку всех данных, полученных на предыдущих этапах для того, чтобы собрать их в единой таблице и загрузить в сервис для дальнейшей обработки. Загрузка данных в сервис осуществляется по двум направлениям – город и район. Внутри каждого из направлений есть соответствующие блоки, куда необходимо загрузить информацию, полученную на предыдущих этапах:

1) данные для логотипа;
2) данные для девиза;
3) данные для подбора шрифтов;
4) данные для цветового решения;
5) данные для графических элементов;
6) данные для узоров/паттернов;
7) данные для форматов вывесок/навигации;
8) данные для предметов благоустройства.

Поскольку цифровой сервис – это не конечный результат, а инструмент, который позволяет специалистам профильных областей (архитекторам, градостроителям, урбанистам, дизайнерам) создавать более качественный итоговый результат за короткие сроки, пятый этап предполагает обработку профессионалами информации, полученной из сервиса.

На данном этапе, во-первых, если результат, который представил сервис, не устроил специалистов, можно протестировать другую комбинацию данных. Так, можно тестировать разные комбинации бесконечное количество раз в каждом тематическом блоке. Во-вторых, когда финальный результат качественно и количественно устроил специалистов, они могут вручную доделать какие-то детали брендинга и дизайн-кода, приняв правки от заказчика, то есть администрации. Удобство сервиса в том, что он является IT-помощником в руках профессионалов и используется в качестве инструмента к достижению цели в кратчайшие

сроки. Когда концепция и детали брендинга и дизайн-кода сформированы, их необходимо передать заказчику и представить в виде альбома-презентации.

По завершении презентации проекта работа над брендингом и дизайн-кодом не заканчивается. Напротив, самая большая работа только начинается. Одна из основных трудностей во внедрении брендинга и дизайн-кода заключается в том, что на комплексную одномоментную реализацию такого проекта нужно много времени и финансовых вложений. Для того, чтобы брендинг и дизайн-код не остались на бумаге, необходимо предоставить администрации пошаговый план реализации проекта, который состоит из 3 шагов:

1 шаг – работа с интернет-ресурсами. Поскольку к этому этапу все элементы фирменного стиля города, а именно логотипа, шрифтов, цветов и графических элементов, уже готовы, то необходимо внедрить их в главный информационный портал города и социальные сети города. Данный шаг является первым, поскольку требует минимальных вложений и может стать точкой отсчёта для формирования нового бренда города. Кроме того, на данном этапе можно проанализировать, как к новому бренду города относятся горожане, обратившись к формам обратной связи, комментариям и реакциям. Этот шаг позволит в случае негативного восприятия нового бренда, во-первых, внести в него правки и скорректировать фирменный стиль, а во-вторых, начнётся постепенное влияние на горожан для того, чтобы они привыкли к новому бренду, так как новизна требует времени для принятия.

2 шаг – разбивка вернакулярной карты районов на этапность реализации. Здесь необходимо решить, какой район будет внедрять изменения в дизайн-коде в первую очередь, какой во-вторую и так далее.

3 шаг – работа с дизайн-кодом в вернакулярных районах. На данном шаге есть конкретные этапы, поскольку внедрение дизайн-кода – долгий процесс. Эти этапы предполагают:

1) направление поручений малому бизнесу о замене наружной рекламы в соответствии с требованиями дизайн-кода;
2) замена навигационных стендов и знаков по району;
3) замена домовых знаков по району;
4) замена рекламных баннеров, размещенных в районе;
5) создание информационных порталов (сайт и социальные сети), которые будут развивать и продвигать бренд района.

Таким образом, в ходе разработки данного метода были сделаны выводы, что процессы брендинга и дизайн-кода города должны формироваться параллельно и основываться на укрепившейся городской идентичности, а также конструироваться из стратегических целей города, его приоритетной аудитории и перспективных направлений развития.

Цифровой сервис поможет сократить затраты временных и финансовых ресурсов в формировании брендинга и дизайн-кода, что позволит автоматизировать и масштабировать процесс улучшения качества городской среды. На создании проекта бренда и дизайн-кода города работа не заканчивается. Бренд необходимо развивать и видоизменять со временем, сверяясь с актуальными целями и задачами. Цифровой сервис позволит быстро внедрять изменения и тестировать гипотезы.

Список использованных источников:

1. Национальный проект «Жильё и городская среда». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://minstroyrf.gov.ru/trades/natsionalnye-proekty/natsionalnyy-proekt-zhilye-i-gorodskaya-sreda/ (дата обращения: 11.03.2024).
2. Замятин Д.Н. Геокультурный брендинг городов и территорий: от гения места к имиджевым ресурсам // Современные проблемы сервиса и туризма. – 2015. – С. 26.
3. Дягилева Н.С. Теоретические аспекты городской идентичности // Брендинг малых и средних городов: опыт, проблемы, перспективы. – 2013. – С. 56–59.
4. Трофимов А.М., Шарыгин М.Д., Исмагилов Н.Н. Территориальная идентификация в географии и вернакулярные районы // Географический вестник. – 2008. – Вып. 1. – С. 3–12.

УДК 711.4.01

ЛОКАЛЬНАЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ИДЕНТИЧНОСТЬ НЕОСВОЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Кругликов А.Т.[1] *(студент)*
Научный руководитель – д.филос.н. Горнова Г.В.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: kruglikov.artemiy@gmail.com

В работе рассмотрены подходы к работе с локальной территориальной идентичностью в градостроительном развитии на неосвоенных территориях. Исследованы основные подходы к концептуализации ключевых понятий проблемного поля. Сформулированы примеры подходов к категоризации концептов, связанных с идентичностью.

Ключевые слова
Локальная идентичность, маркер идентичности, локус идентичности, градостроительное развитие, неосвоенные территории.

Культурная ситуация современности ставит индивида в трудное положение, когда речь заходит о его самоидентификации. Ускоряющиеся темпы социальной жизни требуют все большей подвижности и вариативности, а пафос недоверия к метанарративам ведет к тому, что придерживаться идентичностей, связанных с какими-либо глобальными структурами, становится все труднее. Современный человек оказывается в ситуации «текучей современности», характеризующейся поверхностностью и кратковременностью меж субъектных связей и отсутствием жесткой привязанности к социальным структурам [1]. В такой ситуации глобального непостоянства и изменчивости жизни происходит обращение к локальным социальным структурам. Кроме того, в условиях информационного общества, когда мир становится слишком большим и неконтролируемым, локальная идентичность приобретает особое значение, поскольку люди стремятся уменьшить масштабы окружающего мира до размеров, поддающихся осмыслению. В социологии процессы повышения значимости локальных идентичностей связаны с популярным в последнее время понятием глокализации, обозначающим сохранение и усиление локальных отличий вопреки глобализации. Можно отметить, как и на уровне градостроительного дискурса мы все чаще говорим, к примеру, о «бренде города», айдентике территории или «духе места». Таким образом, проблема идентичности и ее локальных модусов представляется актуальным предметом исследования в контексте существующей культурной ситуации.

В рамках исследований локальной идентичности в градостроительном развитии проблемой остается тот факт, что городская идентичность не реализуется как проект [2]. Исследования в данной области носят скорее философский, социологический или психологический характер. Нередко они носят также сугубо аналитический характер. В тех же случаях, когда по итогу исследования выдвигаются определенные рекомендации относительно возможных направлений развития локальной идентичности, они зачастую сводятся к социальным мероприятиям или способам репрезентации территории в СМИ. Рекомендации же относительно пространственных решений, оказывающих позитивное влияние на идентичность, остаются за скобками. Объясняется это тем, что подобные исследования имеют в качестве своего объекта те территории, физический облик уже сформирован. Зачастую проекты, учитывающие социокультурный контекст территории, связаны с редевелопментом или ревитализацией уже существующих пространств. В таком случае исследователь может обратиться к пользователям территории или использовать объекты, которые на ней находятся. В случае же работы со свободными территориями такой возможности не предоставляется.

Не отрицая ценность такого рода проектов, стоит, однако, отметить, что больший интерес в контексте градостроительного развития может представить реализация локальной идентичности в качестве проекта, то есть относительно тех территорий, которые находятся еще на стадии проектирования. Речь здесь идет о том, чтобы попытаться сконструировать такой способ работы с идентичностью, который позволит учитывать уже существующие в окружающем пространстве ключевые смысловые точки идентичности и создавать такие пространственные структуры, которые позволят поддерживать в проектируемом районе устойчивую локальную идентичность, а также избегать конфликтов, связанных с ней. Потенциально именно такая развертка проблематики локальной территориальной идентичности представляет наибольший интерес. Однако, прежде чем развивать подобную гипотезу, предполагающую реализацию достаточно сложного комплекса теоретических этапов работы и исследований, следует рассмотреть, какие в актуальном дискурсе существуют пути концептуализации и методы работы с локальной территориальной идентичностью.

Обращаясь к концептуализации понятия территориальной идентичности, в первом приближении можно сказать, что оно выражает чувства связи, сопричастности и принадлежности по отношению к определенной территории. Иными словами, оно отражает определение индивидом самого себя в качестве члена некоей территориальной общности. Более точно определить этот концепт можно как совокупность территориальных смыслов, репрезентируемых в пространстве в виде образов и концептов, вызывающих отождествление человека с конкретной территорией и людьми, проживающими на ней. Территориальную идентичность, в свою очередь, можно разделить на локальную, региональную, национальную или государственную и цивилизационную или континентальную. Такое разделение основывается на различии в масштабе территорий, по отношению к которым идентифицирует себя субъект, так, локальный уровень связан с территорией непосредственного проживания: города, района, поселка, микрорайона. Городская идентичность, таким образом, может быть определена как устойчивое представление человека о себе как о жителе именно этого города, естественное ощущение своей связи с городом [3]. Немного конкретизируя понятие городской идентичности, мы можем определить локальную территориальную идентичность как устойчивую идентификацию с определенным фрагментом городской среды. В плане масштаба территории нас будут интересовать еще более локальные структуры, чем городская идентичность, дальнейшее исследование будет обращено скорее к проектированию территории района.

Несмотря на широкое междисциплинарное использование и невозможность однозначного определения понятия идентичности мы можем сказать об установлении определенного консенсуса относительно анализа ее структуры. Так, обычно в ней выделяются когнитивный, аффективный, ценностно-смысловой и практический компоненты. Говоря о городской идентичности, следует отметить, что ключевую роль здесь играют первые два. Когнитивный компонент отражает представление об отличительных чертах города и объективных факторах, влияющих на его жизнь, например, экономических, географических или демографических. Субъективное восприятие этих объективных факторов, опосредованное условиями жизни горожанина и образами места проживания, образуют аффективный компонент идентичности, эмоциональное-чувственное восприятие. Ценностно-смысловой компонент представляет собой синтез первых двух и выражается в объективных формах городской культуры, определенных нарративах, связанных с восприятием города. Практический компонент отражает решение относительно поведения горожанина относительно той территории, на которой он живет. Состояние первых трех компонентов идентичности инициирует реализацию практического компонента. Так, если идентичность в том или ином плане оказывается в кризисном состоянии, то практические решения окажутся связанными с деструктивным поведением или решением о миграции. Поэтому важно иметь в виду целостность структуры идентичности и значимость каждого из ее компонентов.

Существует достаточно широкий ряд подходов к работе с идентичностью в градостроительном развитии, вариативность которого основывается на разнице в выделении наиболее значимых аспектов данной проблематики. Перечислим, на наш взгляд, наиболее

распространенные из них. К примеру, предметом определенного рода исследований становится проблема соотношения глобального и локального, актуализация локальных идентичностей в контексте процессов глобализации. Подобные работы осмысляют саму возможность и обозначают важность развития локальных идентичностей. Другой аспект идентичности раскрывается в исследованиях, связанных с сохранением исторического наследия, объективированного в формах городской среды. Иной род исследований ориентирован на анализ визуально-семиотических структур восприятия городской среды. Также здесь стоит упомянуть о феноменологических подходах, оперирующих, к примеру, понятием «дух места». Достаточно распространенным является изучение имиджа города, исследование визуальных и структурных его особенностей, ориентированное на последующее создание дизайн-кода или «бренда города». Стоит отметить и те исследования, которые помещают в фокус своего внимания структуры социального взаимодействия, связанные с территориальной идентичностью, апеллирующие скорее к идейным компонентам образа города. Такая вариативность свидетельствует о том, что городская идентичность соотносится с широким проблематическим полем, существующим в градостроительном дискурсе, и это понятие может быть эффективно применено во множестве контекстов. Эта интерконтекстуальность должна удерживаться нами в дальнейшем, поскольку идентичность не может быть определена одними лишь физическими формами городского пространства, она всегда привлекает множество иных смыслов, связанных в том числе и с нематериальными объектами.

При том, что мы удерживаем сложносоставленность рассматриваемого концепта, нам, в то же время, важно выделить те аспекты идентичности, рассмотрение которых наиболее актуально для градостроительного развития. В структуре идентичности нас в большей степени будут интересовать те ее элементы, которые связаны с физическими и пространственными аспектами городской среды, то есть те, в отношении которых возможно проектирование. Такое проектирование должно стремиться к тому, чтобы вычленять особенности города и вырабатывать предложения по организации городского пространства, ориентирующегося на них. Применение концепта локальной территориальной идентичности в проектировании территорий может позволить выделить смыслы и ценности, объединяющие целевую аудиторию и остальных стейкхолдеров проекта, раскрыть наследие и привлекательные особенности территории, делающие проект уникальным, а также предложить дополнительное функциональное наполнение, актуальное для жителей района, повысив тем самым устойчивость экономической модели проекта. На предпроектном этапе социокультурное исследование играет ключевую роль в выявлении особенностей и потенциала рассматриваемой территории. Это позволяет понять, каким образом формируется облик района или определенной территории: какие интересы актуальны в различных частях пространства, какие места привлекают внимание, и какие группы людей могут проявить к ним интерес. Важным аспектом является точная оценка особенностей территории, изучение аудиторий, их ценностей и потребностей. Такой подход позволяет выработать стратегию развития проекта, ориентированную не только на целевую аудиторию, но и на местное сообщество.

Определенные точки концентрации смысла, которые мы будем называть «маркерами идентичности», могут отражать идентичность места через обращение к истории, уникальным природным объектам, особенностям местного быта, известным личностям или персонажам и так далее. Понятие «маркер идентичности» мы будем использовать как рабочее определение для конкретных выражений ключевых аспектов идентичности. Мы можем категоризировать эти маркеры по основным смысловым элементам, в связи с которыми происходит идентификация. Выделение категорий можно произвести в соответствии с элементами структуры идентичности. Каждому из выделенных компонентов, когнитивному, аффективному, ценностно-смысловому и практическому будет соответствовать отдельная категория маркеров идентичности. К когнитивным маркерам можно отнести представления о локальной географии, особенностях ландшафта или облика территории. К ним же относятся представления о демографическом составе территории или ее экономическом статусе. Категория аффективных маркеров включает в себя абстрактные оценки восприятия территории, обозначения состояний индивида,

находящегося на ней. К ценностно-смысловым маркерам относятся культурно-исторический контекст территории, включая «пантеон героев», набор исторических и вымышленных личностей, имеющих отношение к месту. К категории практических маркеров относятся выражения, отражающие стратегии поведения на территории или относительно нее. Работа с неосвоенной территорией предполагает определенную спецификацию этой структуры. Можно предположить, что в таком случае наибольшее значение будут иметь когнитивные маркеры, связанные с природными объектами, особенностями ландшафта и расположения, а также ценностно-смысловые маркеры, связанные с историческим прошлым территории

Территория городской среды, конфигурация ее объектов и их связи, образует фундамент процесса идентификации с территорией. Маркеры идентичности зачастую не содержат в себе информации о конкретной территориальной привязке собственного смысла. Они выражают скорее общее представление о месте, его смысловую наполненность и эмоциональную окраску. Тем не менее, следует предположить, что такие маркеры восприятия городской среды обладают определенными пространственными коррелятами. Для обозначения пространственных проявлений концентрированных смыслов идентичности мы вводим понятие «локус идентичности». Используя введенную нами терминологию, можно определить локус идентичности как пространственное выражение маркера идентичности. Для того, чтобы попытаться систематизировать множество элементов, которые можно обозначить в качестве локусов идентичности, обратимся к классической классификации элементов образа города, приводимой Кевином Линчем [4]. Мы используем этот подход, поскольку он является устоявшимся и значимым в дискурсе урбанистики, а его основание соответствует логике исследования локальной территориальной идентичности. В основе этого подхода лежит рассмотрение того, как городское пространство воспринимается индивидом, при этом исследование ориентировано на анализ предметных объектов. Таким образом, предлагаемый К. Линчем категориальный аппарат является подходящим инструментом для анализа локусов идентичности. Исследователь выделяет в образе города пять элементов: пути, границы, районы, узлы и ориентиры. Пути представляют собой коммуникации, траектории перемещения, вокруг которых собираются остальные элементы городской среды. Некую противоположность путям представляют границы как разрывы между элементами города. Районы автор определяет как средние по величине элементы города, обладающие каким-то общим внутренним характером. Узлы представляют из себя как фокусирующие точки передвижений, соединения путей, разрывы маршрутов, так и места максимальной концентрации некой функции или особенности облика. Ориентиры – это тоже точечные элементы, остающиеся, однако, внешними по отношению к наблюдателю, это может быть, например, здание, дерево, знак или фасад. Такое выделение предметных форм городской среды позволяет четко сформулировать набор элементов, в отношении которых возможен анализ и планирование территориальной идентичности. Существенным замечанием здесь будет утверждение о том, что, хоть мы и можем выделить определенный набор элементов, для нас важны совокупность их внутреннего восприятия и целостная взаимосвязанность. Говоря о неосвоенных территориях, можно отметить, что даже если сейчас, на памяти ныне живущих людей, на территории ничего нет, кроме пустыря или поля – раньше на ней с большой вероятностью что-то находилось. Также можно использовать окружающий контекст в более широком радиусе – могут быть проведены социальные исследования на территории, окружающей территорию проектирования. Это позволит избежать конфликтности идентичностей. Наследие места можно раскрыть и использовать как отправную точку для развития концепции. В зависимости от проекта можно выбрать, какие именно объекты и сюжеты подчеркнуть, на каком наследии или особенностях территории сделать акцент в концепции.

Можно отметить, что социокультурные исследования идентичности и проблематика идентичности в градостроительных проектах в настоящее время имеют мало профессиональных пересечений. Более полная их интеграция улучшит качество исследований и проектов, связанных с локальной территориальной идентичностью. Идентичность представляет собой явление, которое сложно формализовать, в свою очередь, территориальное

планирование и градостроительное проектирование имеют дело с формализованными сущностями. Новизна исследования состоит в попытке предложить формализованный метод интеграции этих подходов, применимый в градостроительном развитии. Основой метода должны стать анализ маркеров идентичности и локусов идентичности как их пространственной привязки. В дальнейших исследованиях нами будет предпринята попытка сформулировать метод анализа локальной территориальной идентичности в соответствии со сформулированными определениями. В разрабатываемую методологию мы будем стремиться внедрять цифровые инструменты. Помимо разработки метода анализа идентичности нами будет предложен метод внедрения полученных данных в градостроительные проекты. Предполагаемая методология анализа локальной территориальной идентичности будет основываться на введенной категоризации ее маркеров. Подобный метод подразумевает выявление ключевых маркеров идентичности территории для каждой их категории посредством проведения социологических опросов. Для определения локусов идентичности предполагается реализация качественных методов исследования таких, как глубинное интервью, включенное наблюдение, метод прогулок. Подобный метод позволит выявлять ключевые смысловые точки локальной идентичности и соотносить их с конкретными пространственными городскими структура.

Список использованных источников:

1. Бауман З. Текучая современность. - СПб.: Питер, 2008. – 240 с.
2. Федотова Н.Г. Формирование городской идентичности: факторный и институциональный аспекты // Журнал социологии и социальной антропологии. – 2017. – №. 20(3). – С. 32–49.
3. Горнова Г.В. Городская идентичность: философско-антропологические основания: монография / Г.В. Горнова. - Омск: Изд-во «Амфора», 2019. – 167 с.
4. Линч К. Образ города / Пер. с англ. В. Л. Глазычева под ред. А.В. Иконникова. - Москва, 1982. – 382 с.

УДК 711.4.01

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДХОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ ЗВУКОВОГО МАСТЕР-ПЛАНА ГОРОДА

Кустов А.А.[1] *(студент)*
Научный руководитель – к.т.н. Митягин С.А. [1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: drewkusto@yahoo.com

Работа выполнена в рамках темы НИР «Исследование подходов формирования звукового мастер-плана».

В данной работе происходит анализ различных существующих подходов к работе со звуком в городской среде, с последующим выявлением наиболее подходящих для формирования комплексных методик создания звуковых мастер-планов.

Ключевые слова
Городская среда, звуковой ландшафт, исследование звука, регулирования звука, картирование звука, мастер-план.

Стремительная урбанизация и сопутствующие ей процессы обладают большой сферой влияния, и звуковая среда не является исключением в этом вопросе. К таким проблемам как, например, шумовое загрязнение сегодня применяется ряд решений, однако и они в свою очередь обладают собственными недостатками. Внимание лишь к количественным показателям, фокус на защитных мерах, неосведомленность о возможностях акустического дизайна и дополнительная финансовая нагрузка им накладываемая – все это вопросы, которые могут быть сняты комплексным подходом к работе со звуковой средой города. В рамках данной работы выдвигается гипотеза о том, что подобный комплексный подход может быть представлен звуковым мастер-планом – дополнением к городскому мастер-плану – стратегическому документу рекомендательного характера, оставляющему свободу выбора и в то же время предлагающему руководство к действию.

Важно заметить, что феномен звукового мастер-плана как стратегического документа в каком-либо конкретном виде на сегодняшний день отсутствует, однако в процессе работы были выявлены ключевые аспекты, из которых он может складываться. К ним относятся вопросы изучения звуковых сред, способы их потенциального регулирования и методы демонстрации результата произведенной работы, которые будут рассмотрены далее.

Продолжительное время изучение восприятия человеком окружающей среды являлось окуляроцентричным, то есть основанным по большей части на зрительном восприятии и его преобладании над иными модальностями восприятия (звуковой, обонятельной, тактильной, проприоцептивной). Однако вторая половина XX века в европейской культуре ознаменовалась сенсорным поворотом. Впервые проблема недостаточного внимания к звуковой составляющей городской среды была отчетливо сформулирована Рэймондом Мюрреем Шейфером в рамках изданного им в 1967 г. учебного пособия, побуждающего читателей «начать замечать звуки, к которым они раньше никогда не прислушивались, как сумасшедшие вслушиваться в окружающие их звуки, в звуки, которые они сами привносят в окружающую среду» [1].

Помимо введения термина «soundscape» («звуковой ландшафт») и концепции с ним связанной Р.М. Шейфер предлагает разные системы классификации звуковых явлений. Так, исследователь выделяет следующий ряд «звуковых природ»: естественные звуки, звуки человека, звуки общества, технологические звуки, тишина, звуки-индикаторы. Р.М. Шейфер

также упоминает, но подробно не раскрывает содержание следующих категорий: мифологические звуки, звуки утопий, звуки снов и галлюцинаций. Р.М. Шейфер учитывает неоднозначность и многообразие контекстов, к которым можно отнести тот или иной звук, поэтому допускает взаимосвязь категорий между собой и возможность нахождения одного звука сразу в нескольких. Промежуточным итогом работы исследователя явилось возникновение отправной точки для последующего изучения звука и среды им производимой.

В 1993 году французским ученым Паскалем Амфу из Центра исследований звукового пространства и городской среды (CRESSON) в Гренобле, Франция было предложено объединить несколько разнородных подобластей и выделить их в более практически-ориентированную сферу «урбанистического звукового дизайна». В рамках данной сферы деятельности звуковые исследования приобретают более конкретный и урбанистический вектор, отчетливо обозначая предмет исследования как «городской звуковой ландшафт».

Приведенная на рисунке 1 диаграмма представляет собой наглядную интерпретацию классификации подходов и областей, существующих сегодня в вопросе работы со городской звуковой средой, а именно [2]:

- исследования звуковых ландшафтов;
- городское планирование и дизайн звуковых ландшафтов;
- менеджмент окружающего шума.

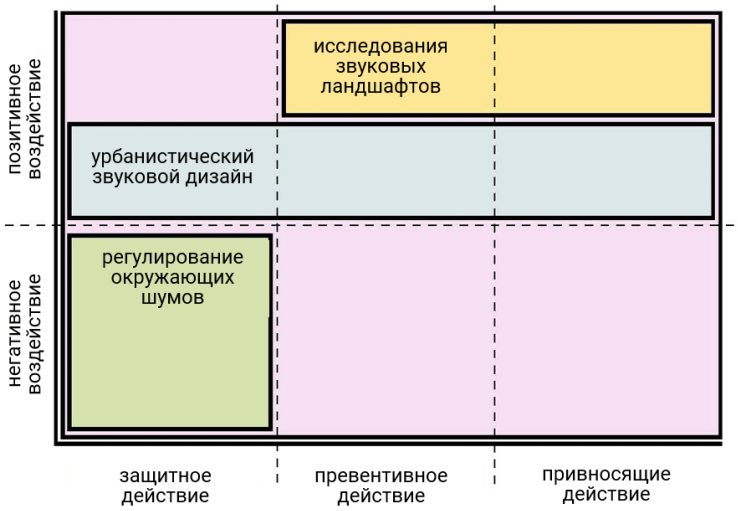


Рис. 1. Классификация областей и подходов к работе с городской звуковой средой

Анализируя диаграмму, можно сделать вывод, что область городского звукового планирования и дизайна является наиболее всеобъемлющей и продуктивной, так как может обеспечивать не только ряд защитных мер, как это происходит по большей части сегодня в рамках регулирования окружающих шумов, но и предлагать звуко-средовые решения, предвосхищающие негативное воздействие и привносящие новые качества.

Как уже было отмечено выше, сегодня основной областью практической работы со звуком являются управление им с целью нивелировать, устранить или скрыть то отрицательное влияние, которое не было предвидено при первоначальном средовом проектировании. Занимателен тот факт, что несмотря на возникший лишь во второй половине XX века интерес первые попытки законодательного и административного регулирования городского звука предпринимались значительно раньше. Первый случай принятия подзаконного акта в современном понимании, касающегося шума, был принят Юлием Цезарем и датируется 44 годом до н. э. Документ запрещал повозкам выезд на улицы Рима в дневное время, тем самым происходила разгрузка траффика и соответственно снижение шумового воздействия.

В настоящее время на территории Российской Федерации действует ряд нормативно-правовых документов, определяющие допустимые параметры звуковой среды ее количественной характеристикой. Необходимо заметить, что как такового единого «закона о

тишине» на федеральном уровне на конец 2023 года не существует. Согласно федеральному закону №52 «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» нормативные акты, устанавливающие, виды и условия нарушения спокойствия граждан, принимаются на уровне субъектов [3]. Изучая их, можно обратить внимание, что регулирование практически всегда производится в отношении ночного времени суток. Большая их часть ставит своей целью минимизацию шумового загрязнения. Акцент делается на внутренних частных и общественных пространствах, однако городская среда все же упоминается в ряде из них.

Помимо правил, регламентируемых законом и определяющих временной и количественный диапазон создаваемых звуков, хочется также упомянуть происходящее комплексно с 1998 года по всей территории Европейского союза введение директив для будущего строительства и планирования, в которых упоминается и формирование звуковой среды. По мнению Брэндона Лабелля это отражает озабоченность властей акустическим пространством, возможностями и угрозами, которое оно несет в целом. Более того, в своей работе «Акустические территории» автор не раз указывает на политическую значимость звуковой среды наравне с социальной, культурной, географической и экологической [4].

Восприятие звуков – это процесс взаимодействия с окружающей средой, так как звуки меняются в одном и том же пространстве с течением времени, изменяются по мере перемещения людей, и само тело слушающего всегда участвует в производстве звуков [5]. Все названные выше свойства на первый взгляд сложно поддаются картированию, поскольку оно в привычном понимании носит визуальный, а также относительно постоянный и статичный характер. Тем не менее, в течение последнего столетия люди, будучи взволнованы проблематикой, не раз прибегали к попыткам изобрести различные методики репрезентации аудиального, некоторые из которых будут рассмотрены далее.

Даниэль Андре Фернандес Пайва в описании историографии звуковой географии отмечает, что первым, кто обратил внимание на звук, был, вероятно, географ Йоханнес Габриэль Гранё в своем картографическом исследовании звуков острова в Финляндии в 1929 [6]. Стоит отметить, что Гранё был своего рода пионером в попытке переноса разнообразных способов восприятия ландшафта на карту; географ стремился выработать особый язык репрезентации визуальных, аудиальных, ольфакторных и тактильных ощущений. Подход не подразумевал использования какого-либо инструментария, Гранё полностью полагался на свои органы чувств [7]. Существенным видится тот факт, что в составлении своих «сенсорных» карт географ-исследователь учитывал и динамичность, и темпоральность объектов, явлений, событий (например, смену времен года или движущийся транспорт) (рис. 2 [7]).

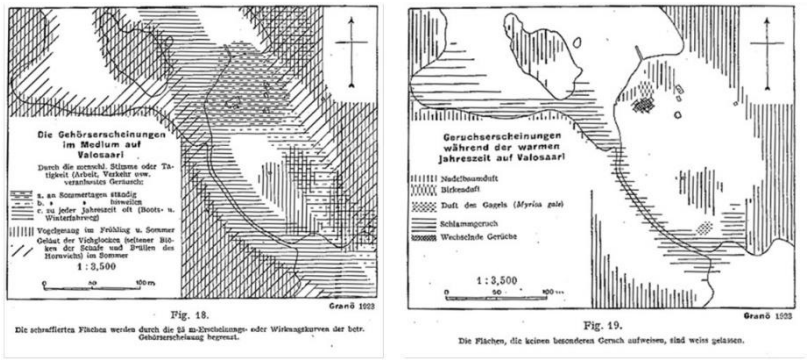


Рис. 2. Пример аудиальной (слева) и ольфакторной (справа) картографии острова Валосаари в Финляндии, выполненной Й. Г. Гранё в 1929 г.

Однако данный пример подсвечивает важную проблему в звуковом картографировании, которая заключается в том, что подобные системы визуализации неизбежно неполны и несут на себе отпечаток авторского произвола и субъективности в большей степени, чем обычно.

В статье «Sound maps matter: expanding cartography» Сэмюэль Тулин прибегает к попытке произвести классификацию звуковых карт. Исследователь выделяет и описывает следующие категории: звук как карта; звук, перенесенный в карту (посредством технологии SONAR); карта,

перенесенная в звук (сонифицирование); звуковые карты (шумовые карты); звуковые карты-интерфейсы (карты звуковых прогулок) [8]. Так или иначе обилие способов картировать звук не снимает один значимый вопрос, связанный с тем, что визуализация аудиального или сонификация визуального не являются широко распространенными в мире практиками, а потому могут быть труднодоступны в прочтении пользователями. Внутри созданной С. Тулиным классификации ни одну из категорий не получается назвать однозначно эффективным способом репрезентации звуковых данных. В какой-то степени успешной попыткой решения этой задачи можно считать звуковые карты-стриминги, которые не просто представляют записанные до звуковые капсулы, но позволяют слушать звуковые потоки в реальном времени, как например LocusStream Soundmap.

В любом случае, подобные платформы и формы звукового картирования разрушают некогда отдельные акты создания и просмотра карты, создавая новую «перформативную картографию», в рамках которой пользователь воспринимается активным и воплощенным агентом, одновременно создающим, воспринимающим и взаимодействующим со звуковыми данными в разных масштабах и ракурсах, отказываясь от привычной вертикальности картографии [6].

Данная научно-исследовательская работа обзорного характера позволила определить ряд тенденций, направлений и принципов, ориентируясь на которые можно подходить к выполнению следующих этапов.

Дальнейшее развитие видится в детальном изучении методик работы со звуковой средой города, формировании собственной. Заключительным этапом предположительно может стать художественная интерпретация собственного синтезированного метода формирования звукового мастер-плана города. Художественный подход выбран из нескольких соображений. Во-первых, сама по себе область звуковых исследований тяготеет отчасти к сфере искусства, о чем заявлял один из основоположников данной области знания Р. М. Шейфер. Во-вторых, художественный подход допускает некоторую спекуляцию, которая на данном этапе развития городских звуковых исследований кажется уместной и продуктивной с точки зрения новаторства.

Ключевым принципом должен стать звукосредовой подход, не ограничивающийся лишь стремлением к устранению и минимизации городского шума, поскольку шум в той или иной степени (желательно, конечно, безопасной и допустимой по гигиеническим нормативам) – неотъемлемый признак города и его полное искоренение звучит достаточно парадоксально и утопично. К тому же данный подход апеллирует к феномену идентичности, в конкретном случае звуковой, которая в своей общей трактовке занимает немаловажное место в текущей градостроительной повестке.

Пожалуй, автономное существование звукового мастер-плана не будет иметь позитивного результата, поскольку звуковая составляющая среды неотделима от визуальной, ольфакторной, тактильной и т. д. Необходимо ориентироваться на полноценный мультисенсорный метод, не принуждающий противоестественно отделять одни чувственные ощущения от других. Репрезентация чувственных данных по-отдельности вызывает только больше вопросов и сложностей в восприятии, нежели добавляет ясности и полноты.

При анализе и мониторинге состояния звуковых сред необходимо прибегать к извлечению и количественных, и качественных данных. Особый акцент важно делать на звуковой идентичности, на обнаружении, фиксации и защите существующей, а также на способах и принципах ее формирования в новой среде.

Не раз упомянутые в работе характеристики звука – динамичность и темпоральность – так или иначе должны быть учтены в последующей разработке методологии для формирования звуковых мастер-планов, поскольку невнимание к вышеупомянутым свойствам способствует неполноте репрезентируемой ситуации. Субъективность воспринимаемого звука аналогично требует отражения в дальнейшем исследовании. Тенденция к тотальной цифровизации в целом отвечает на эти запросы и, более того, дает инструментарий для реализации определенных решений.

Список использованных источников

1. Schafer R.M. The soundscape: Our sonic environment and the tuning of the world. N.Y.: Knopf. – 1977. – 320 p.
2. Сафонов Н.А. Звуковое мышление городских условий как технопоэтический дизайн: экоакустика, сенсорный материализм, моделирование звуковых идентичностей и сборка звучащего инструментария города. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://unmap.tilda.ws/urbansonic (дата обращения: 02.01.2024).
3. Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/901729631?ysclid=lr4ieghvfr103804276 (дата обращения: 23.12.2023).
4. Лабелль Б. Акустические территории // Новое литературное обозрение. – 2023. – 296 с.
5. Rodaway. Sensuous geographies: body, sense and place. London: Routledge. – 1994. – 198 p.
6. Зубова О.А. География неявных потоков. Звуковое картографирование и ритманалитика современного городского пространства. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/zvukovoe-deystvie-i-zvukovoe-nasilie-kontseptualnyy-slovar-dlya-opisaniya-gorodskih-konfliktov (дата обращения: 02.01.2024).
7. Helm H., Buchroithner M. F. Johannes Gabriel Granö and his Cartography-Oriented Landscape Research. A Reviewing Appreciation. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.landscape-online.org/index.php/lo/article/view/LO.201860/15 (дата обращения: 02.01.2024).
8. Thulin S. Sound Maps Matter: Expanding Cartophony // Social & Cultural Geography. – 2018. – №. 1. 9(2). – Pp. 192–210.

Инфокоммуникационные технологии

УДК 004

ВНЕДРЕНИЕ БЛОКЧЕЙН ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ МЕДИЦИНСКИМИ ДАННЫМИ

Лаврова А.К.[1] *(студент)*, ***Алмазова А.***[1] *(студент)*
Научный руководитель – д.э.н., профессор Максимова Т.Г.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: egoinc@list.ru, liana.1707.la@gmail.com

В настоящее время медицинская сфера сталкивается с серьезными проблемами в управлении данными пациентов, такими как ограниченный доступ к информации и несинхронизированные медицинские записи между различными учреждениями. Недостаточная доступность, низкая безопасность и несогласованность данных могут существенно затруднить обеспечение качества медицинской помощи. В данной статье рассматривается разработка системы управления медицинскими данными, направленной на решение этих проблем.

Ключевые слова
Блокчейн, смарт-контракты, Ethereum, управление медицинскими данными, информационные технологии в здравоохранении.

Медицина играет ключевую роль в обеспечении заботы о здоровье населения, однако несмотря на значительные достижения в научной сфере, в вопросах управления данными пациентов присутствует ряд проблем: небезопасное хранение данных на централизованных серверах, отсутствие единой медицинской истории и контроля доступа к персональным данным пациентов. Перечисленные проблемы создают серьезные препятствия для обеспечения качественной медицинской помощи и приводят к ошибкам в постановке диагнозов и некорректному лечению.

Отдельно хотелось бы выделить отсутствие синхронизованности данных между различными медицинскими учреждениями. В России, несмотря на возможность с 2021 года получать отчеты о медицинских услугах через портал "Госуслуги", выдаваемая информация ограничивается историей обращений по полису обязательного медицинского страхования. То есть, информация о прохождении лечения в частных клиниках остается недоступной для просмотра. Таким образом, пациенты, обслуживаемые разными врачами и клиниками, сталкиваются с трудностью в обеспечении целостности своих медицинских записей. Это также затрудняет эффективное взаимодействие с медицинским персоналом в процессе лечения.

В настоящее время многие медицинские учреждения используют централизованные системы хранения данных, из-за чего возникает большая угроза доступа к персональным данным третьими лицами или/и большая вероятность потери многолетних историй болезни [1].

В связи с описанными выше причинами появляется необходимость разработки системы управления медицинскими данными, которая бы содействовала повышению безопасности и согласованности медицинской информации. Таким образом, целью исследования является проектирование системы для эффективного решения выделенных задач.

Программа будет представлена в виде десктопного приложения, устанавливаемого на компьютеры медицинских учреждений. Для повышения безопасности хранения данных, а также предотвращения несанкционированного доступа система будет базироваться на технологии блокчейн.

Стоит упомянуть опыт других стран, который в пилотном режиме реализуют подобные блокчейн-проекты в сфере здравоохранения [2]. Например, в Нидерландах было разработано блокчейн-приложение для людей с хроническими заболеваниями, которое значительно

облегчило процесс лечения и прием лекарственных препаратов. При этом продукт использует онлайн-сервис аутентификации, представляемый банками, что обеспечивает не только надежность и безопасность, но и простоту использования, схожую с удобством использования онлайн-банкинга.

Блокчейн – это децентрализованная база данных, которая записывает транзакции между участниками сети в хронологическом порядке [3]. Основной принцип блокчейна заключается в разбиении информации на блоки, каждый из которых хранит перечень транзакций. Эти блоки последовательно связаны между собой: каждый новый блок хранит хэш предыдущего блока, тем самым обеспечивая целостность и неизменность добавленной информации. Уникальность блокчейна в отсутствии “контролирующего органа”, так как информация распределена между всеми участниками сети.

Другим важным преимуществом использования блокчейн-технологий в медицинской сфере является повышение прозрачности и доступности данных. Благодаря уже упомянутой децентрализованной природе блокчейна, информация может храниться и обновляться в режиме реального времени на нескольких узлах сети, что обеспечивает актуальность данных и уменьшает риск ошибок, связанных с устаревшей или неполной информацией. Более того это может существенно сократить время, затрачиваемое на поиск и обработку медицинских данных, что особенно важно в чрезвычайных ситуациях.

Говоря о конфиденциальности и сохранности медицинских данных пациентов, что является одной из приоритетных задач медицинских учреждений, стоит отметить, что блокчейн использует криптографию для защиты данных, что делает их менее уязвимыми к взлому и несанкционированному доступу.

Для данного проекта будет развернута приватная сеть Ethereum, предоставляющая возможность создания смарт-контрактов [4]. Смарт-контракт – это программный протокол, предназначенный для автоматизации и контроля выполнения условий в сети. В рамках данного проекта для обеспечения более эффективной обработки данных в архитектуру блокчейна будут внесены изменения: увеличен лимит газа в блоке, а также изменено максимальное количество транзакций.

В предполагаемой архитектуре в качестве узлов блокчейна будут выступать компьютеры медицинских учреждений. Каждый такой узел содержит свою копию блокчейна, где и хранится история медицинских данных. При установке программного обеспечения на устройство оно автоматически подключится к приватному блокчейну, обеспечивая консенсус и безопасность.

Для эффективного управления доступа к данным планируется внедрение двух стандартов смарт-контрактов: стандарт пациента и стандарт бизнес-процесса, например, для внесения изменений в историю болезней или регистрация пациента. Регулирование доступа к медицинским данным будет осуществляться через разрешения, определенные в смарт-контрактах, а криптографические методы шифрования гарантируют, что информация о пациентах останется защищенной от несанкционированного доступа. Таким образом, пациент, посещая медицинское учреждение, с помощью транзакции в сеть сможет дать больнице права на просмотр или же запись информации в свою медицинскую историю.

Для пользования платформой пациентам будет предоставлен веб-сайт с возможностью авторизации через госуслуги. Таким образом, на платформу будут автоматически подгружена медицинская история пациента об оказанных услугах по полису ОМС. Данные из частных клиник будут добавляться непосредственно с использованием десктопного приложения в медицинских организациях. Благодаря чему будет получена полная статистика данных пациента со всех посещаемых им медицинских учреждений в удобном для медицинских сотрудников и самого пациента формате, что в свою очередь приведет к уменьшению времени на восстановление истории болезней, так и к более точному определению диагнозов и подходящего лечения.

Полная схема взаимодействия медицинских учреждений и пациентов с помощью представленной платформы описана на рисунке.

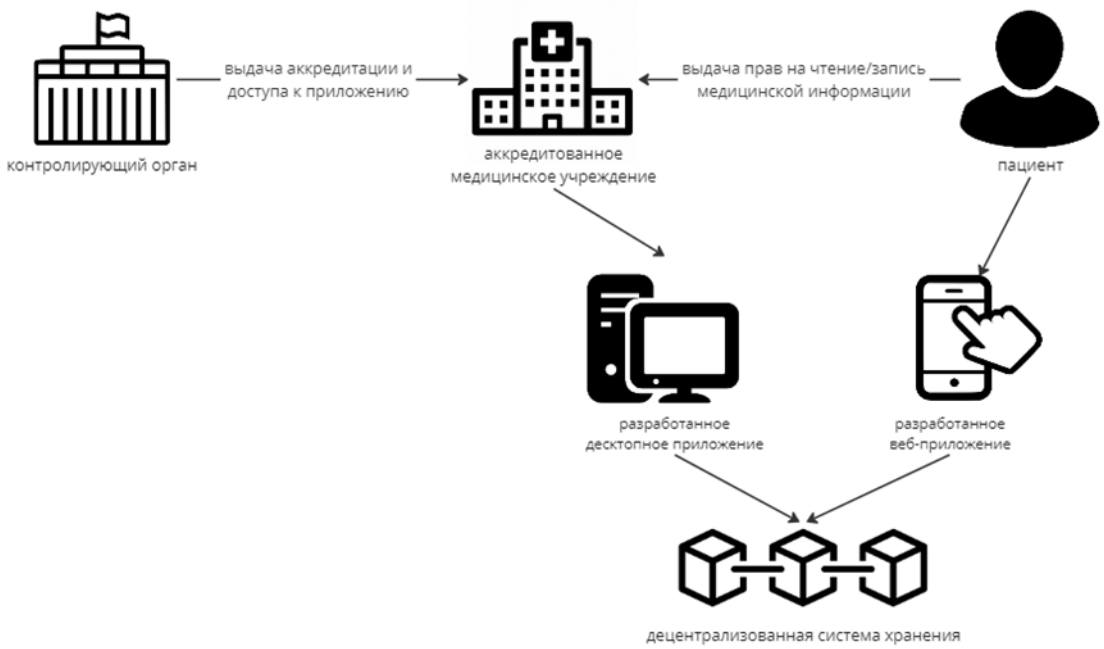


Рисунок. Архитектура системы

Таким образом, разработанное приложение будет решать проблемы:

- исключения несанкционированного изменения данных, в том числе их потери,
- исключение несанкционированного использования данных,
- стандартизации медицинских данных,
- создания единой базы данных,
- контроль персональной информации пациентами.

Однако, как и любая система она будет иметь недостатки и возможности для потенциального роста, например качество информации. Текущая архитектура без внедрения искусственного интеллекта не позволяет определить правильность постановки диагноза, или же соответствие записываемых и оказанных медицинских услуг.

В итоге внедрение блокчейн-технологий в управление медицинскими данными представляет собой перспективный шаг в направлении усовершенствования системы здравоохранения, сокращения рисков и повышения качества предоставляемых медицинских услуг. Эта технологическая инновация не только эффективно решает текущие проблемы хранения данных, но и способствует обеспечению высших стандартов безопасности и прозрачности в медицинской сфере.

Список использованных источников

1. Белышев Д.В., Кочуров Е.В. Анализ методов хранения данных в современных медицинских информационных системах //Программные системы: теория и приложения. – 2016. – Т. 7. – №. 2(29). – С. 85–103.
2. Цыганов С.Н. Применение технологии блокчейн для хранения данных электронных медицинских карт пациентов // Фундаментальные исследования. – 2017. – №. 11–2. – С. 338–343.
3. Литвин А.А., Коренев С.В., Князева Е.Г. Возможности блокчейн-технологии в медицине (обзор) // Современные технологии в медицине. – 2019. – Т. 11. – №. 4. – С. 191–199.
4. Dannen C. Introducing Ethereum and solidity. – Berkeley: Apress. – 2017. – Т. 1. – С. 159–160.

УДК 004

ОБЗОР МЕТОДОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ В МЕДИЦИНСКИХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Балтабаев С.Ш.[1] *(студент)*
Научный руководитель – старший преподаватель Береснев А.Д.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: sarvar.baltabaev575@gmail.com

Работа выполнена в рамках темы НИР «Методы и алгоритмы кластеризации данных в ГИС системах».

В работе рассмотрена актуальность геоинформационных систем в сфере здравоохранения, представлен обзор методов кластеризации объектов в медицинских геоинформационных системах, проведен сравнительный анализ алгоритмов и практическое сравнение на сгенерированных данных различной формы.

Ключевые слова
ГИС, кластеризация, здравоохранение, DBSCAN, OPTICS, методы на основе центроидов.

Геоинформационные системы (ГИС) играют важную роль в здравоохранении. ГИС позволяют анализировать пространственное распределение заболеваний, выявлять области распространения болезней и их паттерны, что помогает проводить эффективные профилактические мероприятия и распределять ресурсы. Такие системы используются в планировании в сфере здравоохранения, мониторинге общественного здоровья и проведении исследований в данной области.

Анализ пространственных данных играет решающую роль в географических информационных системах (ГИС), помогая в интерпретации и понимании сложной географической информации. Одним из фундаментальных аспектов анализа пространственных данных является кластеризация, которая включает группировку точек пространственных данных на основе их сходства или близости. Кластеризация в ГИС необходима для выявления закономерностей, тенденций и взаимосвязей в наборах пространственных данных. Она облегчает идентификацию пространственно согласованных групп точек данных, позволяя лучше принимать решения, распределять ресурсы и решать проблемы. Можно выделить следующие группы методов кластеризации (рис. 1):

1) иерархические;
2) на основе центроидов;
3) на основе плотности;
4) сеточные [1–2].

К иерархическим методам относятся агломеративные (Agnes) и дивизивные (Diana) методы. Алгоритм Agnes начинает с небольших кластеров, обычно, состоящих из одного объекта и поэтапно объединяет их в кластеры побольше. А алгоритм Diana, наоборот, делит большие кластеры на меньшие группы [3]. Методы K-means и K-medoids относятся к группе методов на основе центроидов. Данные алгоритмы базируются на определении центров кластеров, различие состоит в том, что K-medoids ищет центр кластера среди точек (объектов) [4]. Методами на основе плотности являются DBSCAN, OPTICS и DENCLUE. Они определяют кластеры, основываясь на плотности точек. И к сеточным методам относятся такие алгоритмы, как STING, CLIQUE, Wave-cluster, которые основываются на поиске структур в данных сети [5].

В таблице приведен сравнительный анализ данных методов.

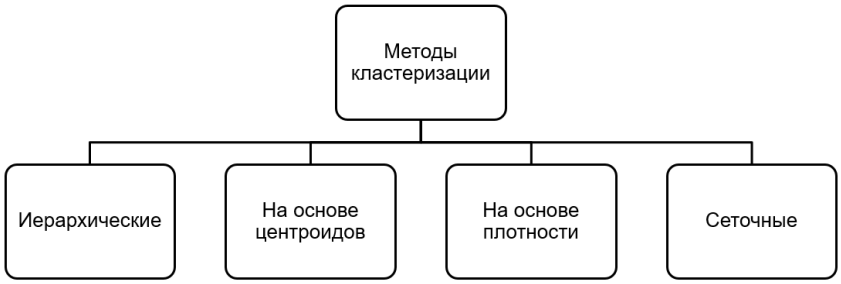


Рис. 1. Схема методов кластеризации

Таблица

Сравнительная таблица методов кластеризации

Группа	**Метод**	**Сложность**	**Входные параметры**	**Обработка многомерных данных**	**Обработка кластеров неправильной формы**
Иерархические	Agnes	O(n^2logn)	Датасет Матрица смежности точек данных	–	Кластеры произвольной формы
	Diana	O(n^2logn)	Датасет Матрица смежности точек данных	–	Кластеры произвольной формы
На основе центроидов	K-MEANS	O(tknd)	Датасет Количество кластеров	±	Частично
	K-MEDOID	O(k(n-k)^2)	Датасет Количество кластеров	±	Частично
На основе плотности	DBSCAN	O(nlogn)	Датасет Два параметра	–	Частично
	DENCLUE	O(DlogD)	Датасет Два параметра	+	Да
На основе плотности	OPTICS	O(nlogn)	Датасет Два параметра	+	Да
Сеточные	STING	O(k)	Априорное знание данных	–	Кластеры произвольной формы
	CLIQUE	Квадратичный по числу размерности	Датасет Два параметра	+	Частично
	Wave-cluster	O(n)	Априорное знание данных	±	Да

Из таблицы видно, что иерархические методы кластеризации требуют больше времени для определения кластеров. А вот алгоритмы на основе центроидов неэффективны при работе с кластерами неправильной формы. Методы, основанные на плотности, и методы на основе сетки больше подходят для обработки пространственных данных.

Для сравнения на практике были выбраны методы K-means, K-medoids, DBSCAN, Optics и Agnes. Был сгенерирован приближенный к реальным данным датасет. На рисунке 2 представлены графики исходных данных и кластеризации перечисленными методами. Можно заметить, что практически все методы правильно определили кластеры, за исключением K-Medoids, который объединил два кластера в один, а другой кластер разделил на две части. Алгоритмы K-means и K-medoids повторяют одни и те же шаги, а именно сначала распределяют точки по кластерам, далее пересчитывают центры кластеров. На рисунках крестиками отмечены центры. В случае K-medoids – это точки. А метод DBSCAN выделил некоторые точки как шумы.

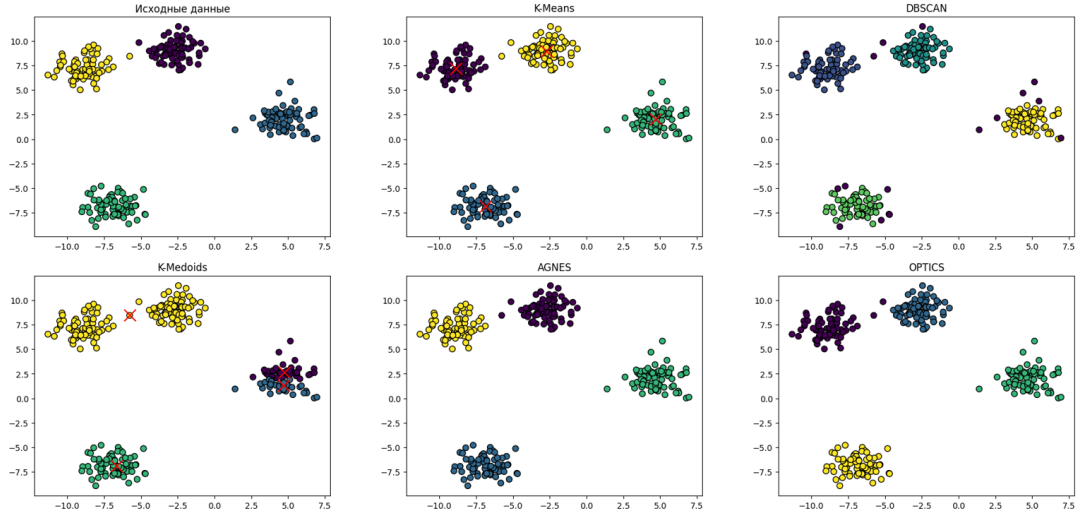


Рис. 2. Практическое сравнение методов

Далее был сгенерирован нестандартный датасет. На рисунке 3 приведены результаты кластеризации. Можно заметить, что K-means, K-medoids и AGNES неправильно разделили на кластеры, а методы на основе плотности, DBSCAN и OPTICS справились с этой задачей. K-means и K-medoids разделили кольца на две равные части и в качестве центроидов выбрали объекты и области внутреннего кольца.

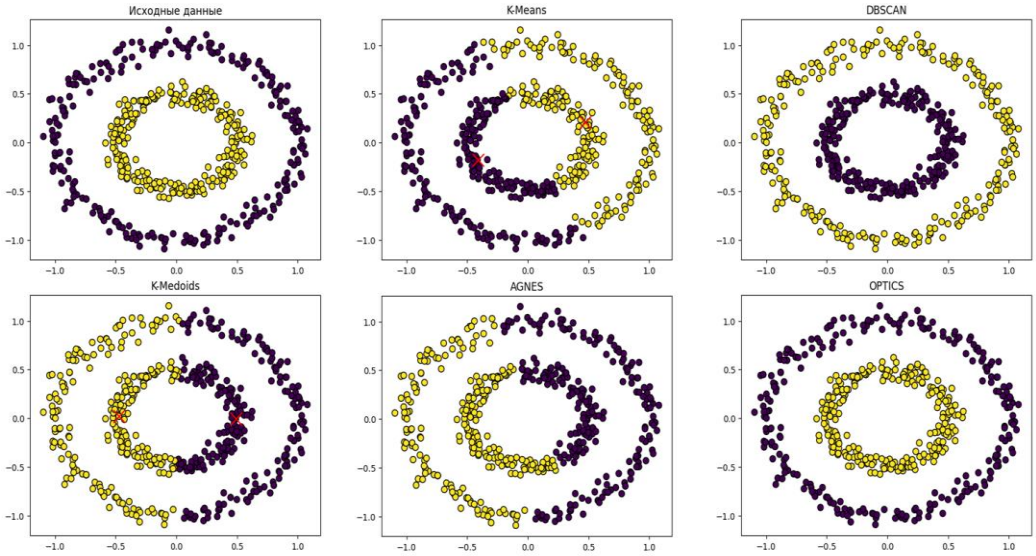


Рис. 3. Кластеры нестандартной формы

Также был сгенерирован датасет в форме двух полуколец, и на рисунке 4 можно заметить, что K-means и K-medoids определяют центр кластера примерно в одном и том же месте и строят вокруг них кластеры. Алгоритм AGNES также неправильно выделил кластеры, а вот DBSCAN и OPTICS правильно определили кластеры.

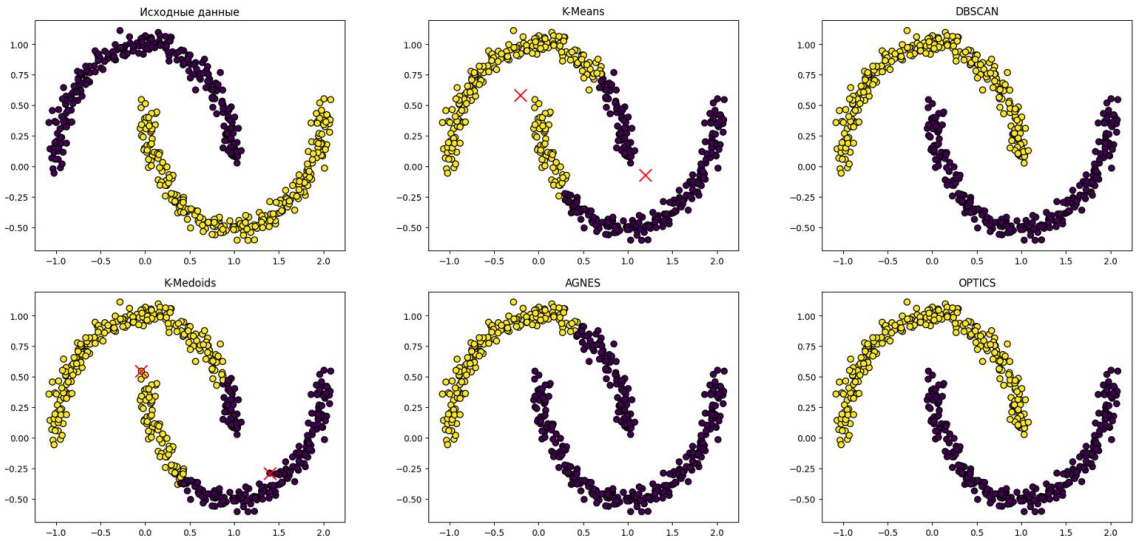


Рис. 4. Кластеры нестандартной формы

На основе проведенного сравнительного анализа можно сказать, что:

1) методы на основе плотности, такие как DBSCAN и OPTICS, обычно хорошо справляются с различными формами кластеров и шумом;
2) иерархические методы, хотя и являются более медленными, могут быть полезны, если требуется иерархическая структура кластеров;
3) методы на основе центроидов, такие как K-Means и K-Medoids, могут быть эффективны, но требуют тщательного выбора числа кластеров и могут плохо работать с некоторыми формами кластеров;
4) сеточные методы, такие как STING и CLIQUE, могут быть полезны при наличии априорных знаний о структуре данных, но могут быть менее универсальными в общем случае.

После проведенного обзора можно сделать вывод о том, что выбор метода кластеризации для медицинской ГИС зависит от конкретной задачи, типа данных и требованиях к точности и скорости анализа, так как каждый метод имеет свои преимущества и недостатки. В таких системах могут быть реализованы сразу несколько алгоритмов, для эффективной кластеризации.

В нашей системе на данный момент реализованы такие функции, как загрузка файлов реестра страховых счетов, загрузка статистических форм, проверка этих документов и формирование отчетов по ним. Разрабатываемый ГИС-модуль будет выводить на карту медицинские учреждения разных регионов и строить для каждой организации или в целом по региону диаграммы и графики схем лечения и количества случаев. Для эффективного анализа в дальнейшем планируется реализация метода OPTICS, так как данный алгоритм показал наилучшие результаты.

Список использованных источников

1. Дулин С.К., Розенберг И.Н., Уманский В.И. Методы кластеризации в исследовании массивов геоданных // Системы и средства информ. – 2009. – Дополнительный выпуск. – С. 86–113.
2. Neethu C.V., Mr. Subu Surendran Review of Spatial Clustering Methods // International Journal of Information Technology Infrastructure. – 2013 – V. 2. – №. 2. – Pp. 15–24.
3. Нейский И.М. Классификация и сравнение методов кластеризации // Интеллектуальные технологии и системы. Сборник учебно-методических работ и статей аспирантов и студентов. – М.: НОК «CLAIM». – 2006. – Вып. 8. – С. 130–142.
4. Кантор В. Кластеризация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://education.yandex.ru/handbook/ml/article/klasterizaciya (дата обращения: 25.01.2024).
5. Suman Pinki R. A Survey on STING and CLIQUE Grid Based Clustering Methods // International Journal of Advanced Research in Computer Science. – 2017 – V. 8. – №. 5. – Pp. 1510–1512.

УДК 004.85

REINFORCEMENT LEARNING WITH HUMAN FEEDBACK ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ

Безгин А.Г.[1] *(студент)*, ***Насыров Н.Ф.***[1] *(студент)*
Научный руководитель – к.т.н., доцент Федоров Д.А.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: bezgin14a@mail.ru

Статья представляет обзор методологии Reinforcement Learning with Human Feedback (RLHF) в контексте современного языкового моделирования. В фокусе исследования - применение этого метода для обучения нейронных сетей, таких как GPT, с целью генерации осознанных и фактологически корректных ответов на заданные инструкции. Авторы описывают ключевые шаги RLHF, включая предобучение модели, получение модели с учителем, и обучение reward модели на основе предоставленной человеческой обратной связи. Обсуждаются потенциальные применения данной методологии в различных областях, включая создание образовательных сервисов для изучения языка.

Ключевые слова
Языковое моделирование, Reinforcement Learning with Human Feedback (RLHF), GPT, обучение с подкреплением, нейронные сети, обработка естественного языка.

Современное языковое моделирование бурно развивается в последние годы. Это особенно заметно в контексте задачи генерации текста. Задолго до анонса Large Language Model (далее LLM) ChatGPT от компании OpenAI [1] техническому сообществу были известны алгоритмы для создания человекоподобных текстов, например, Generative Pre-trained Transformers (GPT) [2] или Text-to-Text Transfer Transformers [3]. Однако, чтобы обучить алгоритм не просто имитировать человеческую речь, но давать осознанные и фактологически корректные ответы на заданные инструкции, потребовалось переосмыслить классическую постановку задачи и выйти за рамки уже известных методов. Таким образом, появился подход Reinforcement Learning with Human Feedback (RLHF) [4]. Эта работа предлагает подробный обзор предложенного метода, включая его основные шаги и практическое применение с целью улучшения понимания данной методологии.

Актуальностью данного обзора является широкий потенциал применения LLM для решения большого спектра задач в процессе создания сервиса для изучения английского языка. В перспективе при дообучении открытых моделей с помощью RLHF, мы можем достичь высокого качества в задачах генерации тематических заданий по определенным требованиям, создания мультиязычных текстов для изучения новых слов из контекста, генерации обратной связи для ученика и многих других направлениях.

Активное развитие моделей семейства GPT началось после выхода статьи «Attention is all you need» в 2017 году [5], которая анонсировала механизм внимания для эффективного поиска взаимосвязей между различными частями входных и выходных данных, что позволяет алгоритмам имитировать процесс анализа информации человеком. GPT – это нейронная сеть, в базовой имплементации состоящая из последовательности декодеров, которые позволяют качественно продолжать входящий сигнал [2]. Архитектура сети также содержит в себе механизм внимания, описанный в статье [5]. Обучение подобных моделей производится на классической для обработки естественного языка задаче – Language Modeling (LM), которая представляет собой задачу предсказания следующего токена в последовательности и легко сводится к многоклассовой классификации, где количество классов – количество уникальных токенов в токенизаторе модели.

Такой подход позволяет с высоким качеством продолжать начатый человеком текст. Однако в задачах, где мы ожидаем от алгоритма ответ на вопрос или выполнение какой-либо произвольной инструкции, подобные предобученные архитектуры справляться не будут. Ситуация качественно изменилась с приходом RLHF [4].

RLHF – это метод, в котором веса модели обновляются в зависимости от вознаграждения от предобученной на размеченных человеком данных reward модели (RM) через процесс обучения с подкреплением. Как правило, используется алгоритм Proximal Pocily Optimization (PPO) [6]. Процесс обучения состоит из четырех основных шагов:

1. Предобучение модели семейства GPT с учителем.

Этот шаг уже был частично описан выше. Дополнительно стоит отметить, что на данном этапе мы можем использовать огромное количество сырых данных из интернета, так как никакой дополнительной разметки для задачи LM в этом случае не потребуется.

2. Получение SFT модели.

Модель, полученная на первом шаге дообучается под задачу LM на более чистых текстах с инструкциями, подготовленных людьми. Этот шаг необходим по ряду причин. Во-первых, сырые данные на предыдущем шаге могли содержать в себе токсичную информацию, и новый виток обучения сдвинет распределение токенов в модели таким образом, чтобы минимизировать вероятность сгенерировать некорректный текст. Во-вторых, таким образом, распределение токенов внутри модели смещается в сторону человекоподобных ответов на инструкции. Будем называть полученную модель SFT (сокращение для supervised finetuned). Она все еще не годна для задач генерации ответов по инструкции, поэтому требуются дополнительные настройки.

3. Обучение RM.

После получения SFT модели мы по определенному промпту можем сгенерировать несколько различных в силу недетерминированного семплирования токенов. Затем с помощью разметчиков мы ранжируем ответы по их качеству с точки зрения человека, чтобы использовать эту информацию для обучения RM, которая будет по промпту сопоставлять сгенерированному тексту скаляр — степень притягательности ответа. Этот шаг необходим, чтобы тратить меньше ресурсов в будущем, так как разметка с помощью людей — очень дорогой и сложный процесс.

4. Улучшение политики с помощью обучения с подкреплением (RL).

Политикой мы называем имеющуюся SFT модель. Она уже способна генерировать ответы по промпту, но с человеческой точки зрения их качество низкое. С помощью, обученной RM мы можем для сгенерированного ответа получить определенную награду. Далее, используя алгоритмы RL, например PPO, можем оптимизировать политику. PPO решает задачу максимизации награды для сгенерированных текстов. Дополнительно мы хотим, чтобы распределение токенов в новой модели не слишком сильно отличалось от распределения в исходной SFT во избежание галлюцинаций. Таким образом, в целевой функции для максимизации мы будем учитывать награду от предобученной RM со знаком плюс и меру схожести между исходным и обновленным распределением токенов для политики со знаком минус. Часто такой мерой выступает, например, расстояние Кульбака-Лейблера. В процессе оптимизации политики состоянием будет являться промпт и все то, что модель сгенерировала до текущего шага, действием — новое распределение для следующего токена, наградой — получившийся скаляр от RM и сумма РКЛ для каждого сгенерированного токена со знаком минус.

Описанные выше шаги позволили исследователям из OpenAI добиться высокого качества модели InstructGPT, более известной как ChatGPT [1]. Подобные шаги полезны и для адаптации предобученных моделей к новым специфическим задачам, что в том числе может быть полезно и в контексте изучения английского языка. Сегодня образовательные сервисы во многом полагаются на редакторов и кураторов, которые создают контент и задания для учеников, проверяют их, следят за прогрессом и дают обратную связь. Современные LLM способны выполнять эти задачи гораздо эффективнее, что существенно снижает нагрузку на работников и сокращает время ожидания обратной связи для учеников, делая процесс обучения более независимым и динамичным.

RLHF – это неотъемлемая часть успеха LLM, сильно изменившая вектор исследований в обработке естественного языка. Подход представляет высокий интерес как с исследовательской, так и с продуктовой точки зрения. Полученные с его помощью модели являются высокоточными решениями во многих задачах работы с текстами. Это открывает большие перспективы для внедрения подобных алгоритмов в инновационный сервис для изучения английского языка, где большая часть контента и аналитики может создаваться автоматически, а пользователи могут фокусироваться на более творческих и исследовательских задачах.

Список использованных источников

1. Introducing ChatGPT. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://openai.com/blog/chatgpt (дата обращения: 22.11.2023).
2. Gokul Yenduri, Ramalingam M, Chemmalar Selvi G, Supriya Y, Gautam Srivastava, Praveen Kumar Reddy Maddikunta, Deepti Raj G, Rutvij H Jhaveri, Prabadevi B, Weizheng Wang, Athanasios V. Vasilakos, Thippa Reddy Gadekallu. Generative Pre-trained Transformer: A Comprehensive Review on Enabling Technologies, Potential Applications, Emerging Challenges, and Future Directions. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/2305.10435 (дата обращения: 22.11.2023).
3. Colin Raffel, Noam Shazeer, Adam Roberts, Katherine Lee, Sharan Narang, Michael Matena, Yanqi Zhou, Wei Li, Peter J. Liu. Exploring the Limits of Transfer Learning with a Unified Text-to-Text Transformer. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/1910.10683 (дата обращения: 22.11.2023).
4. Zihao Li, Zhuoran Yang, Mengdi Wang. Reinforcement Learning with Human Feedback: Learning Dynamic Choices via Pessimism. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/2305.18438 (дата обращения: 22.11.2023).
5. Ashish Vaswani, Noam Shazeer, Niki Parmar, Jakob Uszkoreit, Llion Jones, Aidan N. Gomez, Lukasz Kaiser, Illia Polosukhin. Attention Is All You Need. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/1706.03762 (дата обращения: 22.11.2023).
6. John Schulman, Filip Wolski, Prafulla Dhariwal, Alec Radford, Oleg Klimov. Proximal Policy Optimization Algorithms. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/1707.06347 (дата обращения: 19.12.2023).

УДК 004.85, 378.048.2

ПРИМЕНЕНИЕ ОТКРЫТЫХ LLM С RAG-АРХИТЕКТУРОЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ИТ-СЕРВИСОВ

Береснев А.Д.[1] *(аспирант)*
Научный руководитель – с.н.с., к.т.н. Гусарова Н.Ф.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: artem.beresnev@itmo.ru

В работе рассмотрены основные вопросы применения систем на основе больших языковых моделей в качестве для интеллектуализации обработки заявок в процессе технической поддержки ИТ-систем. Процесс рассмотрен на примере поддержки информационной системы обработки статистических медицинских данных. Определены задачи, ограничения и типовые архитектуры использования LLM как компонента информационных систем Service Desk. Обосновано применение систем с дополнительной поисковой генерацией.

Ключевые слова:
Service Desk, техническая поддержка, LLM, большие языковые модели, RAG, дополнительная поисковая генерация, дообучение, finetuning, классификация обращений.

Техническая поддержка является важной частью процесса предоставления ИТ-сервисов и, в том числе, сервисов медицинских информационных систем (МИС). Процесс технической поддержки хорошо описан в методиках управления ИТ-сервисами и носит название Service Desk [1]. Выделяют несколько его архитектур, основной из которых является модель с функциональной эскалацией, которая предполагает создание нескольких уровней технической поддержки (чаще всего трех), на каждом из которых работают специалисты разной квалификации и (или) специализации, причем чем выше уровень, тем выше квалификация и полномочия специалиста. Обращение клиента за поддержкой последовательно проходит каждый уровень и может быть обработана и закрыта на любом из них, при этом на вышестоящий уровень обращение попадает (эскалируется) только при необходимости [2]. Для системы Service Desk существуют стандартные KPI, связанные со скоростью и безошибочностью решений. Как показал опыт эксплуатации МИС агрегации статистических медицинских данных НИМЦ им. Петрова, обличительной особенностью поддержки МИС являются ресурсные ограничения и различный уровень технических социалистов, из-за которого технической поддержке необходимо отвечать на разнообразные вопросы, касающиеся, даже косвенно, с функционированием конкретной МИС. Как показали наши исследования [3], в таких условиях необходимы интеллектуализация доступа к справочной информации, документации и базам знаний с интеграцией решения в программное обеспечение Service Desk системы с помощью диалоговых агентов. В современных условиях для решения подобных задач получили широкое распространение большие языковые модели (LLM), однако вопросы применения LLM в поддержке ИС и, в частности в специфичных условиях МИС, изучены недостаточно [4]. Требуется провести анализ возможности такого применения LLM, сформировать требования, определить и обосновать архитектуру реализации подобных интеллектуальных сервисов.

Проведенный анализ процессной модели Service Desk показал, что среди подпроцессов есть хорошо формализуемые и алгоритмизуемые подпроцессы. К ним относятся подпроцессы «Обнаружения инцидента», «Закрытие» и др. Но другая группа подпроцессов «Категорирование инцидента», «Начальная диагностика», «Диагностика и разрешение», «Разрешение и восстановление» часто связана с деятельностью сотрудника технической поддержки в условии неопределенности. С другой стороны, каждая из входящих заявок

представляет собой текстовое описание проблемы или задачи на обслуживание и существует в определённом контексте, включающем особенности конфигурации клиента, затронутые конфигурационные единицы, параметры SLA. Таким образом, на этапах с помощью интеллектуализации анализа текстовой информации можно сократить время обслуживания и повысить KPI.

Первый подпроцесс, подлежащий интеллектуализации – «Категорирование инцидента» предполагает определение класса входящего обращения.

Обычно выделяют три класса:

1) инциденты, связанные с неисправностью (Error);
2) обращения за обслуживанием (Assistant);
3) запрос справочной информации (Help).

Для иллюстрации приведем пример классификации обращений в интерактивном режиме с моделью ChatGPT-3.5 в таблице 1.

Таблица 1

Диалог с LLM по классификации обращений

Шаг	Тип сообщения	Содержание
1	Формирование контекста	Предположим, есть три класса обращений в техническую поддержку: 1) Инциденты, связанные с неисправностью (Error), 2) Обращения за обслуживанием (Assistant), 3) Запрос справочной информации (Help)
2	Промпт. Здание роли	Прими роль автоматического классификатора
3	Промпт. Постановка задачи	Определи класс для каждого из обращений. A. Как настроить формат бумаги при печати на HP laser Jet 1200? B. Не работает принтер. Выводит ошибку драйвера. C. Какие ключи есть у команды nmcli? D. Я забыл пароль. Замените мне его пожалуйста!
4	Ответ	Давайте классифицируем каждое обращение по его характеру: A. Это запрос справочной информации (Help). B. Это инцидент, связанный с неисправностью (Error). C. Это также запрос справочной информации (Help). D. Этот запрос относится к категории «Обращения за обслуживанием» (Assistant)

Был проведен эксперимент по классификации обращений датасета, состоящего из текстовых запросов на русском и английском языке в закрытый чат технической поддержки инфраструктуры распределенной системы в количестве 244 обращений. Длина запроса в среднем 98 слов. Отбирались вопросы по распространенным темам, связанным с настройками открытого программного обеспечения, актуальным до 2021 года.

Запросы сделаны к модели GPT-3.5 Оценка качества приведена в таблице 2 по стандартным метрикам Recall - Precision.

Таблица 2

Оценка точности классификации обращений GPT-3.5

Категория запроса	Кол-во запросов	Без подготовки промта		С подготовленным промтом	
		Precision	Recall	Precision	Recall
Сообщение о неисправности (Error)	44	0,88	0,83	0,9	0,83
Запрос помощи (Assistant)	92	0,79	0,72	0,84	0,8
Запрос справочной информации (Help)	108	0,81	0,73	0,89	0,84

Анализ показывает достаточно высокую точность классификации, особенно когда был специально сформирован промпт. Некоторое снижение показателей Help и Assistant объясняется семантически близкими формулировками запросов, из-за которых модель иногда путает их между собой. Эксперимент показывает, что предлагаемый подход дает сравнимую точность по сравнению с традиционными подходами и, при этом, не требует долгого обучения на специализированных датасетах.

В следующих подпроцессах «Начальная диагностика», «Диагностика и разрешение», «Разрешение и восстановление» инженер поддержки часто нуждается в доступе к справочной информации, причем, если потенциальные возможности по удерживанию контекста диалога больших языковых моделей не вызывают сомнения [5], остаётся открытым вопрос о полноте и качестве ответов, которые сильно зависят не только от объема, но и состава материалов датасетов, особенно в узкоспециальных предметных областях [6]. Для оценки эффективности работы в этих условиях был проведен постановочный эксперимент. Для эксперимента были отобраны 100 запросов на русском и английском языке в области управления сетевыми инфраструктурными сервисами, компонентами и инструментами операционных систем и управления коммуникационным оборудованием. Содержательно вопросы касались технологий и версий программных продуктов, актуальных до 2021 года включительно, чтобы соответствовать заявленным характеристикам используемой LLM, а именно модели GPT-3.5. Эксперимент пролагал формат запрос-ответ. Ведение диалога, было исключено, чтобы экспериментатор неосознанно не наводил модель на верный ответ. Результаты эксперимента приведены в таблице 3.

Для запросов, кроме самого простого, уточнялся контекст и формировалось два варианта со специально сформированным промптом или без него. Ответы оценивали эксперты по следующей шкале: «высокая» – полностью верно, «средняя» – частично верная, но содержит ошибки и «низкая» – содержит ошибки, не позволяющие непосредственно применять решение н практике для достижения результата.

Таблица 3

Оценка качества ответов

Сложность запроса	Уточненный контекст	Промпт	Экспертная оценка полноты
Простой, соответствующий справке по утилитам	нет	нет	Высокая
Простой, соответствующий справке по утилитам	да	нет	Высокая
Простой, соответствующий справке по утилитам	да	да	Высокая
Запрос по сложной архитектурной теме	да	нет	Низкая
Запрос по сложной архитектурной теме	да	да	Средняя
Запрос инструкций по настройке нетиповой инфраструктуры	да	нет	Низкая
Запрос инструкций по настройке нетиповой инфраструктуры	да	да	Низкая

Анализ показывает, что базовая модель, то есть LLM в её основной конфигурации, прекрасно справляется с простыми запросами, интерпретирует контекст, дает верные и исчерпывающие ответы. Однако, когда запрос касается тем, по которым нет готовых рецептов, качество ответов падает, или ответы даются неполными или с лакунами.

В этом случае принципиальная архитектура решения принимает вид, показанный на рисунке 1. При этом модуль Prompt Manager решает задачи безопасности, формирует или помогает формировать промпт, обрабатывает ответ, полученный из LLM.

Проблема доработки модели решается за счет ее дообучения на специфичном датасете. Эта техника получила название fine-tuning, она представляет собой технику обучения глубоких нейронных сетей, которая заключается в доработке исходной базовой модели, предварительно

обученной на большом объеме данных, для выполнения конкретной задачи или работы с новым датасетом. Эта методика позволяет адаптировать существующие модели сети к узкоспециализированным задачам, сохраняя при этом «знания» модели, полученные в процессе предварительного обучения [7].

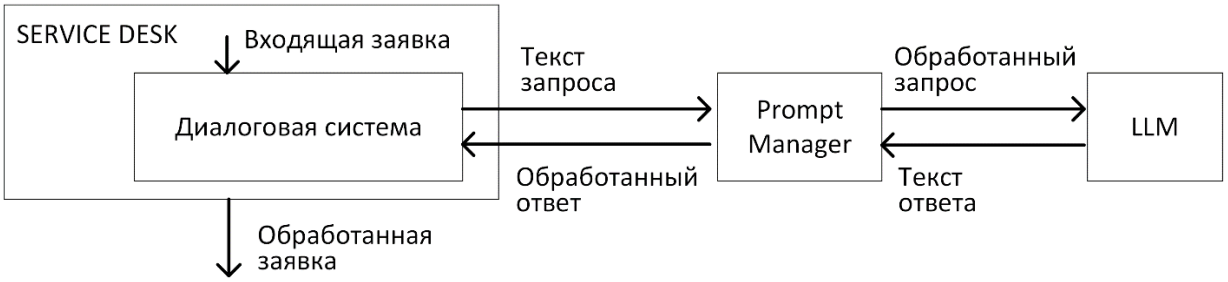


Рис. 1. Архитектура интеграции LLM в систему Service Desk

Fine-tuning показывает хорошие результаты и широко применяется. Однако этот подход сам по себе не попадает под описанные выше временные и ресурсные ограничения, характерные для малых и средних ВСОК, и подразумевает дообучение модели всякий раз, когда изменяется или расширяется предметная область, например при выходе новой версии программного продукта, взятие на обслуживание ВСОК новых систем.

Вторым популярным подходом, позволяющим преодолеть этот недостаток является RAG (Retrieval Augmented Generation) или генерация, дополненная поиском – архитектурное решение или подход к обработке естественного языка, который использует внешние знания из базы данных или другого источника для улучшения генерации текста. В RAG сначала выполняется поиск информации в базе данных, а затем эта информация используется для генерации текста. Чаще всего в контексте RAG упоминают векторные базы данных, как внешние источники информации, но в качестве внешних источников могут выступать даже массивы, индексированные PDF документов. Архитектура RAG исключает необходимость дообучения моделей, тем самым снижая требования к эксплуатации информационно справочных систем. В случае применения RAG изменяется и способ интеграции LLM в систему сервис деск принципиальная схема представлена на рисунке 2.

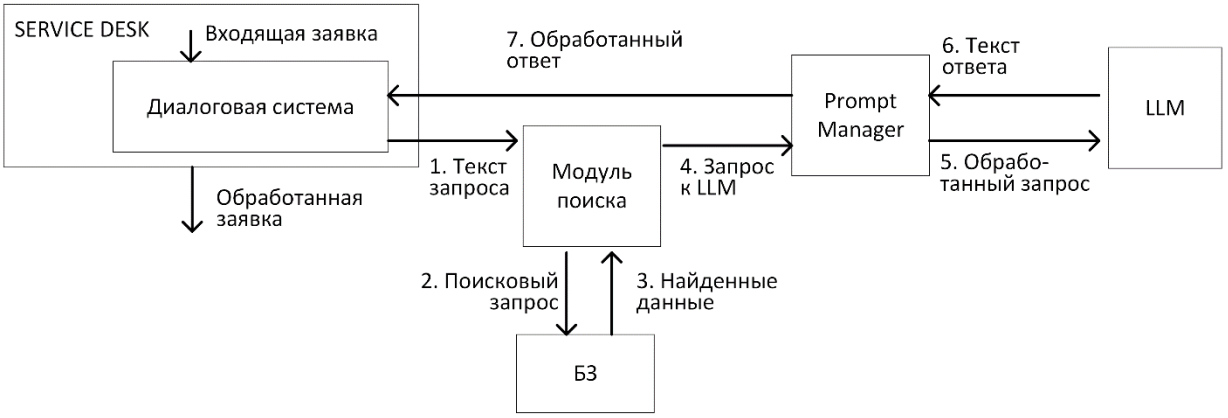


Рис. 2. Архитектура интеграции LLM с использованием RAG в систему Service Desk

Как видно на схеме, LLM используется для организации диалога и обработки результатов поиска, в то время как сами данные хранятся во внешнем источнике, поиск по которому осуществляет модуль поиска, реализующий традиционные алгоритмы. При этом качество ответов в общем случае будет ниже, чем у хорошо дообученой модели [7].

Для выбора архитектуры интеграции LLM в информационную систему Service Desk необходимо определить требования, специфичные для поддержки пользователей и эксплуатационной команды МИС агрегации статистических медицинских данных НИМЦ им. Петрова. Анализ показал, что к таким требованиям относятся:

1) необходимость сохранения конфиденциальных данных,
2) ограничения области действия интеллектуального помощника,
3) использования моделей с on-premise запуском,
4) учёта специфики областей применения, вызывающих галлюцинации базовых генеративных моделей,
5) необходимость адаптации запроса для обеспечения качества ответа.

Анализ требований позволил выбрать принципиальную архитектуру интеллектуального диалогового модуля, которая соответствует варианту с дополнительной поисковой генерацией - Retrieval Augmented Generation (RAG). Однако для ее реализации необходимо использовать модели с on-premise запуском, то есть полностью изолированные решения, запускаемые на оборудовании организации, эксплуатирующей МИС.

В результате исследований выявлены требования к архитектуре интеллектуального диалогового модуля Service Desk систем для поддержки МИС, установлены ограничения применения LLM в МИС и было доказано, что в случаях, ресурсных ограничений и высокой динамики изменений в поддерживаемо ИС, использование архитектуры RAG имеет практические преимущества.

Список использованных источников:

1. Ингланд Р. Введение в реальный ITSM / Пер. с англ. – М.: Гаятри, 2010. – 67 с.
2. Stainberg A. Servicing ITSM. – Trafford Publishing, 2013. – 344 p.
3. Beresnev A., Zhdankin A., Lobantsev A., Vasiliev A., Vedernikov N., Gusarova N. Dialogue System for Service Desk of Complex Software Systems Based on Relational Concept Analysis // ACM International Conference Proceeding Series. – 2019. – Vol. F148261. – Pp. 31–36.
4. Essel H.B., Vlachopoulos D., Tachie-Menson A. et al. The impact of a virtual teaching assistant (chatbot) on students' learning in Ghanaian higher education // Int J Educ Technol High Educ. – 2022. – V. 19. – №. 57. – Pp. 41–60.
5. MICROSOFT DUMPS METAVERSE FOR CHATGPT. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.gizchina.com/2023/02/17/microsoftdumps-metaverse-for-chatgpt/ (дата обращения: 22.10.2023).
6. Outrageously large neural networks: the sparsely-gated mixture-ofexperts layer. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arxiv.org/pdf/1701.06538.pdf (дата обращения: 25.10.2023)
7. Fine-tuning pre-trained models for generative AI applications. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: hps://neuroni.co/en/articles/fine-tuningpre-trained-models (дата обращения: 10.01.2024).

УДК 004.8

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ЗА СЧЕТ ДЕТЕКЦИИ ОБЪЕКТОВ И ИХ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ КЛАССИФИКАЦИИ

***Зеленин Д.С.*[1]** *(студент)*
***Научный руководитель – к.т.н. Ходненко И.В.*[1]**

1 – Университет ИТМО

e-mail: 368198@edu.itmo.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №623090 «Методы и алгоритмы интеллектуальных сервисов и приложений».

В работе осуществлено исследование по обнаружению и классификации одежды с использованием компьютерного зрения и обработки изображений. Разработан пайплайн, который использует набор данных DeepFashion2 и модели Faster R-CNN, SSD и YOLO. Проведен подробный анализ результатов и проведена коррекция алгоритма для улучшения его обобщающей способности. Результаты исследования имеют перспективные возможности в сферах розничной торговли, маркетинга и безопасности.

Ключевые слова
Ключевые слова: компьютерное зрение, обработка изображений, обнаружение и классификация, DeepFashion2, Faster R-CNN, SSD, YOLO.

В настоящее время компьютерное зрение и обработка изображений стали ключевыми направлениями в различных сферах, включая технологии видеонаблюдения. Одной из важных подзадач в этой области является обнаружение и классификация объекта по различным признакам и категориям. Эта задача имеет огромное практическое значение в различных сферах. Разрабатываемый пайплайн решает частную задачу обнаружение и классификации одежды. В перспективе планируется интеграция фрагментов кода из данного решения в платформу SMILE.

Для имплементации алгоритма выбран набор данных DeepFashion2 – это датасет, включающий более 491 тысячи изображений модной одежды с аннотациями [1]. Он охватывает 13 категорий одежды, такие как футболки, платья, брюки и другие.

В процессе предобработки данных использовались библиотеки: Pandas и OpenCV (cv2). Аннотации были преобразованы с помощью Pandas, в то время как фотографии подверглись преобразованию при использовании cv2. Одно из ключевых требований заключалось в том, чтобы привести все фотографии к единому размеру. Это необходимо для обеспечения корректной работы алгоритмов обнаружения объектов, которые чувствительны к изменению масштаба изображений. Важно понимать, что, решая задачу детекции объектов при изменении фотографии, мы должны изменить соответствующие координаты ограничивающей коробки (boundingbox).

В процессе работы использовалась библиотека Pytorch, которая является популярной открытой библиотекой для машинного обучения и глубокого обучения, которая предоставляет гибкий и модульный подход к созданию и обучению нейронных сетей.

Для распознавания объектов на изображения рассматривались модели Faster R-CNN, SSD и YOLO:

1. Faster R-CNN – это алгоритм обнаружения объектов, предложенный в 2015 году, который состоит из четырех частей: сеть извлечения признаков, сеть региональных предположений, объединение регионов интереса и полно связный слой [2].

2. SSD – это детектор, который выполняет обнаружение объектов без использования отдельной сети для предложения областей (region proposal network). Он предсказывает границы ограничивающих рамок и метки классов напрямую из карт признаков за один проход.
3. YOLO – это алгоритм, который делит изображение на сетку [2]. Для каждой ячейки сетки вычисляются значения, такие как вероятности классов и параметры ограничивающего прямоугольника (bounding box). Модель работает так, что каждая ячейка сетки отвечает за предсказание ограничивающего прямоугольника, если центр объекта находится в пределах этой ячейки. Каждая ячейка сети предсказывает параметры ограничивающего прямоугольника - координаты x, y, ширину, высоту, а также уверенность в том, что в этой ячейке есть объект [4]. Кроме того, каждая ячейка предсказывает класс объекта.

Для улучшения обобщающей способности модели использовались аугментации. Аугментация данных помогает увеличить разнообразие тренировочного набора данных и повысить устойчивость модели к различным вариантам представления одежды. Для аугментаций использовалась библиотека Albumentations. Это библиотека аугментации изображений для машинного обучения и компьютерного зрения, которая позволяет применять разнообразные трансформации к изображениям перед их использованием в обучении моделей глубокого обучения. Работа Albumentations с PyTorch заключается в интеграции аугментаций непосредственно в процесс загрузки данных для обучения моделей. Albumentations позволяет создавать цепочки трансформаций, которые могут быть применены к изображениям в реальном времени при загрузке в модель.

В качестве аугментации были выбраны трансформации, которые меняют изображения с некоторой вероятностью: ColorJitter, HorizontalFlip, RandomBrightnessContrast, GaussNoise, Rotate, Blur, Flip [5].

Для того чтобы оценить качество, помимо использования метрик качества, использованы методы семейства *Cam, которые относятся к методам визуализации и интерпретации работы сверточных нейронных сетей [3].

В результате применения методов *Cam, получен следующий результат (рисунок).

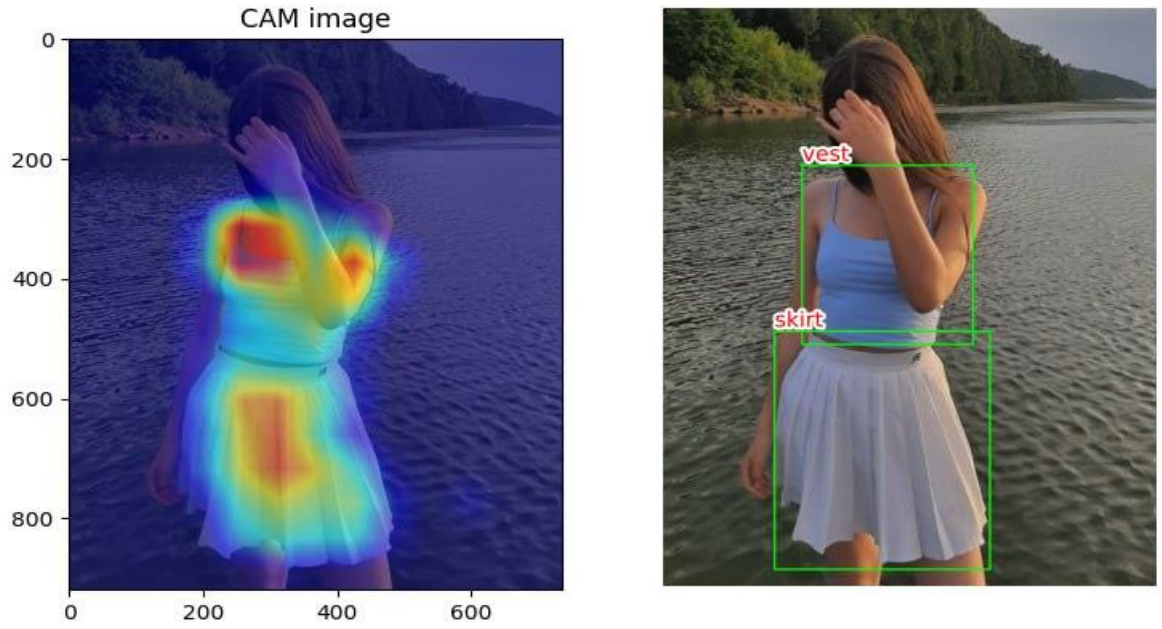


Рисунок. Визуализация методом *Cam

Распознанные объекты необходимо разделить на категории:

1. Корректно детектированные и классифицированы.
2. Корректно детектированные, но неправильно классифицированы.
3. Некорректно детектированные.
4. Не детектированы.

Несколько изображений в каждой группе необходимо отдельно изучить, чтобы выделить признаки, которые сбили работу алгоритма. После проведения подробного анализа этих аспектов можно приступить к коррекции алгоритма и улучшению его обобщающей способности.

В результате проведенных исследований успешно разработан и реализован алгоритм обнаружения одежды. Результаты исследования по распознаванию одежды предоставляют перспективные возможности в различных сферах, включая розничную торговлю, маркетинг, безопасность. Практическое внедрение такой системы может значительно улучшить процессы выбора, персонализировать маркетинговые кампании и повысить уровень безопасности в различных общественных местах.

Список использованных источников

1. Датасет DeepFashion2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/switchablenorms (дата обращения: 10.11.2023).
2. Тимошкин М.С., Миронов А.Н., Леонтьев А.С. Сравнение yolo v5 и faster r-cnn для обнаружения людей на изображении в потоковом режиме // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – №. 6-1(120). – С. 137–146.
3. Daniel Reiff. Understand your Algorithm with Grad-CAM. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://towardsdatascience.com/understand-your-algorithm-with-grad-cam-d3b62fce353 (дата обращения: 10.12.2023).
4. Object detection using YOLO: challenges, architectural successors, datasets and applications. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-022-13644-y (дата обращения: 18.12.2023).
5. Bounding boxes augmentation for object detection. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://albumentations.ai/docs/getting_started/bounding_boxes_augmentation (дата обращения: 23.12.2023).

УДК 004.021

СЕРВИС ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО КРОСС-ТЕСТИРОВАНИЯ УЧАЩИХСЯ

Ишутина Е.[1] *(магистр),* ***Калачева В.В.***[1] *(студент)*
Научный руководитель – к.т.н., доцент Грудинин В.А.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: liz16z2001@mail.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР № 623090 «Методы и алгоритмы интеллектуальных сервисов и приложений».

В работе рассмотрена разработка и применение интеллектуального сервиса кросс-тестирования с целью активизации учебного процесса, формирования коммуникативных навыков учащихся и обогащения образовательного взаимодействия между учащимися. Описаны архитектура предлагаемого сервиса, роли пользователей и инструменты реализации.

Ключевые слова
Кросс-тестирование, тесты, непрерывное образование, сервис, ИКТ, ИИ.

Современные образовательные подходы стремятся к активному взаимодействию учащихся с учебным материалом и стимулированию их самостоятельности. Необходим рост образовательного потенциала личности в течение всей жизни, что подразумевает под собой систему непрерывного образования. Известные решения в данной области включают в себя системы тестирования, такие как ЕГЭ, которые основаны на пассивном тестировании и ограничивают учащихся в развитии когнитивных способностей [1]. Данная работа посвящена подходу к разработке сервиса, предназначенного для составления и прохождения учащимися тестов, созданных на основе материалов пройденных занятий. Идея заключается в том, чтобы каждый учащийся мог создавать собственные тесты и решать тесты, созданные другими учащимися, в целях глубокого освоения учебного материала и выявления таких способностей человека, как аналитичность и лидерские качества.

Ключевым элементом разрабатываемого сервиса является кросс-тестирование, где учащиеся не только создают, но и решают задания, предложенные другими учащимися. Это и является отличием от других подобных сервисов. Динамическое тестирование дает возможность выявить не только уровень знаний, но и способность применять их на практике, закрепляя глубоким пониманием материал. Такая форма взаимодействия поддерживает интерактивный образовательный процесс и подчеркивает уникальность каждого учащегося [1].

Разработанная методика, которая состоит из четырех этапов, обеспечивает единый подход для формирования рейтинга учащегося.

На первом этапе учащиеся изучают материалы занятия, выданные преподавателем. Материалы могут быть представлены как: лекция в аудитории, видеолекция, любой доступный документ по теме занятия или подготовленные задания и тесты. На втором этапе учащимся предлагается выполнить домашнее задание — создать тесты по изученному материалу. Этот этап развивает практические навыки работы с источниками, умение решать задачи, формулировать мысли в литературной форме и т. п. [2]. Каждый из учащихся готовит тесты по теме пройденного занятия, предъявляя вместе с тестом ссылки на доступные в интернете курсы или документы, подтверждающие верные ответы к вопросам теста. Созданные тесты отправляются преподавателю (организатору тестирования), который далее рассылает тесты всем учащимся.

На третьем этапе каждый учащийся проходит тесты друг друга и после завершения, результаты отправляются для оценивания. Результатом является четвертый этап, в котором собирается итоговая статистика по ответам участников на тесты и по ней строится оценка, которая не зависит от оценки преподавателя [2]. Рассчитывается оценка аналитичность – оценка верных ответов учащегося на чужие ответы, согласно методике, оценка может быть индивидуальной и групповой. Рассчитывается оценка лидерских качеств – оценка вопросов и тестов, созданными учащимся, на которую влияет количество верных ответов других учащихся, согласно методике, оценка всегда групповая. В такой рейтинговой среде у учащегося выявляются его сильные способности на раннем этапе, такие как аналитичность и лидерские качества, оценка которых происходит за счет робастных методов статистики [3].

Главным аспектом сервиса является возможность учащимся решать тесты, которые создают их коллеги. Это позволяет им сталкиваться с различными подходами к формулировке вопросов, что закрепляет за собой умение — ставить задачу [4]. При составлении задач для других человек вынужден глубоко понять материал, чтобы сформулировать понятные и полезные задачи. Тем самым, учащийся вносит активный вклад в процесс обучения, помогая формировать знания и навыки у других учащихся. Такие действия выполняются каждым учащимся в коллективе. Каждый учащийся может не только проверить свои знания, но и оценить работу других. Это создает рейтинговую среду между учащимися и стимулирует на выполнение [4].

В сервисе выделены три основные роли пользователей с определенными уровнями доступа и полномочий в системе. Учащийся — пользователь, который создает и проходит тесты, а также видит информацию о курсе, на который он записан, и преподавателя, который ведет этот курс. Эксперт или преподаватель — пользователь, который создает виртуальные комнаты для проведения лекций, также имеет возможность создавать и проходить тесты. Администратор — пользователь, создающий и управляющий пользователями системы и имеет возможность редактировать тесты.

В процессе проектирования сервиса была принята микросервисная архитектура, представленная на рисунке. В микросервисной архитектуре сервис разбивается на ряд независимо развертываемых сервисов, которые взаимодействуют с помощью API-интерфейсов. Благодаря такому подходу каждый отдельный сервис можно развертывать и масштабировать независимо от других [5].

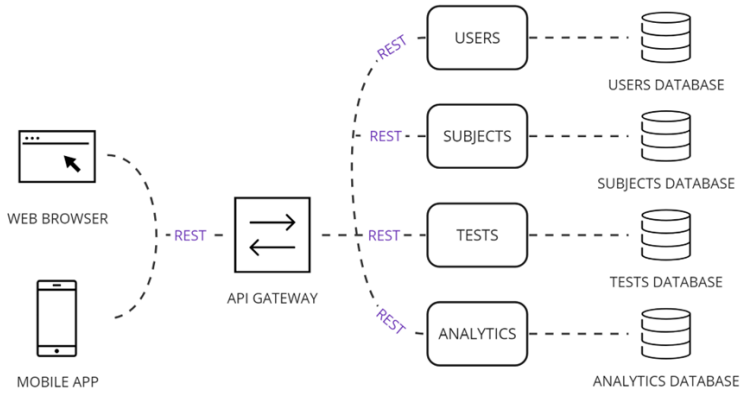


Рисунок. Архитектура сервиса для интеллектуального кросс-тестирования

Выделяются следующие модули, имеющие собственные базы данных: пользователи, предметы, тесты и интеллектуальная аналитика. Пользователи, который предоставляет информацию о пользователях, их роли в системе. Предметы, который предоставляет информацию о предметах, курсах, темах тестирований, учениках. Тесты, который предоставляет информацию о тестах, авторах, вопросах теста с вариантами ответов и информацию по правильным ответам, преподавателям, которые модерируют тесты, статусу

тестов (создан, проверен, отклонен), результатах пройденных тестов, учениках, которые их прошли, ответах на вопросы и правильных ответах, очках, набранных за тест. В модуле интеллектуальная аналитика хранится информация о пользователях, их достижения, которые были проанализированы на основе составленных и пройденных тестов, и полученные награды.

Реализацией данной архитектуры послужили такие инструменты, как Django, React.js и Swagger [5]. Django — высокоуровневый веб-фреймворк на языке Python, позволил быстро разработать прототип данного сервиса за счет стандартизированной структуры и возможности сосредоточиться на бизнес-логике. React.js — библиотека JavaScript, позволил создать клиентскую часть сервиса за счет создания пользовательского интерфейса из простых компонентов на основе одностраничного SPA (single page application) приложения. Swagger — фреймворк, который использовался в работе для описания, документирования и визуализации REST API.

В результате данной работы разработан прототип сервиса для интеллектуального кросс-тестирования. Дальнейшему развитию способствует тестирование сервиса в образовательной среде по методологии «кросс-тестирование». Тем самым подготовятся входные данные для последующего обучения бота-ученика. В бота-ученика в данном контексте, заложены методы машинного обучения, что позволит ему обучиться совместно с учащимися и тестироваться вместе с ними одновременно. А польза в данном подходе в том, что по итогу дальнейшей работы бот-ученик, используя технику Retrieval-Augmented Generation (RAG) сможет формировать персонализированные вопросы (тесты) для образовательных целей.

Список использованных источников

1. Асыко Т.Н., Горелик С.Л., Чернышкова М.А. УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОЦЕССОМ // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №. 4. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://science-education.ru/ru/article/view?id=13932 (дата обращения: 28.02.2024).
2. Образование в цифровую эпоху [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://magellan.pro/2019/03/04/obrazovanie-v-cifrovuju-jepohu/ (дата обращения: 29.02.2024).
3. Шуленин В.П. Робастные методы математической статистики. – Томск: Изд-во НТЛ, 2016. – 260 с.
4. Waghid Y. On Learning, Responsibility, and Play in Lifelong Learning. In: Evans, K., Lee, W.O., Markowitsch, J., Zukas, M. (eds) Third International Handbook of Lifelong Learning. Springer International Handbooks of Education. Springer, Cham. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://doi.org/10.1007/978-3-031-19592-1_7 (дата обращения: 03.03.2024).
5. Аутентификация и авторизация в проекте с микросервисной архитектурой: стратегии, практический пример. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://habr.com/ru/companies/spectr/articles/715290/ (дата обращения: 01.03.2024).

УДК 004.42

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ KOTLIN MULTIPLATFORM ПРИ РАЗРАБОТКЕ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

***Кошкин А.С.*[1]** *(студент)*
***Научный руководитель – старший преподаватель Береснев А.Д.*[1]**

1 – Университет ИТМО

e-mail: hello@droidcat.ru

В работе рассмотрены основные проблемы и сложности, с которыми сталкиваются разработчики при использовании фреймворка Kotlin Multiplatform во время разработки кроссплатформенных мобильных приложений для операционных систем Android и iOS, а также представлены варианты их решения.
Ключевые слова
Кроссплатформенная разработка, мобильные приложения, инструменты разработки, эффективность разработки, универсальный код.

В современном мире, где конкуренция среди разработчиков мобильных приложений высока, крайне важно предложить пользователям качественный продукт, который будет одинаково хорошо работать на разных платформах. В данной статье рассматривается фреймворк Kotlin Multiplatform – инновационный подход к разработке кроссплатформенных приложений, позволяющий сократить время и затраты на их создание [1].

Основная идея Kotlin Multiplatform – сократить объём повторяющегося кода и обеспечить гибкость разработки, позволяя разработчикам писать платформенно зависимый код только в случае необходимости. При этом степень разделения кода на нативный и платформенно независимый зависит лишь от предпочтений и пожеланий разработчиков.

При работе с данным фреймворком разработчик пишет в кроссплатформенном модуле код, который не зависит от реализации конкретной платформы, а унифицирует взаимодействие с ними. Затем реализует кроссплатформенные интерфейсы в модулях конкретной платформы, благодаря чему можно будет достичь похожего поведения на разных платформах. Данный фреймворк призван сократить количество повторяющегося кода в исходном коде разных платформенных команд в пределах продукта или группы продуктов, выделив повторяющиеся части в кроссплатформенные модули, а также минимизировать различие функционала продукта на различных платформах, так как разработка приложений происходит в одни и те же временные рамки. Диаграмма разделения кода на несколько платформ представлена на рисунке.

Основной сложностью написания приложений с использованием Kotlin Multiplatform является сложность нахождения общих интерфейсов взаимодействия с платформенными функциями, так как разработчику необходимо знать особенности реализации нативных функций для каждой из платформ, которые будут поддерживаться кроссплатформенным модулем.

Для более качественного и более быстрого решения данной проблемы можно привлечь нескольких нативных специалистов, которые знают особенности своей платформы. В ходе обсуждения требований каждой из платформ специалисты могут вынести общие требования для инициализации и взаимодействия со всеми платформами из кроссплатформенного кода.

При добавлении в уже имеющийся продукт с использованием Kotlin Multiplatform новой платформы, разработчикам необходимо заново пройти через этап проектирования кроссплатформенных модулей, так как новая платформа может предъявлять требования, которые не были учтены до этого.

Следующей проблемой при разработке мобильных приложений с использованием KMP является то, что разработчикам необходимо изучить язык программирования Kotlin. И если для Android разработчиков данный язык является знакомым, так как нативная разработка для

данной платформы ведется на нем, или на его языке-прародителе – Java, то для разработчиков других платформ он будет новым, что потребует дополнительных усилий и времени либо с их стороны, либо со стороны Android разработчиков.

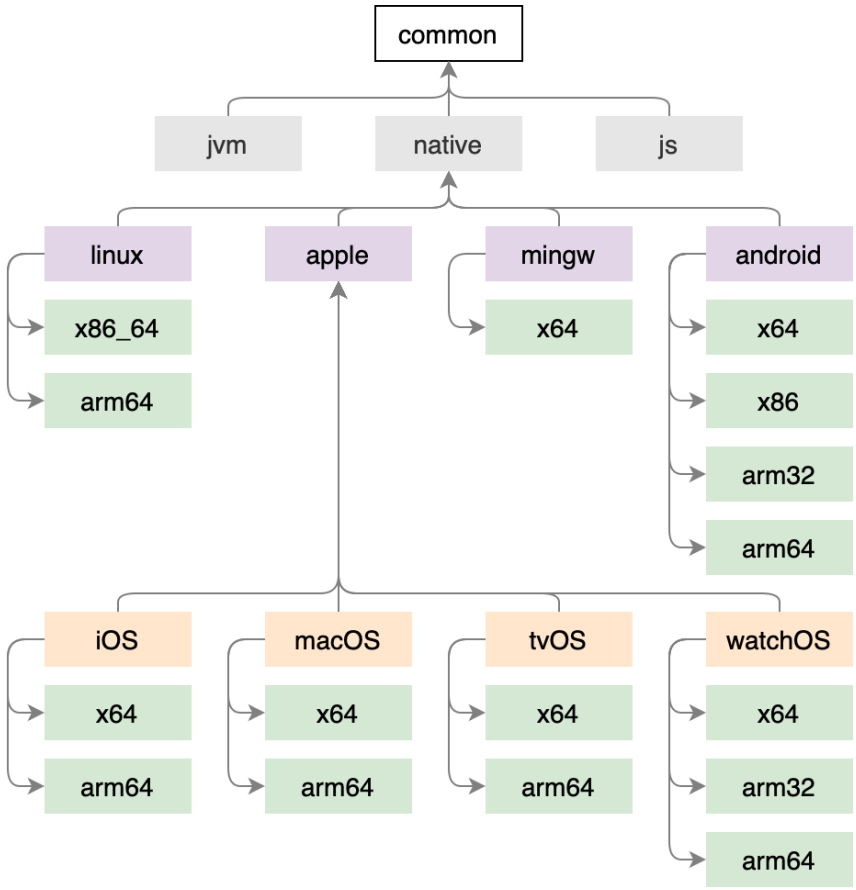


Рисунок. Разделение кодовой базы между несколькими платформами

Особенностью рассматриваемого фреймворка является то, что он транслирует код на Kotlin в нативный исполняемый код для каждой из платформ. При этом трансляция не во всех случаях происходит корректно, из-за чего могут возникать непредвиденные ошибки или поведение программ на разных платформах. Также из-за данной особенности скомпилированные в нативные Kotlin библиотеки могут иметь неудобный для использования интерфейс, используя лишние символы в названии функций, переменных, интерфейсов или классов, из-за чего нативным разработчикам становится сложнее начать использовать кроссплатформенные библиотеки [2].

Также некоторой проблемой является то, что данная технология достаточно молода и очень активно развивается. Это привносит такие трудности, что обновления часто бывают несовместимы с прошлыми версиями фреймворка, из-за чего разработчикам постоянно приходится адаптировать приложения под новые требования и решать попутно возникающие проблемы вместо того, чтобы разрабатывать новую функциональность.

В свою очередь разработчики библиотек также не успевают следить за развитием всех поддерживаемых платформ и фреймворка, из-за чего приложения порой перестают работать правильно, или вообще компилироваться под конкретную платформу, из-за чего рабочий процесс может быть приостановлен на некоторое время, либо разработчикам приложения придется написать собственное решение.

Одной из популярных библиотек для Kotlin Multiplatform, предоставляющей разработчикам возможность также сделать общим и интерфейс приложений, является библиотека от JetBrains – Compose Multiplatform [3]. При использовании кроссплатформенного интерфейса мобильных приложений также возникает ряд сложностей. Во-первых, интерфейс

при использовании подобного решения может не ощущаться нативным на платформах, отличных от Android, так как графический движок, используемый в данной библиотеке, является нативным только для Android, а на всех других платформах он лишь симулирует нативное поведение интерфейса и может иметь хуже производительность из-за дополнительных оберток, чем нативный интерфейс [4]. Также разработчикам и дизайнерам приложений необходимо создать такую дизайн-систему, чтобы она не вызывала отторжения у пользователей различных платформ.

Особенностью мобильных приложений является то, что они должны содержать в себе ресурсы в виде различных локализованных строк, изображений, констант и прочих данных. С этим также возникают сложности, так как Kotlin Multiplatform не предоставляет решений для хранения кроссплатформенных ресурсов приложений. Данную проблему призваны решить библиотеки moko-resources и Compose Multiplatform. В свою очередь обе эти библиотеки имеют ряд ограничений, например, Compose Multiplatform работает только в кроссплатформенном интерфейсе, написанном с ее использованием, и не позволяет хранить целый ряд типов ресурсов [5]. Moko-resources в свою очередь позволяет использовать кроссплатформенные ресурсы как в нативных интерфейсах приложений, так и в интерфейсе Compose Multiplatform и имеет больше поддерживаемых типов ресурсов, но является библиотекой от сторонних разработчиков и отстает от развития фреймворка, из-за чего периодически разработчики мобильных приложений не могут использовать его более новые версии из-за ситуации конфликта версий [6].

Последней сложностью, представленной в данной статье, является то, что все проекты, разрабатываемые с использованием Kotlin Multiplatform, имеют разную степень вынесения функций в кроссплатформенный код, а также архитектуру. Из-за этого разработчикам может быть сложно переходить от проекта к проекту и возможны излишние затраты по времени на изучение проекта, так как из-за гибкости, которую предоставляет фреймворк, каждая команда использует собственные подходы к разработке и еще не сложились устоявшиеся правила и шаблоны применения данного фреймворка.

В заключении статьи хотелось бы отметить, что несмотря на все трудности, которые по большей части имеют временный характер и обусловлены молодостью и активностью развития данной технологии, на данный момент она используется во множестве программных продуктов крупных компаний, что подтверждает перспективность данного направления и дальнейшую поддержку в среде разработчиков [7].

Список использованных источников

1. Kotlin Multiplatform | Kotlin Documentation. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://kotlinlang.org/docs/multiplatform.html (дата обращения: 15.01.2024).
2. Interoperability with Swift/Objective-C | Kotlin Documentation. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://kotlinlang.org/docs/native-objc-interop.html (дата обращения: 15.01.2024).
3. Get started with Compose Multiplatform – tutorial | Kotlin Multiplatform Development Documentation. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.jetbrains.com/help/kotlin-multiplatform-dev/compose-multiplatform-getting-started.html (дата обращения: 15.01.2024).
4. GitHub – JetBrains/skiko: Kotlin MPP bindings to Skia. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/JetBrains/skiko (дата обращения: 15.01.2024).
5. Images and resources | Kotlin Multiplatform Development Documentation. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.jetbrains.com/help/kotlin-multiplatform-dev/compose-images-resources.html (дата обращения: 15.01.2024).
6. GitHub – icerockdev/moko-resources: Resources access for mobile (android & ios) Kotlin Multiplatform development. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/icerockdev/moko-resources (дата обращения: 15.01.2024).
7. Case Studies | Kotlin Multiplatform Development Documentation. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.jetbrains.com/help/kotlin-multiplatform-dev/case-studies.html (дата обращения: 15.01.2024).

УДК 004.021

ИНТЕРНЕТ-СЕРВИС ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЦИФРОВОГО ИМИДЖА УЧАЩИХСЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Горелик С.Л.[1]*(профессор)*, ***Кузнецов В.С.***[1] *(студент)*, ***Габдрашитов Р.Р.***[1] *(студент)*
Научный руководитель – к.т.н., доцент Грудинин В.А.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: ss_slavich@mail.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР № 623090 «Методы и алгоритмы интеллектуальных сервисов и приложений».

В работе рассмотрена разработка и применение интеллектуального сервиса кросс-тестирования с целью активизации учебного процесса, формирования коммуникативных навыков учащихся и обогащения образовательного взаимодействия между учащимися. Описаны архитектура предлагаемого сервиса, роли пользователей и инструменты реализации.

Ключевые слова
Кросс-тестирование, тесты, непрерывное образование, сервис, ИКТ, ИИ.

Образование играет главную роль в жизни людей. Чтобы добиться профессионального успеха или высокого уровня в социальной системе, каждому человеку, необходимо постоянно (в течение всей жизни) стремиться к саморазвитию и участию в образовательном инновационном процессе [1]. Результатом обучения является интеллектуальный “имидж”, цифровизации которого в процессе обучения и посвящен настоящий проект.

В данном работе представлена разработка инновационного сервиса для повышения эффективности и привлекательности образовательного процесса, особенно при использовании дистанционных форматов обучения. Основное конкурентное отличие предлагаемого сервиса в использовании технологии и принципов искусственного интеллекта и методологии кросс-тестирования в процессе обучения, на основе которой для формируется “цифровой имидж” учащегося и преподавателей.

Перспективность данной разработки заключается в том, что в образовательном сервисе заложен принцип идеи, которая касается не только усвоения знаний, но и формирования активной и взаимодействующей образовательной среды обучения, включающей не только учащихся и преподавателей, но других участников непрерывного образовательного процесса, в который человек вовлечен, начиная с детского возраста, и продолжает находится в течение всей профессиональной и общественной жизни [1].

Работа посвящена разработке цифровой платформы, объединяющей обучение, самопроверку и формирование цифрового имиджа учащихся. Каждый учащийся, преподаватель, будущий “покупатель” персонала для профессиональной работы, рекрутинговые агентства и учебные заведение разных ступеней являются активными участниками образовательного процесса, участвуют в разных ролях в нем и могут пользоваться его результатами, оформленными в индивидуальном “цифровом имидже” претендента на работу или образование следующей ступени [2]. Цифровой имидж – это образ человека, который представляет личность и формируется на основе его вовлеченности в образовательный процесс.

Общая структура разрабатываемого сервиса включает “образовательный функциональный модуль” (ОФМ), связанный с другими модулями, которые обеспечивают различные задачи, которые решаются в образовательном процессе. ОФМ обеспечивает

возможность проведения в дистанционном или в гибридном формате занятий в любой из принятых, более или менее, стандартных форматах (лекции, семинары, беседы, экзамены, зачеты, демонстрации и др.).

Важным конкурентным отличием представляемой разработки является включение в модуль механизма формирования персонального или группового “цифрового имиджа” на базе авторской технологии кросс-тестирования. Особенность технологии, обеспечиваемой при формировании “цифрового имиджа” заключается в том, что в результате любого образовательного мероприятия проводится, в соревновательной форме, контроль усвоения темы, а на основе регулярно получаемых данных выстраиваются несколько рейтингов, характеризующих различные аспекты профессиональных качеств и возможностей участников, оформляемые в виде персонального “цифрового паспорта”. Это документ становится основным критерием при устройстве на работу, выборе следующей ступени образования, получении определенного статуса в социальных сообществах, на участие в которых претендует учащиеся.

Основной функционал, который обеспечивает конкурентные отличия, указанные выше, включает следующие этапы:

1. Обучение и взаимная проверка в процессе образовательного мероприятия (кросс-тестирование): в конце каждого занятия студенты будут получать задание на составление тестов по теме, которые будут предложены другим участникам для ответов на следующем мероприятии или вызваны не только к усвоению материала, но и вне мероприятия. Таким образом, возникает соревновательный аспект. Эти задания станут доступными для решения другим студентам, тест создает атмосферу интереса взаимными результатами, поводы к дискуссиям и общению внутри группы и вне ее с коллегами из других групп (социальный аспект), стремление к объединению (командный формат, например, между группами) и умение участвовать в конкурентной борьбе. Все эти качества очень важны в профессиональной и общественной жизни.
2. Формирование цифрового имиджа: Результаты тестирования будут использованы для построения цифрового профиля каждого учащегося. Этот профиль будет отражать индивидуальные успехи, уровень активности в образовательном процессе, а также различные компетенции, формирующие не только знания, но и личностные качества. «Индивидуальный цифровой паспорт» постепенно станет неотъемлемой частью дипломов или сертификатов об образовании, выдаваемых различными учебными заведениями и будет служить основой для принятие решении о приеме на работу или поступлении в другое учебное заведение.

Разрабатываемый цифровой сервис состоит из единого интерфейса, к которому подключен образовательный функциональный модуль, модуль для оценки показателей здоровья, а также дополнительные модули. Данная платформа даст возможность формирования цифровых разделов по предметным областям и сферам.

Каждый модуль может взаимодействовать с сервисом для размещения тематических образовательных материалов и библиотекой таких материалов.

Особенностью данной платформы, как описывалось ранее, является наличие сервиса кросс-тестирования, который должен соответствовать техническим требованиям, приведенным в таблице 1.

Преимущества и потенциальные вызовы, которые дает новый подход достаточно очевидны. Рассмотрим преимущества данного подхода, такие как активное вовлечение учащихся через дополнительные, легко понимаемые количественные стимулы, развитие навыков самостоятельного мышления и коллективной работы, объективизация данных о каждом человеке по каждому направлению, предоставляющая возможность сравнивать различных претендентов на профессиональном рынке труда.

Однако, также важно отметить, что в процессе формирования тестов можно использовать технологию AI, которая позволяет одновременно с обучением по тематической программе, обучать использованию новой технологий на практике. Интерес представляет анализ потенциальных возможностей и вызовы, таких как необходимость эффективного

управления данными в процессе образования и обеспечения защиты персональных данных от несанкционированного доступа, капитализации “цифрового имиджа” в коммерческих и бытовых целях и т. п. Также важен вопрос поддержки обучающихся в процессе адаптации к новой образовательной парадигме.

Таблица 1

Технические требования сервиса кросс-тестирования

ID	Название	Описание
1	Регистрация и аутентификация	Возможность регистрации пользователей и аутентификации через уникальный идентификатор (номер телефона, логин Телеграм)
2	Загрузка образовательных материалов	Возможность загрузки образовательных программ или курсов
3	Образовательное кросс-тестирование	Реализация механизма для прохождения кросс-тестирования, позволяющий пользователям создавать тесты, викторины на основе образовательных материалов, а также проходить тесты, созданные другими учащимися
4	Анализ результатов	Разработка аналитики для отображения результатов тестирований и их сравнения для формирования цифрового имиджа и анализа своих знаний и навыков
5	Персонализированные рекомендации	Система предоставляет персонализированные рекомендации пользователям на основе их образовательных результатов, образовательного кросс-тестирования и аналитики, в целях поддержания системы непрерывного образовательного процесса
6	Использование больших языковых моделей	Система должна включать поддержку и использование больших языковых моделей для анализа результатов прохождения тестов и, предоставления персонализированных образовательных рекомендаций и определения уровня знаний пользователя
9	Развитие механизмов обучения на основе больших языковых моделей	Необходимо разработать механизмы обучения, использующие большие языковые модели для создания персонализированных образовательных материалов, учебных планов и задач, адаптированных под потребности и уровень знаний конкретного пользователя
10	Контроль качества обучения	Реализация механизмов контроля качества результатов, получаемых с помощью больших языковых моделей и возможность переобучения больших языковых моделей
11	Интеграция с финтех платформой	Система взаимодействует с финтех платформой, передавая аналитику результатов тестирования и цифровой имидж пользователя в соответствии с требованиями финтех платформы

Список использованных источников

1. Образование в цифровую эпоху. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://magellan.pro/2019/03/04/obrazovanie-v-cifrovuju-jepohu/ (дата обращения: 29.02.2024).
2. Асыко Т.Н., Горелик С.Л., Чернышкова М.А. УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОЦЕССОМ // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://science-education.ru/ru/article/view?id=13932 (дата обращения: 28.02.2024).

УДК 004.056

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ НА БЕЗОПАСНОСТЬ МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

***Куракин Д.А.*[1]** *(студент)*
***Научный руководитель – к.пед.н., доцент Валитова Ю.О.*[1]**

1 – Университет ИТМО

e-mail: d.kurackin675@yandex.ru, yulia.o.valitova@itmo.ru

В работе анализируются методы хранения медицинской информации (печатные носители, машинные носители, сетевое хранение) и их влияние на безопасность данных. Исследование направлено на выбор оптимального метода хранения, обеспечивающего конфиденциальность и защиту информации от несанкционированного доступа.

Ключевые слова
Методы хранения данных, облачные технологии, печатные хранилища информации, электронные носители информации, медицинская информация, защита информации.

Информация о здоровье человека – бесценный ресурс, требующий надежной защиты. Данные о здоровье, диагнозах, лечении и о других аспектах истории болезни – это не просто набор сведений, а ключ к пониманию текущего состояния человека, основа для правильного лечения и прогнозирования возможных проблем и последствий. Именно поэтому безопасность такой информации – один из главных приоритетов в сфере здравоохранения.

Сегодня существует множество способов хранения медицинских данных. Наиболее распространенными являются:

1. Бумажные носители: традиционные карты, журналы и таблицы, которые используются уже много лет.
2. Цифровые носители: диски, ленты, флеш-накопители – компактные и удобные для переноски, но требующие защиты от повреждений и потери.
3. Сетевое хранение: серверы и облачные сервисы, обеспечивающие удаленный доступ к информации, но требующие надежных мер безопасности.

Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки с точки зрения безопасности.

В последние годы все больше медицинских учреждений переходят на сетевое хранение информации. Этому способствует ряд факторов:

1. Развитие информационных технологий: более быстрый интернет, более емкие и доступные носители информации.
2. Увеличение объемов данных: истории болезни, результаты исследований, изображения – все это требует много места.
3. Необходимость удаленного доступа: врачи и пациенты должны иметь возможность просматривать информацию из разных мест.

Однако, наряду с преимуществами, сетевое хранение имеет и недостатки:

1. Риск несанкционированного доступа – информация может быть украдена или изменена хакерами.
2. Обеспечение безопасности – требуется внедрение сложных систем защиты данных.

В связи с ростом киберпреступности, вопрос безопасности медицинских данных становится все более актуальным.

Исследование влияния различных методов хранения данных на безопасность медицинской информации может помочь:

1. Оценить преимущества и недостатки каждого метода.
2. Разработать рекомендации по выбору оптимального метода хранения.
3. Создать системы защиты данных для разных методов хранения.

Результаты исследования будут полезны: медицинским учреждениям для обеспечения безопасности информации о пациентах, разработчикам систем хранения данных для создания более надежных решений, а также государственным органам для разработки нормативных актов в области защиты медицинских данных.

Критерии безопасности – это набор правил, которые гарантируют надежную защиту для системы или процесса. В контексте медицинской информации критерии определяют уровень защищенности данных от несанкционированного доступа, изменений или потери.

Для сравнительного анализа были выбраны следующие критерии.

Конфиденциальность. Защита от несанкционированного доступа к информации с помощью надежного шифрования. Контроль доступа к данным, ограничивающий доступ только авторизованными лицами. Аутентификация пользователей для подтверждения их личности.

Целостность. Предотвращение или обнаружение несанкционированных изменений в данных. Контроль целостности данных во время хранения и передачи. Восстановление данных в случае их повреждения.

Доступность. Обеспечение бесперебойного доступа к информации 24/7. Создание резервных копий данных для защиты от потери. Устойчивость к сбоям для обеспечения непрерывной работы системы.

Аудит. Ведение журнала событий для отслеживания всех действий с информацией. Возможность расследования инцидентов для определения причин и последствий.

Соблюдение законов и стандартов. Соблюдение всех применимых законов, стандартов и нормативов в области безопасности. Выполнение требований законодательства о защите персональных данных. Следование общепринятым стандартам безопасности информации.

Управление ключами. Надежная защита ключей шифрования от кражи и компрометации. Контроль доступа к ключам только авторизованными лицами. Регулярная смена ключей для обеспечения безопасности.

Противодействие угрозам безопасности. Защита от вирусов, вредоносных программ, физических угроз и других актуальных угроз. Применение антивирусного ПО, брандмауэров и других средств защиты.

Обновления и доработки. Своевременное обновление системы для устранения уязвимостей. Внедрение необходимых доработок для повышения безопасности. Тестирование обновлений перед их установкой.

Защита от атак. Использование криптографических протоколов для защиты от перехвата данных. Применение методов защиты от SQL-инъекций и других атак. Защита от атак на службы и других актуальных типов атак.

Облачные сервисы предоставляют организациям доступ к удаленным серверам, которые обслуживаются поставщиком услуг. Под облачными технологиями понимается предоставление вычислительной и накопительной мощности потребителю на основе центров обработки данных в виде интернет-сервисов [4]. Облачные сервисы предлагают гибкость, масштабируемость, а также позволяют снизить затраты на хранение информации.

В рамках исследования были выбраны и изучены следующие сервисы:

1. Firebase (Google) – ориентирован на разработку мобильных приложений, обладает удобными инструментами для работы с данными.
2. MTS Cloud – предлагает надежную инфраструктуру и высокую степень защиты информации, подходит для крупных организаций, ввиду своих высоких цен.
3. Cloud.ru (Sber Cloud) – имеет развитую экосистему сервисов и решений, интегрируется с другими продуктами Сбербанка.
4. Yandex Cloud – предлагает широкий спектр услуг по доступным ценам, подходит для всех типов организаций.

Firebase – это платформа для разработки backend приложений, которая является оболочкой над GoogleCloudPlatform [1], который в свою очередь является поставщиком облачных услуг.

Рассмотрим оценку Firebase по критериям безопасности (табл. 1).

Таблица 1

Оценка Firebase по критериям безопасности

Критерий безопасности	Оценка	Описание
Конфиденциальность	8	AES-256 (по умолчанию) и RSA-2048 (при передаче) обеспечивают надежную защиту данных. Не поддерживаются ChaCha20 и Poly1305. TLS 1.2 гарантирует безопасную передачу данных
Целостность	8	Хэширование и контрольные суммы обеспечивают защиту от фальсификации и изменения информации. Цифровая подпись не поддерживается
Доступность	9	Система имеет бесперебойный доступ к данным, используя репликацию (копирование данных в центры обработки данных для обеспечения доступности при локальных сбоях), кластеризацию (объединение серверов в кластер для распределения нагрузки), хранение в разных регионах
Аудит	8	Firebase предоставляет журналы событий для всех своих ресурсов и сервисов. Эти журналы позволяют отслеживать действия пользователей, изменения данных и другие события в системе, но предоставляют неполную информацию
Соблюдение законов и стандартов	8	Система соответствует всем нормативным требованиям в области безопасности. HIPAA – защита конфиденциальности данных о здоровье пациентов в США. GDPR – общий регламент по защите данных в Европейском Союзе. ISO/IEC 27001 – международный стандарт управления информационной безопасностью. Не соответствует 153-ФЗ
Управление ключами	8	Firebase Key Management Service обеспечивает безопасное хранение и использование ключей шифрования для защиты ваших данных. Не является полностью открытым – доступ к сервису возможен только после регистрации в GCP (Google Cloud Platform)
Противодействие угрозам безопасности	8	Система противодействует угрозам за счет мониторинга (отслеживание системы и сети на предмет подозрительной активности), фильтрации трафика (блокировка вредоносного и ненужного трафика), обнаружения инцидентов (автоматическое определение попыток взлома, утечек данных и других угроз), реагирования на инциденты (автоматическое или ручное реагирование на угрозы для минимизации ущерба)
Обновления и доработки	9	Firebase регулярно обновляет свои сервисы и инструменты, чтобы устранять найденные уязвимости и внедрять новые функции к безопасности. Новые функции проходят тестирование. Внедрение в реализованную версию занимает время
Защита от атак	8	Межсетевые экраны – блокируют несанкционированный доступ к сети. Систем предотвращения вторжений – отслеживают и блокируют сетевые атаки. В системе не реализована веб-фильтрация. Не блокируется вредоносный веб-трафик

Yandex Cloud. Используя свою облачную инфраструктуру, Yandex предлагает платформу Yandex Cloud на которой предоставляются сервисы IaaS и SaaS, которые соответствуют всем требованиям по защите персональных данных 152-ФЗ и GDPR. С помощью сервисов на платформе Yandex Cloud можно осуществлять различные задачи, начиная от хранения и обработки данных, заканчивая машинным обучением и построением систем бизнес-аналитики [2]. Оценка Yandex Cloud представлена в следующей таблице (табл. 2).

Таблица 2

Оценка Yandex Cloud по критериям безопасности

Критерий безопасности	Оценка	Описание
Конфиденци-альность	8	Система обеспечивает высокую степень защиты данных за счет шифрования: AES-256 (по умолчанию) для данных в покое, RSA-2048 и ECC для аутентификации и шифрования ключей, TLS 1.2 или выше для данных в движении. Не поддерживаются современные алгоритмы шифрования: ChaCha20 и Poly1305
Целостность	9	Система гарантирует неизменность и достоверность информации за счет методов контроля целостности, а именно хэширование, контрольные суммы. Эти методы обеспечивают: защиту от фальсификации, обнаружение изменений – любые изменения в данных будут зафиксированы
Доступность	9	Гарантирует бесперебойный доступ к вашим данным за счет репликации, кластеризации, хранения данных в разных регионах
Аудит	9	Обеспечивает полную прозрачность работы системы за счет журналов событий – детальной информации обо всех действиях пользователей и событиях в системе, простоты использования и упрощения обнаружения и расследования инцидентов безопасности
Соблюдение законов и стандартов	9	Yandex Cloud гарантирует высочайший уровень безопасности данных, соответствуя всем применимым нормативным требованиям, включая: 153-ФЗ (закон о защите персональных данных в Российской Федерации), GDPR, ISO/IEC 27001
Управление ключами	9	Yandex Cloud Key Management Service (KMS) – это сервис для создания, хранения и управления ключами шифрования. KMS позволяет создавать и управлять симметричными и асимметричными ключами, интегрировать KMS с другими сервисами Yandex Cloud, использовать KMS с помощью Terraform и библиотек шифрования
Противо-действие угрозам безопасности	9	Yandex Cloud обеспечивает комплексную защиту информации за счет: многоуровневой системы безопасности (мониторинг системы и событий, фильтрация трафика, обнаружение и реагирование на инциденты), проактивного подхода (предотвращение угроз до их возникновения), быстрого реагирования (минимизация ущерба в случае инцидента)
Обновления и доработки	9	Система по необходимости обновляет свои сервисы и инструменты, обновления происходят достаточно быстро и оперативно
Защита от атак	9	Yandex Cloud предлагает межсетевые экраны, веб-фильтры и системы предотвращения вторжений, защита от DDoS-атак и несанкционированного доступа

Cloud.ru (до 2022 года — SberCloud) — провайдер облачных технологий, до мая 2022 года входил в бизнес-экосистему «Сбера». Предоставляет облачные инфраструктурные сервисы (виртуальные серверы, облачные хранилища данных), платформенные сервисы, облачную платформу для разработки и эксплуатации моделей машинного обучения на базе двух суперкомпьютеров — Christofari и Christofari Neo, а также сервис хранения файлов «Диск» [3]. Оценка безопасности представлены в следующей таблице (табл. 3).

Таким образом, можно подвести итоги, выделив основные результаты:

1. Firebase подходит для разработки мобильных приложений, где важна скорость и удобство работы с данными.
2. Yandex Cloud – оптимальный выбор для организаций, которым требуется высокая безопасность и соответствие российским законодательствам.
3. Cloud.ru – универсальная платформа для компаний, ищущих комплексные решения по доступным ценам.

Печатные носители информации, такие как бланки, журналы, медицинские карты и другие документы, являются традиционным способом хранения медицинской информации, но

имеют низкую безопасность и не обеспечивают конфиденциальности данных, доступ к ним могут получить посторонние лица.

Таблица 3

Оценка Cloud.ru по критериям безопасности

Критерий безопасности	Оценка	Описание
Конфиденциальность	8	Обеспечивает надежную защиту ваших данных, используя шифрование AES-256-GCM – один из самых стойких алгоритмов шифрования в мире. Защищает данные от несанкционированного доступа. Шифрование данных в покое и в движении – данные защищены как при хранении, так и при передаче
Целостность	8	Присутствует контроль целостности данных, основанный на хэш-суммах, что высчитываются для каждого блока данных.
Доступность	9	Обеспечение высокой доступности. Географическое распределение серверов – серверы размещаются в нескольких географических регионах. Данные регулярно резервируются
Аудит	8	Sber Cloud ведет журнал событий, который фиксирует все действия, связанные с данными
Соблюдение законов и стандартов	9	Sber Cloud соответствует всем применимым нормативным требованиям в области безопасности медицинской информации: 152-ФЗ, GDPR
Управление ключами	8	Sber Cloud использует систему управления ключами с высоким уровнем безопасности. Обеспечивает централизованное управление ключами шифрования, что повышает безопасность данных
Противодействие угрозам безопасности	8	Sber Cloud обеспечивает многоуровневую защиту данных, используя передовые методы и технологии: предотвращение, обнаружение, реагирование, защита от физических угроз
Обновления и доработки	9	Sber Cloud постоянно совершенствует свою инфраструктуру, регулярно обновляя системы и программное обеспечение
Защита от атак	8	Sber Cloud использует различные средства для защиты от различных типов атак, таких как перехват данных, инъекции, атаки на службы и другие

В следующей таблице отображена оценка печатных носителей информации по критериям (табл. 4).

Таблица 4

Оценка печатных носителей по критериям безопасности

Измерение	Оценка	Описание
Конфиденциальность	5	Низкая конфиденциальность. Легкодоступны, могут быть украдены, потеряны или скопированы. Отсутствует контроль доступа. Уязвимы к повреждению и уничтожению
Целостность	6	Физическая уязвимость – печатные носители легко рвутся, мнутся, выцветают, мокнут и могут быть повреждены огнем или насекомыми. Случайное изменение – информация на бумаге может быть легко изменена, зачеркнута, дописана или даже полностью удалена. Умышленное изменение – несанкционированные лица могут получить доступ к информации и изменить ее без ведома владельца
Доступность	7	Постоянная доступность – печатные носители информации доступны в любое время, когда они находятся в пределах досягаемости. Независимость от технологий – не требуют электропитания, интернета или специальных устройств для доступа. Ограниченная мобильность – неудобно носить с собой большие объемы информации

Продолжение таблицы 4

Измерение	Оценка	Описание
Аудит	6	Печатные носители информации могут быть труднее отслеживать, чем электронные носители. Отсутствие централизации – информация распределена по разным отделам, местам хранения и может быть не учтена. Физический формат – невозможно автоматизировать аудит, необходима ручная проверка каждого документа. Объем – большое количество бумажных носителей делает аудит трудоемким и длительным
Соблюдение законов и стандартов	8	Печатные носители информации могут быть использованы для хранения медицинских данных в соответствии с законами и стандартами в области безопасности медицинской информации
Управление ключами	6	Управление ключами шифрования для печатных носителей информации может быть сложным. Ключи необходимо хранить в безопасных местах и предоставлять доступны только определенным людям
Противо-действие угрозам безопасности	7	Печатные носители информации могут быть подвержены различным угрозам безопасности, такими как несанкционированный доступ, утечка информации, повреждения или хищения. Важно предпринять меры для защиты данных от угроз
Обновления и доработки	6	Обновление и доработка информации на печатных носителях представляет собой более сложную задачу по сравнению с остальными носителями, поскольку связаны с физическими ограничениями печатных материалов, необходимостью перепечатки и затратами времени и ресурсов
Защита от атак	6	Печатные носители подвержены различным типам атак – бумажные носители могут быть украдены или потеряны, информация на них доступна посторонними

Печатные носители информации являются менее безопасным способом хранения данных, чем остальные методы.

Машинные носители информации – носители информации, где данные хранятся в виде машинного кода. В следующей таблице отображена оценка машинных носителей информации по критериям безопасности (табл. 5).

Таблица 5

Оценка машинных носителей по критериям безопасности

Измерение	Оценка	Описание
Конфиден-циальность	9	При применении соответствующих мер безопасности, таких как шифрование, контроль доступа и аутентификация, машинные носители информации способны гарантировать высокую конфиденциальность медицинских данных
Целостность	8	Для контроля целостности данных используются различные методы, например хеширование и криптографические подписи. Чтобы обезопасить данные от потери, необходимо регулярно выполнять резервное копирование
Доступность	9	Применение резервного копирования и механизмов восстановления после сбоев, позволяет гарантировать высокую доступность медицинских данных
Аудит	9	Для обеспечения детального аудита медицинских данных, хранящихся на машинных носителях, необходимо использовать методы журналирования событий и контроля доступа
Соблюдение законов и стандартов	9	Хотя машинные носители информации и подходят для хранения медицинских данных, их применение требует тщательной настройки, чтобы соответствовать строгим требованиям безопасности, установленным законами и стандартами в этой области

Продолжение таблицы 5

Измерение	Оценка	Описание
Управление ключами	9	Обеспечение безопасности ключей шифрования для машинных носителей информации представляет собой комплексную задачу. Необходимо гарантировать надежное хранение ключей и ограничить доступ к ним только авторизованными лицами
Противо-действие угрозам безопасности	9	Угрозы: вирусы, вредоносные программы, несанкционированный доступ, физические повреждения. Меры противодействия: шифрование, контроль доступа, резервное копирование, физическая безопасность
Обновления и доработки	10	Для обеспечения защиты информации на машинных носителях рекомендуется своевременно устанавливать обновления и доработки, выпущенные разработчиками. Обновления могут быть установлены сразу же
Защита от атак	9	Есть возможность реализовать комплекс мер, направленных на противодействие различным типам угроз, включая: перехват данных, инъекции, атаки на службы

Исследование влияния различных методов хранения данных на безопасность медицинской информации позволяет сделать выводы о применимости различных подходов в контексте обеспечения конфиденциальности, целостности и доступности данных. Рассмотрим каждый метод хранения информации: печатное, локальное и облачное.

Печатное хранение – наименее безопасный метод для хранения медицинских данных, поскольку такую информацию легко потерять или повредить, она уязвима к физическому воздействию и требует контроля доступа для защиты конфиденциальности.

Локальное хранение может быть подходящим решением для небольших медицинских учреждений, которым требуется полный контроль над своими данными, ввиду таких преимуществ как настройка максимально строгих мер безопасности, доступность – данные всегда доступны, даже при отсутствии интернет-соединения, производительность – локальные системы могут обеспечивать более высокую скорость обработки данных. Однако для крупных организаций, которым требуется высокая доступность, масштабируемость и оптимизация затрат, облачное хранение может быть более выгодным вариантом. Выбор метода хранения информации должен осуществляться с учетом следующих факторов:

1. Специфические требования к хранению медицинских данных, обусловленные их конфиденциальностью, ценностью и юридической значимостью.
2. Существующие регуляции, устанавливающие правила и ограничения на обработку и хранение медицинских данных.
3. Технические возможности и ресурсы, доступные для реализации выбранного метода хранения.
4. Уровень квалификации и компетенции специалистов, ответственных за администрирование и обслуживание системы хранения.

Рекомендуется провести всесторонний анализ вышеперечисленных факторов, прежде чем принимать решение о выборе метода хранения. При необходимости целесообразно привлечь к данному процессу экспертов в области информационной безопасности и юристов, специализирующихся на вопросах защиты персональных данных.

Список использованных источников

1. GoogleCloud. Официальный сайт. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cloud.google.com (дата обращения: 20.04.2024).
2. Логвинов Д.В., Савкин С.С. Возможности отечественной облачной инфраструктуры на примере сервиса Yandex Cloud // Актуальные проблемы науки и образования в условиях современных вызовов: Сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции, Москва, 15 августа 2022 года. – Москва: Печатный цех, 2022. – С. 23–25. – EDN DMKKOK.

3. Cloud.ru (ООО «Облачные технологии») – облачный провайдер IaaS/PaaS и Machine Learning сервисов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cloud.ru/ru (дата обращения: 20.04.2024).
4. Дергунов М.А. облачные сервисы // Аллея науки. – 2019. – Т. 1. – №. 9(36). – С. 670–674. – EDN CVEEOW.

УДК 004.048

ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ДАТАСЕТУ И ВЫБОР МОДЕЛИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ТРЕНИРОВОЧНОГО ПРОЦЕССА

***Макаров К.Д.*[1]** *(студент)*
***Научный руководитель – старший преподаватель Береснев А.Д.*[1]**

1 – Университет ИТМО

e-mail: kirillmcarov@gmail.com

В работе представлен этап формирования требований к датасету и выбор модели машинного обучения, целью которого являлась подготовка к созданию модуля приложения для контроля и планирования тренировочного процесса, отвечающего за определение потенциально травмоопасных ситуаций во время занятий с отягощениями, для чего были проанализированы причины получения травм, на основе которых были отобраны признаки для датасета, определены основные характеристики для датасета, а также проведен анализ и выбор наиболее подходящих моделей машинного обучения.

Ключевые слова
Машинное обучений, причины травматизации при занятиях с отягощением, формирование требований к датасету, тренировочный процесс, выбор модели машинного обучения.

За последние сто лет количество людей с избыточным весом значительно возросло, это в первую очередь связано с тем, что образ жизни современного человека сильно изменился – люди в наше время двигаются намного меньше, чем их предки, так как появляется все больше удаленных работ, кто-то переходит на доставку продуктов или готовой еды. Вызовы, с которыми сталкивается современное общество, тоже имеют свой вклад, так согласно исследованию платформы Ipsos Global Advisor – около трети населения мира набрало вес за время пандемии [1]. А малоподвижный образ жизни и избыточный вес тела немаловажные факторы при развитии большинства хронических заболеваний, к тому же COVID у таких людей по статистике протекает в более тяжелой форме. Вместе с этим, как это не странно, интерес к занятиям спортом тоже растет. Так, согласно исследованию ЕМИСС, доля граждан Российской Федерации, систематически занимающихся спортом, выросла с 45,4% в 2020 году до 51,5% в 2023 г. В основном, начинающие заниматься спортом отдают своё предпочтение одному из направлений: занятиям дома/на улице с собственным весом и занятиям с дополнительными утяжелениями в тренажерном зале. Оба варианта являются достаточно бюджетными, первый способ более прост в реализации, когда второй более вариативен, за что придется доплатить. Важно помнить, что занятия с дополнительными весами подразумевают повышенную травмоопасность особенно среди новичков: если в профессиональной среде травматизм в видах спорта, связанных с поднятием отягощений: ниже игровых видах спорта и единоборствах [2]: бодибиллдинг: 1 травма на тысячу часов, стронгмен: 5 травм на тысячу часов, регби: 6.1 травма на тысячу часов, то среди начинающих посетителей фитнес центров примерно каждый 10 получает травму разного типа тяжести в первый месяц занятий в тренажерном зале. Также велик риск получить перетренированность: «за время карьеры от 30 до 65% спортсменов как минимум один раз проходили через ПТ». Для того, чтобы помочь начинающему атлету и предупредить возможные травмы было принято решение выбрать модель машинного обучения для анализа тренировочного процесса с целью выявления потенциально опасных моментов и сформировать требования к датасету для обучения модели.

При формировании требований к датасету были рассмотрены исследования и систематические обзоры, посвященные выявлению причин возникновения травм при занятиях спортом. Во время выявления основных причин возникновения травм были проанализированы статьи, посвященные различным видам спорта с дополнительным отягощением (кроссфит,

бодибилдинг, тяжелая атлетика и так далее) [3]. В результате было принято разделить причины возникновения травм на две условные группы: внешние и внутренние.

Внешние – травмы, причина которых в окружении атлета: неподходящий или испорченный спортивный инвентарь, экстремальные погодные условия, несоответствия необходимому температурному режиму для функционирования организма и так далее. Несмотря на их глобальность, внешние причины травм не будут учитываться, так как в меньшей степени поддаются структуризации, а еще большая их часть является очевидной для каждого, прошедшего инструктаж по безопасности в тренажерном зале.

Внутренние – травмы, зависящие в первую очередь от состояния и поведения спортсмена, к ним относят:

- наличие активности для подготовки мышц и связок к началу и окончанию нагрузки (разминка и заминка);
- общее состояние организма: ИМТ, пол, возраст, антропометрические данные, хронические и острые заболевания, ментальное состояние организма;
- техника выполнения упражнения;
- объем нагрузок в рамках подхода/упражнения/тренировки.

Исследователи заметили некоторую разницу в статистике получения травм у людей разных полов, возраста, антропометрических данных и ИМТ. Так, у женщин, занимающихся пауэрлифтингом, средняя травматизация: 1,3 травма в год, тогда как у мужчин 2,1 травмы в год, а у спортсменов-тяжеловесов (более 105 кг) риск травмироваться выше, чем у спортсменов из более легкой весовой категории: 0,5 травмы в год против 0,3, соответственно. Но все же отмечается, что в настоящий момент до конца не изучены причины этих различий, а также отмечается, что механизм травматизации несмотря на разницу в статистике, схож для всех спортсменов.

Помимо прямых причин, на увеличение риска травматизации может влиять наличие перетренированности у атлета. Перетренированность – более глобальное состояние, которое возникает при постоянном нарушении принципов адекватного тренинга.

К основным причинам возникновения относят [4]:

- недостаточное восстановление: хронический недосып, небольшое количество дней отдыха между тренировками, недостаточное количество энергии, получаемое из пищи;
- большое количество работы на максимум – большая часть тренировок происходит в отказном или околоотказном стиле;
- высокообъемный тренинг: большое количество повторений/подходов/упражнений, экстремальные веса, недостаточный отдых между подходами/ упражнениями;
- психологическое состояние организма: стресс, выгорание.

При отсутствии своевременной работы с данными причинами спортсмен может получить синдром перетренированности. На основе причин возникновения травм и перетренированности были отобраны признаки для датасета, часть описанных выше причин и симптомов были опущены или упрощены по следующим причинам:

- несмотря на то, что антропометрические данные, ИМТ и пол влияют на статистику получения травм, данные показатели не являются ключевыми и не описывают сами причины возникновения травм;
- попытка учитывать имеющиеся заболевания атлета – значительно увеличит гетерогенность данных и может серьезно усложнить процесс обучения модели, поэтому при сборе данных будет уточняться только наличие спортивных травм и перетренированности;
- датасет будет формироваться пользователями приложения, а в настоящий момент не определен точный механизм проверки техники выполнения упражнения (когда он будет добавлен – датасет будет пересобран), поэтому сейчас признак, отвечающий за технику выполнения упражнения, будет опущен;
- также в настоящий момент приложение не подразумевает ведение дневника питания, поэтому количество энергии, получаемо из пищи тоже не будет учитываться;

– при отсутствии возможности замера продолжительности сна – данный показатель будет вводиться пользователями приложения вручную.

В результате анализа, в итоговый датасет были отобраны следующие признаки:

1. Наличие предтренировочной активности – разминки (качественный признак: да/нет).
2. Наличие послетренировочной активности – заминки (качественный признак: да/нет).
3. Возраст (количественный признак: число полных лет).
4. Вес (количественный признак: количество килограмм) несмотря на то, что было принято решение не учитывать данные антропометрии – вес атлета играет важную роль в определении предельных нагрузок.
5. Объем нагрузки за тренировку (количественный признак: килограмм/час).
6. Количество отказных-околоотказных подходов (количественный признак: количество подходов за тренировку).
7. Средний отдых между подходами за тренировку (количественный признак: секунды).
8. Средний перерыв между тренировками за неделю (количественный признак: дни).
9. Продолжительность сна (количественный признак: часы).
10. Психологическое состояние (качественный признак: субъективно оценить по шкале, где:

– всё очень плохо (нет душевных сил что-либо делать, кажется, что мир скоро исчезнет);
– плохо (плохое, подавленное состояние, непонятная грусть или агрессия);
– нормально (нейтральное состояние, при котором нет сильных перепадов в ту или иную сторону);
– хорошо (приподнятое настроение духа);
– лучше всех (человек чувствует свой максимальный подъем духовных сил).

11. Наличие у атлета травм в прошлом (качественный признак: да/нет (1/0)).
12. Наличие у атлета перетренированности в прошлом (качественный признак да/нет (1/0)).
13. Активная травма (качественный признак: да/нет (1/0)) – произошла ли травма перед записью.
14. Идентификатор пользователя (группировочный признак).

Датасет будет собираться самостоятельно из статистики пользователей приложения, что позволяет гарантировать его заполненность согласно признакам, определенным ранее. По мимо этого, выделен ряд требований, предъявляемых к датасету:

– репрезентативность;
– сбалансированность классов;
– данные должны быть нормализованы.

Учитывая специфику сбора датасета, – возможна небольшая выборка, поэтому принято решение ограничиться 2500 записями для первого обучения модели.

Перед выбором модели машинного обучения был выбран тип обучения, рассматривались: обучение с учителем, обучение без учителя, обучение с частичным привлечением учителя и обучение с подкреплением.

Обучение с учителем – подход в машинном обучении, при котором из данных выделяется специальный обучающий набор, где каждый пример в данном наборе имеет метку, представляющую целевой выход. В процессе обучения параметры модели настраиваются таким образом, чтобы минимизировать различие между предсказываемыми значениями и значениями целевого выхода. Обучение с учителем подходит в ситуациях, когда имеется размеченный обучающий набор данных, его можно использовать для методов:

– линейная регрессия;
– логистическая регрессия;
– метод опорных векторов;
– дерево решений и случайный лес;
– нейронные сети.

Однако, обучение с учителем не подходит в ситуациях, когда размеченные данные отсутствуют или разметить их, не представляется возможным в силу дороговизны или слишком большого объема данных, также лучше не использовать обучение с учителем, если в будущем, во время реальной работы не будет возможности предоставить данные такого же типа, как в тренировочном наборе.

Обучение без учителя – подход в машинном обучении, в котором модель обучается на неразмеченных данных (данных без целевого выхода). Обучение без учителя используется для выявления закономерностей, паттернов и групп в данных. Данный подход используется для следующих задач:

- кластеризация данных;
- снижение размерности;
- выявление аномалий;
- нахождение ассоциаций;
- создание генеративных моделей.

Недостатки обучения без учителя: в момент обучения могут произойти ошибки, в результате чего будут выделены не те блоки данных, обнаружить несуществующие связи, отсутствие явных меток может привести к трудности оценки качества обучения, необходимость большого объема данных, который значительно увеличит время обучение, а его отсутствие может повлечь за собой недообучение.

Обучение с частичным привлечением учителя – подход в машинном обучении, представляющий слияние подходов обучения с учителем и без учителя. Данные для обучения могут содержат как размеченные с меткой целевого выхода, так и без него. Обучение с частичным привлечением учителя используется в ситуациях, когда совсем без разметки невозможно провести машинное обучение, но нет возможности получить большое количество данных. Размеченные данные используются для корректирования параметров модели, когда неразмеченные данные используются для обобщения и выявления общих паттернов в данных. Методы, используемы при обучении с частичным привлечением учителя:

- совместное обучение;
- самообучение;
- передача обучения.

Обучение с частичным привлечением учителя обладает недостатками: трудность в выборе эффективного метода машинного обучения, подходящего для конкретной задачи, чувствительность к ошибкам в разметке, риск переобучения на размеченных данных, трудности при оценке качества модели, зависимость от сбалансированности размеченных и неразмеченных данных.

Обучение с подкреплением – подход в машинном обучении, при котором искусственный интеллект обучается выполнять определённую задачу с четким результатом. В отличие от предыдущих подходов, обучение с подкреплением не использует исторические данные, а обучается во время взаимодействия с окружающей средой. При обучении с подкреплением есть несколько компонентов, участвующих в обучении:

- агент – сущность, принимающая решения в среде;
- среда – окружение, в рамках которого агент принимает решения, среда предоставляет отклик в виде награды или штрафа, в зависимости от действий, совершенных агентом;
- действие – один из тех вариантов, который может выбрать агент для взаимодействия со средой;
- награда – оценка привлекательности того или иного действия, агент стремится выбирать действие, влекущие за собой максимальную итоговую награду;
- стратегия, приписывающая состояниям окружающей среды действия, одно из которых может выбрать агент в этих состояниях – правила, которые определяют механизм, согласно которому агент выбирает то или иное действие в зависимости от состояния среды.

Методы, используемые при обучении с подкреплением:

- Q-обучение;
- метод градиента политики;
- метод актор-критик.

Обучение с подкреплением используется для:

- обучение машин механической манипуляции;
- управление автотранспортом;
- обучение искусственного интеллекта для компьютерных игр.

К основным недостаткам обучения с подкреплением можно отнести: большие затраты времени на обучение, требуется большое множество реальных примеров во время обучения для полноты обучения, проблема передачи знаний и другие.

В результате оценки подходов машинного обучения, а также учитывая, что данные для датасета будут собираться у пользователей приложения для контроля и планирования тренировочного процесса, и датасет предполагает обязательное наличие целевого выхода: «произошла ли травма», было принято решение выбрать обучение с учителем, как наиболее походящий подход для поставленных целей. При обучении с учителем чаще всего используются следующие методы:

- линейная регрессия;
- логистическая регрессия;
- метод k-ближайших значений;
- метод опорных векторов;
- дерево решений и случайный лес;
- градиентный бустинг;
- нейронные сети;
- наивный Байесовский классификатор.

Учитывая, что целевой переменной по требованиям к датасету будет являться признак: «произошла ли травма», с двумя возможными значениями: да/нет, можно сделать вывод о том, что в рамках машинного обучения будет решаться задача классификации, поэтому необходимо сделать выбор методов обучения, предназначенных для классификации.

Логистическая регрессия не подойдет, так как некоторые признаки датасета подразумевают нелинейную зависимость (пример: средний промежуток между тренировками, количество сна и так далее). Также наивный Байесовский классификатор не подходит по причине того, что для его применение строится на предположении о независимости признаков, что ложно для поставленной задачи.

Метод опорных векторов (SVM) – метод машинного обучения, использующийся для задач классификации и регрессии. Основная суть метода заключается в поиски оптимальной разделяющей гиперплоскости (при классификации). Гиперплоскость выбирается из расчета на то, чтобы максимизировать зазор (расстояние) между ближайшими к ней объектами разных (двух) классов, которые и называются опорными векторами. Главной целью SVM-классификатора является поиск уравнения разделяющей гиперплоскости в пространстве R_n. Во время обучения настройка весов происходит таким образом, чтобы объекты классов лежали как можно дальше от разделяющей плоскости.

SVM чувствителен к шуму и выбросам в данных, также может наблюдаться неэффективность и сильная потребность в ресурсах при большом объеме данных. В целом SVM является хорошим инструментом для решения задач классификации, особенно в случаях работы с нелинейными данными.

Метод k-ближайших соседей – относится к метрическим методам машинного обучения, суть которых заключается в отсутствии как таковой явной фазы обучения, вместо нее происходит запоминание обучающей выборки, а на этапе предсказания определяются объекты, похожие на целевой, тем самым происходит процесс, называемый «ленивое обучение». На фазе

классификации алгоритм получает объект (a, X), где a – объект, а X – набор признаков, после чего происходит вычисление евклидового расстояния между целевым объектом и каждым обучающим примером (X_i, c_j), где c_j – метка класса, после чего происходит сортировка и искомому объекту назначается класс, первых k ближайших объектов до него. Параметр k значительно влияет на эффективность работы алгоритма, при его выборе необходимо учитывать характер данных. Небольшие значения k приведут к более гибким моделям, но в то же время станут более подверженным к шумам, в то время как большие значения k сделают модель более устойчивой, но менее чувствительной к локальным изменениям. В итоге метод k-ближайших значений – является довольно простым и понятным методом машинного обучения, который хорошо справляется с данными небольшого объема и эффективен в задачах со сложными и нелинейными разделяющими границами. К недостаткам данного метода можно отнести: при росте данных значительно ухудшается производительность, так как необходимо каждый раз вычислять расстояния между элементами, риск возникновения «проклятия размерности», при котором количество признаков слишком велико и данных недостаточно для обеспечения равномерного покрытия пространства.

Дерево решений – метод машинного обучения, использующийся для решения задач классификации и регрессии. Суть метода заключается в том, чтобы построить бинарное дерево, каждый внутренний узел которого – условие на признаках, а лист – конечный результат работы алгоритма, в рамках задачи классификации лист представляет принадлежность к конкретному классу.

При построении дерева решений используется алгоритм:

1. Выбор признака для разделения выборки.
2. Выбор порогового значения признака.
3. Разделение выборки на две части (меньше или равно пороговому значению и больше порогового значения).
4. Для каждой итоговой выборки рекурсивно повторяются пункты 1–3 до достижения критерия останова.
5. В листе дерева выводится ответ – целевое значение – класс, к которому будет, отнесет объект.

К преимуществам дерева решений относятся: автоматически отбор признаков (в процессе обучения будут выбраны информативные и отсеются неинформативные признаки), интерпретируемость, управляемость (при необходимости можно переобучить конкретные вершины дерева). К недостаткам можно отнести: сильную зависимость от сбалансированности числа обучающих примеров разных классов (при обучении уделяется повышенное внимание тем классам, которые обладают большим количеством обучающих примеров, из-за чего классы с малым количеством обучающих примеров могут быть проигнорированы), для предотвращения переобучения необходимо использовать дополнительные специальные методы, возможно явления разбалансировки, а также экспоненциальное уменьшение обучающей выборки (при обучении каждого узла – выборка делится на два подмножества, что приводит к резкому уменьшению обучающего множества и увеличению вероятности переобучения, в следствии чего необходима начальная выборка значительных размеров).

Нейронная сеть – модель машинного обучения, построенная по принципу биологических нейронных сетей живых организмов, аналогично состоящая из нейронов, соединенных синапсами и использующая архитектуру, способствующую обучению на основе данных, где:

- нейрон – вычислительная единица, получает информацию, обрабатывает её и передаёт результат следующему слою или на выход из сети. Нейроны бывают: входные, скрытые, выходные, смещения и контекстные;
- слой – объединение нескольких однотипных нейронов: входной слой, скрытые слои и выходной слой;
- синапс – связь между нейронами, обладает параметром – вес, информация, передающаяся по связи с наибольшем весом, доминирует в принимающем нейроне;

- архитектура сети – представляет количество слоев, количество нейронов в каждом слое и типы функций активации;
- функция активации – функция, которая определяет выход нейрона в ответ на взвешенную сумму его входов, придает нелинейность модели.

К преимуществам нейронных сетей относят: возможность моделирования сложных нелинейных зависимостей в данных, автоматическое извлечение признаков, возможность обучения на больших наборах данных. К недостаткам можно отнести: сложность настройки, требования значительных ресурсов, необходим огромный набор данных, высокие риски переобучения, длительное время обучения.

Проанализировав изложенные выше методы машинного обучения, а также сформированные требования к датасету и учитывая специфику его сбора (после публикации приложения, при использовании приложения пользователями системы), были сделаны выводы, о том, что методы дерева решений и нейронных сетей не подходят, так как нет гарантии того, что будет собран датасет необходимого для них размера. Также предполагая, что записей о полученных травмах в результате тренировок будет значительно меньше, чем записей без травм, что скорее всего приведет к плохой сбалансированности числа обучающих примеров разных классов, было принято не использовать дерево решений.

В результате был выбран метод опорных векторов, как наиболее подходящий для анализа тренировочного процесса на предмет возникновения травм. При использовании данного метода существует риск попадания некоторых объектов для классификации в гиперплоскость, в результате чего они не будут классифицированы или будут классифицированы ошибочно, поэтому было принято решения для определения таких пограничных случаев использовать метод k-ближайших соседей [5].

В ходе данной работы был поведен анализ предметной области, описана актуальность проблемы, которая будет решена при помощи машинного обучения, отобраны признаки и составлены требования к датасету, выбраны в качестве моделей машинного обучения: метод опорных и метод k-ближайших соседей.

Список использованных источников:

1. Ipsos Global Advisor The implications of COVID-19 on our diet & health – 20.01.2021. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ipsos.com/en/covid-diet-and-health (дата обращения: 15.09.2023).
2. Keogh J.W.L., Winwood P.W. The Epidemiology of Injuries Across the Weight-Training Sports // Sports Med. – 2017. – №. 47(3). – Pp. 479–501.
3. Butragueño J., Benito P.J., Maffulli N. INJURIES IN STRENGTH TRAINING: REVIEW AND PRACTICAL APPLICATION // European Journal of Human Movement. – 2014. – Pp. 29–47.
4. Adam Tzur Overtraining: a Guide to Prevention and Recovery. – 2023. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sci-fit.net/overtraining-underperformance/ (дата обращения: 11.03.2024).
5. Демидова Л.А., Соколова Ю.С. Классификация данных на основе SVM-алгоритма и алгоритма k-ближайших соседей // Вестник РГРТУ. – 2017. – №. 62. – С.119–129.

УДК 004.514

АРХИТЕКТУРА И ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ИГРОВОГО ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО СИМУЛЯТОРА

Марков П.Д.[1] *(студент),* ***Перл И.А.***[1]
Научный руководитель – к.т.н., доцент Перл И.А.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: pdf.markov@gmail.com

Доклад посвящен анализу и разработке модели данных для градостроительного симулятора World Dynamics, основанного на принципах системной динамики. Освещаются методы минимизации объема хранимых данных без ущерба для детализации и реализма моделируемых городских процессов, а также представлены результаты тестирования модели на облачной платформе. В докладе подчеркивается значимость инновационных подходов в разработке градостроительных симуляторов для повышения их эффективности и реалистичности.

Ключевые слова
Системная динамика, модульная архитектура, градостроительный симулятор, оптимизация данных, облачные платформы, интерактивное моделирование, управление городской инфраструктурой.

В современном мире, где городское планирование и управление городской инфраструктурой играют ключевую роль в устойчивом развитии городов [1], возникает потребность в разработке инструментов, способных моделировать сложные городские системы с высокой степенью точности и гибкости. Игры — это эффективный способ предоставить игрокам моделируемую среду и, таким образом, являются выгодным средством визуализации [2]. Проект World Dynamics, реализуемый лабораторией COSM университета ИТМО, представляет собой передовой градостроительный симулятор, использующий методы системной динамики для создания подробных и реалистичных моделей городских процессов. Уникальность проекта заключается в его модульной архитектуре, которая позволяет разрабатывать и тестировать системно-динамические модели в облаке (sdCloud), обеспечивая при этом гибкость в разработке графического интерфейса для браузеров и мобильных приложений.

Цель проекта заключается в минимизации объема хранимых данных на игровом движке, что требует тщательного анализа существующих подходов к хранению и обработке игровых данных в градостроительных симуляторах. Основная задача состоит в разработке оптимизированной модели игровых данных, которая позволит эффективно визуализировать и симулировать сложные городские процессы, при этом снижая нагрузку на игровой движок и улучшая пользовательский опыт. Это необходимо, так как сложные динамические системы, такие как социальные и экономические системы, имеют большое количество сетей обратной связи и сильные взаимодействия между параметрами системы, что приводит к периодам неожиданного случайного поведения [3].

В ходе предварительного анализа были выделены несколько основных категорий моделей данных, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки в контексте градостроительного моделирования. Изучение и сравнение этих подходов позволило сформулировать требования к разрабатываемой модели и определить наиболее подходящие технологии и методы для ее реализации.

Основой для разработки проекта послужил анализ существующих градостроительных симуляторов и методов хранения игровых данных. Выделение четырех основных категорий моделей данных позволило определить ключевые направления для дальнейшей оптимизации:

- модель списка зданий ограничивается простым перечнем объектов без учета их взаимосвязей и взаимодействия с окружающей средой;
- модель карты зданий вводит понятие пространственной организации, но также не учитывает динамические элементы и экологические факторы;
- модель с динамическими элементами расширяет возможности предыдущих подходов, включая в себя перемещение людей, транспортных средств и других объектов, что приближает модель к реальности;
- модель, учитывающая экологические факторы, добавляет сложность в визуализацию и обработку данных, но обеспечивает наиболее полное представление о системной динамике города.

Выбор в пользу модели с динамическими элементами был обусловлен стремлением к максимальной реалистичности при сохранении баланса между детализацией и производительностью системы.

На основе проведенного анализа была разработана модель (рис. 1), центральным элементом которой стали здания, функционирующие как контейнеры для различных компонентов. Глобальные свойства зданий, такие как имя, размер, сборный дом и тип доступа, хранятся в ScriptableObject [4] под названием BuildingInfo. Это нужно, чтобы предоставить зданиям, в которых появляются обходчики, предпочтительную точку выхода, чтобы избежать сценариев, когда обходчики появляются неправильно из-за добавления дороги и других объектов рядом с ними. Система, глубоко встроенная в здания, — это возможность их замены. Это можно использовать для изменения внешнего вида и поведения здания, заменив его другим объектом. Это полезно для улучшения типов зданий.

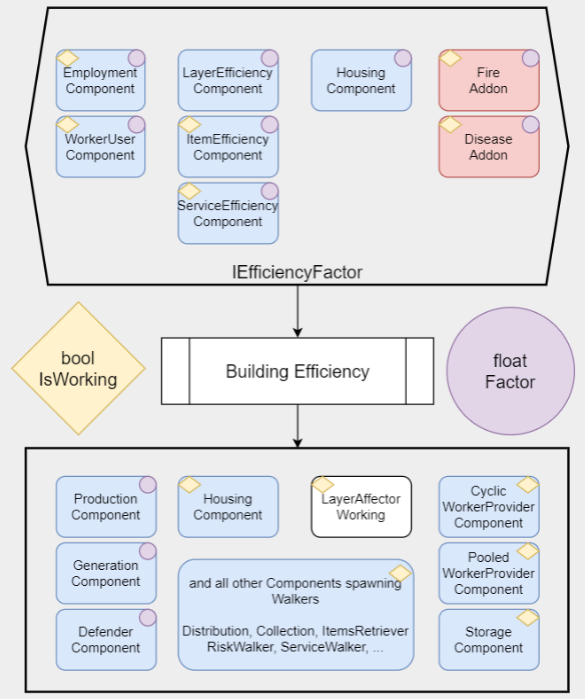


Рис. 1. Модель данных здания и процессов, протекающих в нём

На рисунке 1 представлен принцип работы со зданием. Всё, что взаимодействует со зданием или одной из его частей, не должно напрямую ссылаться на него. Вместо этого можно использовать BuildingReference, который обновляет свою ссылку при замене здания. Различные части здания могут взаимодействовать либо напрямую, либо через эффективность здания. Например, фермы выращивают пшеницу быстрее из-за плодородия земли или складов, не принимающих товары без достаточного количества рабочих. Эффективность выражается через два значения. IsWorking предназначен для указания того, работает ли здание в целом или каким-то образом нарушено. Эффективность показывает, насколько хорошо работает здание от 0 до 1.

Система обходчиков была разработана для моделирования перемещений и взаимодействий между элементами инфраструктуры, включая людей, транспорт и ресурсы. Разнообразие способов перемещения (дороги, препятствия, картографические методы) позволяет достичь высокого уровня динамики и взаимодействия в моделировании городских процессов, что помогает реалистично показывать поведения населения в совершенно разных ситуациях [5]. Например, работники склада перемещают предметы, охотники собирают мясо, архитекторы осматривают здания. Важным полем компонента обходчика является Pivot. Pivot — это преобразование в центре и корне обходчика. Он используется для трансформации и вращения компонента. Способы перемещения по миру могут быть совершенно разные и представлены на рисунке 2:

1. Дорога. Простой поиск пути A* внутри дорожной сети на карте. (поиск по первому лучшему совпадению на графе, который находит маршрут с наименьшей стоимостью от начальной вершины до конечной). Обычно используется для всех видов пешеходов, например, перевозчики, доставляющие товары, рабочие, идущие к памятнику.
2. Дорога с препятствиями. То же, что и «Дорога», но точки с блокировщиками дороги удаляются. Обычно используется для всех видов бродячих обходчиков, например, водовоз, поливающий сады и парки.
3. Карта. Этот поиск пути использует Unity NavMesh. Работает по принципу, что есть игровой объект под названием Navigation, который используется исключительно для создания NavMesh. Чтобы изменить NavMesh, выполните следующие действия. Такой подход нужен, когда территория имеет природные объекты, не привязанные к карте, но имеют внешние ограничения, такие как леса и горы. Например, любители походов возвращаются домой, или охотники исследуют местность.
4. Последний способ представляет собой объединение RoadBlocked и карты. Простой поиск пути A* для всех незанятых точек на карте. Возможно только для маленьких карт, на больших картах вместо этого используйте поиск пути по карте.

С целью минимизации объема хранимых данных и повышения эффективности работы игрового движка, были приняты меры по оптимизации разработанной модели. Одним из ключевых решений стало разделение данных на статические (неизменные атрибуты объектов и зданий) и динамические (параметры, подверженные изменениям в реальном времени). Это позволило существенно снизить нагрузку на систему за счет уменьшения количества обрабатываемой информации.

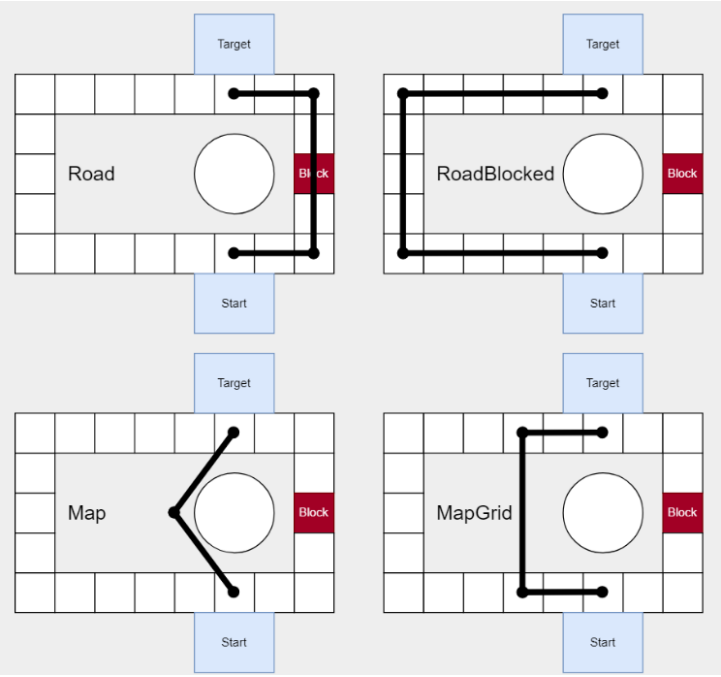


Рис. 2. Способы передвижения обходчиков

Для проверки работоспособности и эффективности модели были проведены испытания на облачной платформе, которая обеспечивает гибкое масштабирование и доступ к вычислительным ресурсам. Тестирование показало, что благодаря оптимизации модели данные могут эффективно обрабатываться и визуализироваться без значительных задержек или потери качества, что подтверждает возможность ее использования в качестве основы для разработки градостроительного симулятора нового поколения.

Разработка проекта World Dynamics демонстрирует важность комплексного подхода к созданию градостроительных симуляторов, включающего анализ существующих моделей данных, их оптимизацию и адаптацию к современным требованиям и возможностям.

Проект подчеркивает значимость технологических инноваций в области градостроительства и предоставляет мощный инструмент для исследователей и разработчиков, стремящихся к созданию более эффективных и реалистичных моделей городских процессов. Результаты работы над World Dynamics могут быть использованы в дальнейших исследованиях и разработках, направленных на улучшение качества градостроительного планирования и управления городской инфраструктурой.

Список использованных источников

1. Итс Т.А., Сурина А.В. Управление устойчивым развитием мегаполиса методами системной динамики // Системный анализ в проектировании и управлении. – 2023. – Т. 26. – №. 1. – С. 166–173.
2. Laksono D., Aditya T. Utilizing a game engine for interactive 3D topographic data visualization //ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2019. – Т. 8. – №. 8. – С. 361.
3. Горохов А.В., Иванов К.И. Системный подход в исследовании социально-экономических систем // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Экономика и управление. – 2013. – №. 2. – С. 24–34.
4. Vu Dinh Pham D. Game architectures in Unity projects. – 2020. – 45 p.
5. Aditya T., Laksono D. Geogame on the peat: Designing effective gameplay in geogames app for haze mitigation //The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2018. – Т. 42. – Pp. 5-10.

УДК 004.58

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ПОСТРОЕНИЮ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ФОРМИРОВАНИЯ РЕКОМЕНДАЦИЙ МАЙНИНГА ЦИФРОВОЙ ВАЛЮТЫ

Рыбкин Я.С.[1] *(студент),* ***Осипов Н.А.***[1]
Научный руководитель – к.т.н., доцент Осипов Н.А.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: ynchprod@gmail.com

В работе рассмотрены подходы портфельной оптимизации в контексте рекомендаций майнинга цифровых валют по спрогнозированной доходности с целью создания рекомендательной системы, что обосновано быстрым развитием майнинга и появлением новых монет на рынке.

Ключевые слова
Рекомендательная система, цифровая валюта, майнинг, прогноз, оптимизация.

В последнее время интерес к цифровым валютам, таким как биткоин (BTC) и другим, значительно вырос, что привело к активному развитию майнинга – инфраструктурного блока, отвечающего за создание новых единиц цифровых валют и поддержку работы блокчейн-системы.

Появление новых монет и увеличение конкуренции [1] в майнинге требуют новых подходов и технологий для повышения эффективности процесса. Разнообразие цифровых валют и изменчивость рынка делают важной разработку систем, способных учитывать множество факторов при принятии решений о майнинге конкретной валюты. Рекомендательная система может быть эффективным инструментом для улучшения процесса майнинга.

Критерии для формирования рекомендаций могут включать:

C – стоимость монеты (доллар США);
V – объем торгов монеты (1 ед./ед. времени);
D – сложность сети (хэшрейт);
H – общая мощность сети (хэшрейт/с);
P – доходность (доллар США/ед. мощности).

Исследуемые критерии представляют собой временные ряды, поэтому задача формирования рекомендаций значительно упрощается. При исследовании временных рядов появляется возможность использовать исторические данные для прогнозирования тенденций.

При анализе обнаружена высокая корреляционная связь между некоторыми критериями, например, между сложностью и общей мощностью BTC коэффициент Пирсона равен 0.97, что указывает на мультиколлинеарность. Для более точного анализа необходимо исключить критерий сложности.

Эти критерии не позволяют создать уникальный профиль пользователя. Кроме того, в контексте цифровых валют и блокчейна вопросы рекомендаций должны учитывать конфиденциальность [2]. Такую задачу можно решить с помощью не персонализированной универсальной рекомендательной системы, используемой в качестве советчика. Универсальная рекомендательная система включает в себя прогностическую модель, использующую исторические данные для прогнозирования доходности, и модуль оптимизации, направленный на поиск оптимальных по доходности монет. Структура системы показана на рисунке.

Прогнозная модель в данной работе основана на использовании рекуррентной нейронной сети (RNN) с архитектурой долговременной и кратковременной памятью (Long Short-Term Memory).

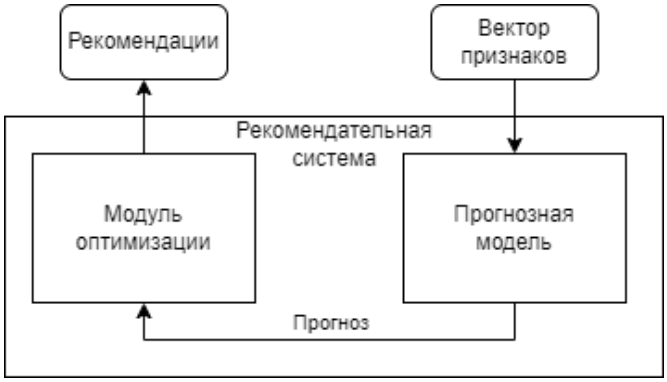


Рисунок. Общая структура универсальной рекомендательной системы

Эта архитектура хорошо подходит для анализа временных рядов [3], так как:
- способна запоминать долгосрочные зависимости;
- устойчива к проблемам затухающего либо взрывного градиента;
- подходит для анализа многомерных данных.

Классический вариант этой архитектуры представляет собой ячейку, содержащую несколько фильтров-вентилей:

$$f_t = \sigma_g(W_f x_t + U_f h_{t-1} + b_f),$$
$$i_t = \sigma_g(W_i x_t + U_i h_{t-1} + b_i),$$
$$o_t = \sigma_g(W_o x_t + U_o h_{t-1} + b_o),$$

где f_t – вектор вентиля забывания, i_t – вектор входного вентиля и o_t – вектор выходного вентиля; x_t – входной вектор, W, U и b – матрицы параметров и вектор (веса), σ_g – функция активации. Ключевым компонентом является состояние ячейки:

$$c_t = f_t \circ c_{t-1} + i_t \circ \sigma_c(W_c x_t + U_c h_{t-1} + b_c),$$
$$h_t = o_t \circ \sigma_h(c_t),$$

где c_t – вектор состояний а h_t – выходной вектор; $\circ$ – произведение Адамара.

Для данной работы нейросеть была обучена со следующими гиперпараметрами (табл. 1):

Таблица 1

Гиперпараметры нейросети

Параметр	**Значение**
Архитектура	RNN LSTM
Количество эпох	40
Метрика	MAE
Оптимизатор	Adam
Кросс-валидация	k-fold

Модуль оптимизации является ключевой сущностью в рассматриваемой системе. Он осуществляет поиск оптимальных по доходности монет на основе прогнозов, полученных от нейросети путем решения обратной задачи оптимизации. Главное условие задачи – наименьшая волатильность. Для ее оценки можно использовать среднеквадратическое отклонение (СКО) цены. Например, для BTC за год оно равно:

$$\sigma_{BTC} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \underline{x}\right)^2} = 0{,}206, \quad (1)$$

где n – количество наблюдений, x_i – цена в i день и $\underline{x}$ – среднее значение цены.

Стоит учитывать, что из-за высокой разности цен, исследуемая цена должна быть приведена к диапазону [0;1] с помощью минимаксной нормализации.

Коэффициент Шарпа является мерой доходности актива, скорректированной по риску, и может быть применен для формирования рекомендаций майнинга цифровых валют. Однако для его использования необходимо наличие безрискового актива:

$$S = \frac{E[R-R_f]}{\sigma}, \quad (2)$$

где R – доходность актива, R_f – доходность безрискового актива, σ – СКО доходности.

В случаях, когда такой актив отсутствует, эффективным методом может быть использование так называемой "жадной доходности", которая представляет собой отношение доходности монеты к уровню риска. В качестве риска будет использоваться СКО (1) цены монеты. Таким образом, предложим целевую функцию:

$$S(i) = \frac{\omega_i P_i}{\sigma_i}, \quad (3)$$
$$S(i) \to max,$$

здесь ω_i – вес i-ой монеты в портфеле рекомендаций, а P_i – доходность i-ой монеты. При следующих ограничениях:

$$\sum_{i=1}^{n} \omega_i = 1,$$
$$\sigma \leq 0{,}2.$$

Задача формирования рекомендаций сводится к портфельной оптимизации. Для максимизации функции (3) необходимо определиться с выбором подхода. С учетом результатов работ [4, 5], рассмотрим наиболее популярные подходы оптимизации финансового портфеля в контексте майнинга цифровых валют:

- Модель Марковица;
- Модель Блэка-Литтермана;
- Нечетко-множественный метод оптимизации портфеля.

Теория Марковица использует границу эффективности портфеля для определения оптимальных комбинаций активов с различной доходностью и риском. Она помогает инвесторам выбрать наилучший портфель на основе их предпочтений по уровню риска и доходности. Таким образом, задача минимизации риска при нижней границе на доходность имеет вид системы:

$$\sigma_i \to min, P_i \geq P_{req}, \sum_{i=1}^{n} \omega_i = 1, \omega_i \geq 0, i \in \{1, \dots, n\}. \quad (4)$$

Задача максимизации доходности при верхней границе на риск имеет вид системы:

$$P_i \to max, \sigma_i \geq \sigma_{req}, \sum_{i=1}^{n} \omega_i = 1, \omega_i \geq 0, i \in \{1, \dots, n\}. \quad (5)$$

Теперь рассмотрим решение задачи моделью Блэка-Литтермана. Она представляет собой комбинацию CAPM Шарпа, задачи обратной оптимизации Шарпа (3) и модели Марковица (4), (5). Для ее расчета необходима ожидаемая абсолютная доходность рынка $E[R]$:

$$E[R] = [(\tau\Sigma)^{-1} + P^T\Omega^{-1}P]^{-1}[(\tau\Sigma)^{-1}\Pi + P^T\Omega^{-1}Q], \quad (6)$$

где τ – масштабирующий фактор, Σ – ковариационная матрица доходности, P – матрица прогнозов инвестора, Ω – диагональная ковариационная матрица стандартных ошибок, Π – вектор равновесной доходности, Q – прогнозный вектор.

После расчета ожидаемой абсолютной доходности рынка (6), полученные данные подставляются в коэффициент Шарпа (2) для оптимизации.

Наконец, рассмотрим решение задачи нечетко-множественным методом. В нечеткой арифметике операции над числами вводятся через операции над функциями принадлежности. Так, для расчета нечеткого числа доходности (7) требуется минимальная и максимальная доходности – границы нечеткого числа, функция принадлежности которой имеет треугольный вид. Риск портфеля σ_i также представляется нечеткой функцией:

$$\hat{P}_i = \{P_{i,min}, P_i, P_{i,max}\}. \quad (7)$$

Рассчитав рекомендации цифровых валют каждым методом, проанализируем результаты расчетов в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение результатов расчета

Модель	Отношение доходности к риску				
	1	2	3	4	5
Модель Марковица	2.85412	2.32761	1.93948	1.78302	0.49875
Модель Блэка-Литтермана	2.37486	1.98843	1.53127	1.27698	0.75214
Нечетко-множественный метод	2.62251	2.47392	1.82876	0.96543	0.68624

Нумерация от 1 до 5 представляет собой первые пять самых популярных монет. Хотя данные похожи, структуры вероятностных и нечетких моделей кардинально отличаются. Модель Марковица сильно меняется при изменении входных прогнозов. Модель Блэка-Литтермана сильно зависит от случайных переменных. Общее сравнение подходов по достоинствам и недостаткам в таблице 3.

Таблица 3

Сравнение подходов

Подход	Достоинства	Недостатки
Модель Марковица	Проста в реализации; Требуется небольшая выборка	Высокая чувствительность к входным прогнозам; может рекомендовать всего несколько активов
Модель Блэка–Литтермана	Менее чувствительна к данным; Обладает случайными характеристиками; Учет специфических факторов	Предположение о независимости активов; требует большого объема данных
Нечетко-множественный метод	Учет неопределенностей; Учет корреляции активов	Сложность вычислений; требуется большой объем данных

Выбор подходящей модели прямо зависит от доступных данных. Несмотря на отсутствие персональных данных, система способна предоставлять полезные рекомендации по майнинговой стратегии. Коэффициент Шарпа, совместно с СКО цены валюты, применим для создания рекомендаций по портфелю цифровых валют. С учетом сильных корреляций между критериями упрощение прогностической модели до более простых и эффективных в анализе временных рядов алгоритмов может улучшить точность прогнозирования.

Список использованных источников

1. Altman E. et al. Blockchain competition between miners: a game theoretic perspective // Frontiers in Blockchain. – 2020. – Т. 2. – P. 26.
2. Voigt P., Von dem Bussche A. The eu general data protection regulation (gdpr) // A Practical Guide, 1st Ed., Cham: Springer International Publishing. – 2017. – Т. 10. – №. 3152676. – Pp. 10–5555.
3. Hewamalage H., Bergmeir C., Bandara K. Recurrent neural networks for time series forecasting: Current status and future directions // International Journal of Forecasting. – 2021. – Т. 37. – №. 1. – Pp. 388–427.
4. Таможников В.В. Использование модели Блэка-Литтермана для построения эффективного портфеля ценных бумаг // Via in tempore. История. Политология. – 2009. – Т. 9. – №. 1 (56). – С. 249–257.
5. Зайченко Ю.П., Есфандиярфард М. Анализ и сравнение результатов оптимизации инвестиционного портфеля при применении модели Марковица и нечетко-множественного метода // XIII-th International Conference KDS-2007. —SOFIA. – 2007. – Т. 1. – С. 278–286.

УДК 004.81

ОБЗОР МЕТОДОВ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ИЗУЧЕНИИ ИНОСТРАННЫХ ЯЗЫКОВ

Мазеин Н.О.*[1] *(студент)*, *Тихонова К.Е.*[1] *(студент)*, *Насыров Н.Ф.*[1] *(студент)
***Научный руководитель – к.т.н., доцент Федоров Д.А.*[1]**

1 – Университет ИТМО

e-mail: tikhonovaxenia@gmail.com

В современном мире использование искусственного интеллекта в образовании, особенно при изучении иностранных языков, становится все более распространенным. В данной работе рассматриваются методы применения интеллектуальных систем, таких как Рекомендательные системы, Large Language Models (LLMs), Automatic Speech Recognition (ASR) и кластеризация данных, с целью улучшения качества и персонализации обучения. Приведены примеры успешного использования этих подходов в приложениях, таких как Duolingo, ELSA и других. Работа подчеркивает важность интеграции интеллектуальных систем в образовательные практики для повышения мотивации и эффективности обучения иностранным языкам.

Ключевые слова
Искусственный интеллект, изучение иностранных языков, Intelligent Computer Assisted Language Learning, персонализация обучения, обработка естественного языка, Large Language Models, Automatic Speech Recognition, Speech To Text, рекомендательные системы.

Использование искусственного интеллекта в изучении иностранных языков с каждым годом становится всё более популярно. Термин **Intelligent Language Tutoring System (ILTS)** [1] начал свою историю еще в 1990-х годах, когда появились первые обучающие системы с использованием искусственного интеллекта, начиная с автоматической проверки домашнего задания ученика. Однако при изучении иностранного языка важно учитывать необходимость понимания контекста употребления слов – нужно не только знать значение слова, но и уметь употреблять его согласно ситуации, так как значение и часть речи одного и того же слова может меняться в зависимости от контекста [2]. Для того, чтобы учесть эти особенности и сделать преподавание иностранных языков с использованием искусственного интеллекта эффективным, в последнее время используются системы Intelligent Computer Assisted Language Learning (ICALL).

ICALL – сфера технологий, основанных на подходах Машинного обучения и Обработке естественного языка, позволяющая автоматизировать процессы, связанные с изучением иностранных языков. Интеграция подобных систем в процесс изучения иностранных языков способна индивидуализировать учебный трек, способствуя ускорению прогресса обучающегося [3]. Аспект автоматизации этих систем может быть использован для предоставления персонализированной обратной связи по выполнению заданий [4] и генерации учебных заданий и текстов, в том числе билингвистических, с учетом контекста. В данной работе рассматриваются технологии, применяющиеся в рамках ICALL, в целях улучшения качества изучения иностранных языков.

В настоящее время искусственный интеллект все сильнее влияет на образовательный процесс, в том числе – на изучение иностранных языков, благодаря чему обучение становится более персонализированным и повышает как мотивацию учащегося, так и эффективность обучения [5]. В данном обзоре мы рассмотрим несколько ключевых технологий с применением искусственного интеллекта, на которых базируются системы ICALL, с примерами из реального мира.

Рекомендательные системы – методы машинного обучения, которые предоставляют персонализированные рекомендации на основании анализа предыдущего опыта и

предпочтений учащегося. Таким образом, образование становится более релевантным за счет соответствия уровню учащегося и его нуждам. Рекомендательными системами пользуются несколько приложений для изучения языка, например, Duolingo создала свою модель **Birdbrain** [6], которая анализирует ошибки пользователя, совершенные им во время прохождения урока, и предугадывает оптимальный уровень сложности для следующего урока.

Large Language Models (LLMs) – модели искусственного интеллекта, которые спроектированы для обработки естественного языка и его генерации на основе обучения на больших объемах данных. LLM может выявлять закономерности в тексте и понимать структуру языка в целом, давать развернутые ответы и определять контекст. Среди приложений для изучения языка Duolingo недавно представила новый вариант подписки – **Duolingo Max,** основанный на GPT-4 [7]. На данный момент подписка предлагает две дополнительных функции: “Explain my answer” – даёт пользователю подробное объяснение его правильного или неправильного ответа, а “Roleplay” помогает научиться применять язык в обыденных ситуациях, симулируя повседневные диалоги, например заказ в кафе.

Automatic Speech Recognition (ASR) или Speech To Text (STT) – это модели искусственного интеллекта, которые способны распознавать человеческую речь и транскрибировать её в текстовый формат. Обратная STT технология - Text To Speech (TTS) позволяет генерировать человекоподобную устную речь из текста, при этом модель учитывает интонацию и эмоциональные оттенки текста, возможно даже воспроизведение акцентов [8]. В совокупности данные две технологии позволяют генерировать отдельный вид заданий – задания на устную речь, которые развивают одновременно два аспекта владения языком: разговорная практика и восприятие на слух. На основе этих технологий основана собственная модель распознавания и генерации речи в приложении **ELSA** [9]. В нем можно создать интересующую ситуацию и потренировать иностранную речь, а сгенерированная озвучка предложений позволит потренировать ещё и восприятие речи на слух. На данный момент приложение распознает 42 языка, а после окончания сценария формирует отчет об уровнях грамматики, произношения и словарного запаса пользователя.

Применение данных технологий в обучении иностранному языку способно увеличить заинтересованность студентов в процессе изучения языка и персонализировать обучающие материалы, тем самым повышая эффективность обучения.

В результате исследования были рассмотрены некоторые технологии, применяющиеся в ICALL системах с целью автоматизации процессов изучения иностранных языков. Было показано, что применение данных методов способно повысить эффективность обучения иностранным языкам за счет персонализации обучающих материалов и диверсификации учебного опыта.

Список использованных источников

1. Lakshmi Kurup, Meera Narvekar. A Review of Intelligent Language Teaching Systems in Foreign Language Teaching // Journal of Research in Science and Engineering (JRSE). – 2022. – Vol. 4. – Iss. 11. – P. 11. DOI: 10.53469/jrse.2022.04(11).03.
2. Торсуева И.Г. Контекст // Лингвистический энциклопедический словарь. М. : Сов. энциклопедия, 1990. – С. 238–239.
3. Mert Altıncı, Rüya & Mohammadzadeh, Behbood. Research into the Effects of an ICALL Program on Teaching Word Classes to Learners of English // Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education. – 2018. – №. 14. – Pp. 2587–2598. DOI: 10.29333/ejmste/90093.
4. Xiaojing Weng, Thomas K.F. Chiu. Instructional design and learning outcomes of intelligent computer assisted language learning: Systematic review in the field // Computers and Education: Artificial Intelligence. – 2023. – Vol. 4. – P. 100117. ISSN 2666-920X, DOI: https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100117.
5. Шефиева Э.Ш., Исаева Т.Е. Использование искусственного интеллекта в образовательном процессе высших учебных заведений (на примере обучения иностранным языкам) // 2020. DOI: 10.24158/spp.2020.10.15.

6. Klinton Bicknell, Claire Brust Learning how to help you learn: Introducing Birdbrain // Duolingo Blog. [Electronic resource]. – Access mode: https://blog.duolingo.com/learning-how-to-help-you-learn-introducing-birdbrain/ (date of access: 13.01.2024).
7. Duolingo Team Introducing Duolingo Max, a learning experience powered by GPT-4 // Duolingo Blog. [Electronic resource]. – Access mode: https://blog.duolingo.com/duolingo-max/ (date of access: 13.01.2024).
8. Xuehao Zhou, Mingyang Zhang, Yi Zhou, Zhizheng Wu, Haizhou Li. Accented Text-to-Speech Synthesis with Limited Data, 2023. DOI: 10.48550/arXiv.2305.04816
9. ELSA AI feature. [Electronic resource]. – Access mode: https://elsaspeak.com/faqs/elsa-ai-feature-2/ (date of access: 13.01.2024).

УДК 004.51

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ МАРКЕТПЛЕЙСА БИТОВ

Чекрыгин Е.С.[1] *(студент),* ***Береснев А.Д.***[1]

Научный руководитель – старший преподаватель Береснев А.Д.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: e.chekrygin@gmail.com

В работе представлено описание проектирования интерфейса маркетплейса для покупки и продажи битов с помощью графического редактора Figma, включающее в себя написание пользовательских историй, построение вайрфреймов и макетов будущих веб-страниц, а также разработку прототипа для проведения юзабилити-тестирования с целью оценки готового интерфейса маркетплейса и получения обратной связи от потенциальных пользователей платформы.

Ключевые слова

Пользовательский интерфейс, UX/UI-проектирование, пользовательский опыт, юзабилити-тестирование, маркетплейс битов.

Маркетплейсы стали неотъемлемой частью современной экономики, обеспечивая взаимодействие между продавцами и покупателями. Для повышения конкурентоспособности на рынке руководство маркетплейсов вкладывает огромные деньги в улучшение пользовательских интерфейсов, что, несомненно, ведёт к формированию положительного пользовательского опыта и повышению уровня удовлетворённости клиентов.

Первое впечатление о платформе формируется на основе её визуального восприятия и удобства использования, поэтому профессиональный и привлекательный пользовательский интерфейс помогает увеличить лояльность пользователей и стимулирует их возвращаться [1].

Например, если клиент получил позитивный опыт при использовании какого-либо продукта компании, то существует большая вероятность, что в следующий раз он выберет ту же компанию и, в конечном счёте, станет её постоянным клиентом. Возможно, он даже порекомендует её друзьям, знакомым или напишет отзыв в интернете. Подобные действия в совокупности с большими масштабами (не один клиент, а целая группа) существенно влияют на репутацию компании, от которой, в свою очередь, зависят её успех, конкурентоспособность и доходы.

С другой стороны, если клиент получил негативный опыт или плохое впечатление о продуктах или услугах компании, очевидно, что в следующий раз он будет искать другую, способную удовлетворить его потребности.

Всё это говорит о том, что при прочих равных показателях компаний, клиент предпочтёт ту, которая грамотно, а главное эффективно использует пользовательский опыт для улучшения своей деятельности.

Отсюда следует, что при проектировании пользовательского интерфейса важно ориентироваться на решении проблем и удовлетворении потребностей конечных пользователей. Для этого используется подход, называемый User-Centered Design (проектирование, ориентированное на пользователя), с помощью которого дизайнеры могут создавать более привлекательные, удобные и простые в использовании интерфейсы [2]. Важно понимать, что хотят получить пользователи от использования продукта, поэтому целесообразно составлять пользовательские истории, которые описывают требования к разрабатываемой системе от лица будущего пользователя [3].

В качестве основных пользователей проектируемого маркетплейса выступают битмейкеры (продавцы) и артисты (покупатели), пользовательские истории для которых представлены в таблице.

Таблица

Пользовательские истории

Пользовательские истории	Решение
Как пользователь платформы, я хочу, чтобы главная страница не была перегружена лишней информацией	Добавить на главную страницу исключительно важную информацию, а также основной контент в виде разных категорий битов для привлечения потенциальных покупателей
Как пользователь, впервые посетивший платформу, я хочу иметь возможность быстро ознакомиться с её функционалом	Добавить страницу FAQ, содержащую ответы на часто задаваемые вопросы
Как пользователь платформы, я хочу иметь возможность быть как битмейкером (продавцом), так и артистом (покупателем)	При регистрации не добавлять разделение на битмейкера и артиста, дав возможность быть одновременного быть как продавцом, так и покупателем
Как битмейкер, я хочу иметь возможность для создания привлекательного профиля с возможностью добавления собственной обложки и аватара	Добавить возможность кастомизации профиля битмейкера для самовыражения авторов
Как битмейкер, я хочу иметь возможность выбора тарифного плана, предоставляющего преимущества	Предполагается возможность выбора тарифного плана, один из которых является премиальным — выделяется специальной отметкой Premium, а также предлагающий фиксированную плату в месяц или год вместо комиссии за продажу бита
Как битмейкер, я хочу иметь простой способ для загрузки бита, не требующий дополнительного изучения информации	Оставить самые необходимые поля — рутинная задача должна выполняться быстро и легко
Как битмейкер, я хочу иметь возможность указать соавтора работы для автоматического разделения долей	Добавить возможность указания соавторов бита при его загрузке на платформу
Как артист, я хочу иметь возможность добавления бита в корзину с любой страницы маркетплейса	Реализовать карточки товара таким образом, чтобы при каждом использовании данного компонента была возможность для добавления товара в корзину
Как артист, я хочу иметь возможность добавления бита в избранное	Добавить в карточку товара возможность добавления товара не только в корзину, но и в избранное
Как артист, я хочу иметь возможность купить бит и больше не беспокоиться о нарушениях авторского права, а также являться его единственным владельцем	При совершении сделки планируется использование автоматической генерации договора об отчуждении исключительного права на музыку

На основе пользовательских историй были построены вайрфреймы (дизайн низкой точности), часто используемые на начальных этапах построения интерфейса. Такая простая схема позволяет представить, как различные элементы будут взаимодействовать друг с другом и выявить потенциальные проблемы без детализации интерфейса [4].

Затем, на основе вайрфреймов были построены полноценные макеты веб-страниц. Соответственно, процесс проектирования интерфейса осуществлялся следующим образом: строился вайрфрейм, на его основе — макет, а затем устранялись недочёты.

Для демонстрации интерфейса и проведения юзабилити-тестирования был разработан его прототип. Юзабилити-тестирование является методом UX-исследования, в рамках которого участнику необходимо выполнить несколько задач для достижения конкретных целей, озвученных в рамках теста [5].

В очном тестировании участвовали 12 человек в возрасте от 18 до 25 лет, занимающиеся созданием музыки (написанием битов и треков). Участникам необходимо было достичь следующих целей:

1) находясь на любой странице, добавить бит в корзину и перейти к оформлению заказа;
2) перейти в профиль автора бита и просмотреть другие, загруженные им биты;
3) находясь на любой странице, перейти на страницу любого бита;
4) находясь на любой странице, перейти к загрузке бита на площадку.

Предполагается, что пользователь уже зарегистрирован, но не авторизован на платформе.

Для оценки удобства использования интерфейса были составлены следующие вопросы:

1. Понимает ли участник, как можно достичь поставленной цели?
2. Видит ли участник элемент управления, позволяющий выполнить действие? Обязательно ли он его заметит?
3. Может ли участник понять, что это именно тот элемент, который ему нужен?
4. Убежден ли участник, что нужный эффект достигнут после выполнения действия?

На основе полученных результатов (на все вопросы получены утвердительные ответы) можно сказать, что спроектированный минималистичный интерфейс маркетплейса битов интуитивно-понятен для пользователя и удобен в использовании.

Однако, важно отметить полученные рекомендации в качестве обратной связи:

1) использовать в футере иконки меньшего размера;
2) добавить больше ярких цветов;
3) добавить больше информации о профиле автора бита.

Первая рекомендация была принята, поэтому иконки были исправлены на более компактные, что улучшило их визуальное восприятие на нешироком футере.

Вторая рекомендация требует полной переработки интерфейса и не соответствует изначальным представлениям об интерфейсе. Тёмно-серая цветовая гамма используется с целью акцентирования внимания на ярких обложках продаваемых битов.

Третья рекомендация была принята, на её основе была построен новый вайрфрейм профиля (рис. 1). Теперь на странице профиля доступна не только статистика, но и ссылки на социальные сети, а также кнопка для перехода в личные сообщения.

Рис. 1. Вайрфрейм профиля битмейкера

Готовая страница профиля битмейкера на основе построенного вайрфрейма изображена на рисунке 2.

Таким образом, в ходе работы были составлены пользовательские истории для выявления требований пользователей к проектируемому маркетплейсу, построены вайрфреймы страниц, а на их основе спроектирован макет интерфейса, разработан его прототип, а также проведено юзабилити-тестирование с участием 12 человек, на основе результатов которого были исправлены недочёты.

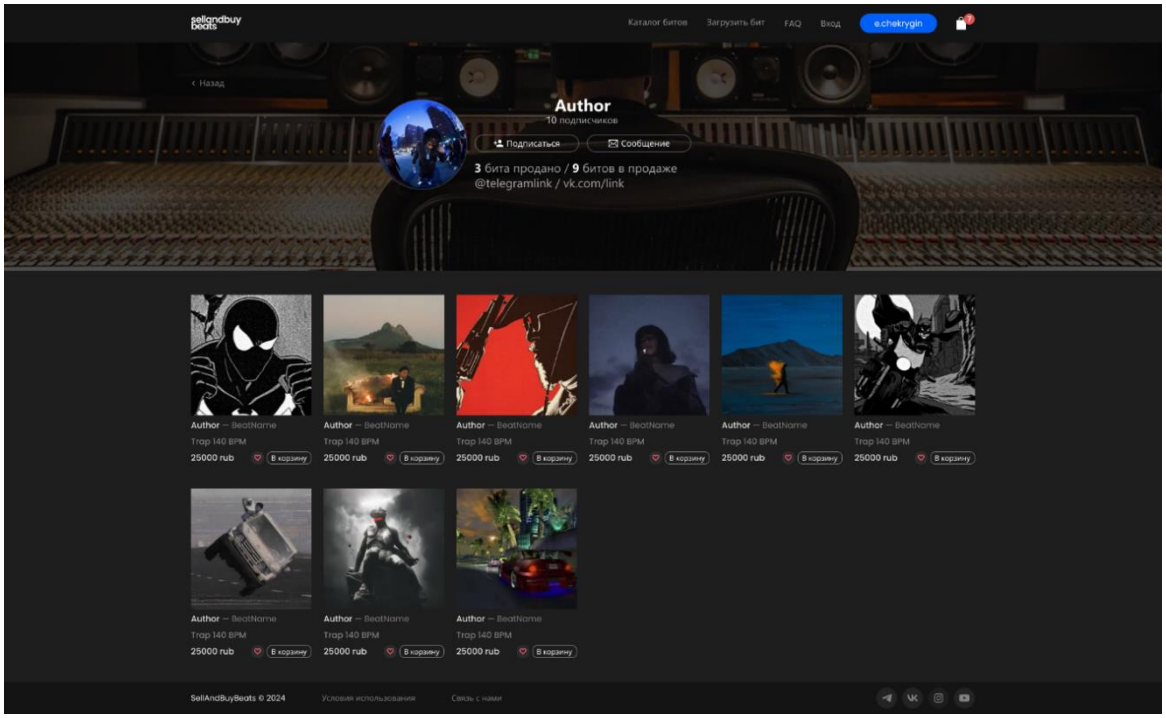


Рис. 2. Макет профиля битмейкера

Список использованных источников

1. Louise Bruton. What is UX design? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.uxdesigninstitute.com/blog/what-does-ux-stand-for/ (дата обращения: 30.12.2023).
2. Jamie Juviler. User-Centered Design: What It Is and How to Do It Right. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://blog.hubspot.com/website/user-centered-design (дата обращения: 30.12.2023).
3. Что такое User Story и как её создать. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://practicum.yandex.ru/blog/chto-takoe-user-story-i-kak-napisat/ (дата обращения: 30.12.2023).
4. Marcin Treder. Wireframing, Prototyping, Mockuping – What's the Difference? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://designmodo.com/wireframing-prototyping-mockuping/ (дата обращения: 30.12.2023).
5. Kate Moran. Usability Testing 101. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.nngroup.com/articles/usability-testing-101/ (дата обращения: 30.12.2023).

УДК 004.89

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ВСТРАИВАЕМЫХ ЧАТ-БОТОВ И ИНТЕРАКТИВНЫХ ПОМОЩНИКОВ

Юрченко П.В.[1] *(студент),* ***Береснев А.Д.***[1] *(аспирант)*
Научный руководитель – старший преподаватель Береснев А.Д.

1 – Университет ИТМО

e-mail: pavel.yurchenko@niuitmo.ru

В работе рассмотрено четыре наиболее распространённых решения для создания встраиваемых чат-ботов и интерактивных помощников с полностью открытым исходным кодом: Botpress, DeepPavlov, Rasa, Tock. Полученный в исследовании результат может быть использован для выбора такого решения в зависимости от сферы применения, особенностей предметной области, бизнес-задач, специфики датасетов и возможностей проектных команд.

Ключевые слова
Чат-бот, интерактивный помощник, искусственный интеллект, natural language processing, фреймворк, визуальный конструктор.

С развитием технологий искусственного интеллекта и обработки естественного языка стали появляться различные интерактивные помощники и чат-боты.

И чат-бот, и интерактивный помощник являются программным обеспечением. Интерактивный помощник выполняет какие-либо действия, которые автоматизируют деятельность человека. Чат-бот является интерфейсом для взаимодействия с интерактивным помощником путём диалога с помощью письменной или устной речи.

В настоящее время многие веб-сайты и приложения имеют встроенного интерактивного помощника, который помогает человеку ориентироваться на данном интернет-ресурсе и пользоваться им. Ярким примером является финансовый ассистент Олег в мобильном приложении Тинькофф, который может переводить деньги, покупать билеты в кино, консультировать по финансовым вопросам и т. п.

Для создания встраиваемых чат-ботов и интерактивных помощников существует множество решений. Цель данного исследования — проведение сравнительного анализа этих решений. Для достижения цели необходимо выбрать несколько решений по конкретному признаку и определить критерии сравнения.

В рамках исследования будет отобрано несколько наиболее распространённых решений с полностью открытым исходным кодом. В качестве критериев сравнения решений будут выступать: способ использования, способ развёртывания, движок диалогового искусственного интеллекта (conversational AI (artificial intelligence) engine), количество каналов для встраивания бота (сайты, мессенджеры и т. д.), особенности решения.

Было отобрано четыре решения для создания чат-ботов по заданному признаку: Botpress, DeepPavlov, Rasa, Tock.

Botpress — это платформа для создания чат-ботов с использованием визуальных потоков и небольших объемов обучающих данных в виде намерений, сущностей и ключевых слов [1].

Особенностями Botpress являются:

— поддержка большой языковой модели GPT (generative pre-trained transformer);
— наличие облака, в котором можно развернуть чат-бота;
— наличие агентов Knowledge Agent, Personality Agent и Summary Agent.

Knowledge Agent позволяет загрузить источник базы знаний (URL-адреса веб-сайтов, документы и веб-поиск), которую будет использовать чат-бот. Благодаря Personality Agent можно настроить личность бота. Summary Agent предназначен для автоматического подведения итогов разговора [2].

DeepPavlov — это фреймворк диалогового искусственного интеллекта, построенный на TensorFlow, Keras и PyTorch [3]. Фреймворк предоставляет различные модели глубокого обучения и расширенные инструменты NLP (natural language processing), однако требует значительных навыков в программировании и машинном обучении [4].

Особенности DeepPavlov:

— наличие DeepPavlov Agent, который позволяет создавать промышленные решения с многопрофильной интеграцией с помощью API-сервисов (application programming interface);

— простота развертывания: модели DeepPavlov упакованы в контейнер, размещенный на Nvidia NGC и Docker Hub [1].

Rasa — это фреймворк, который фокусируется на сюжетном подходе к созданию чат-ботов. Такой подход предполагает построение историй (обучающие данные в виде сценариев и контекста), предназначенных для обучения бота [1].

Ключевые особенности Rasa:

— ориентация на разработчика: настройки предоставляются через конфигурационные файлы yml, поддержка пользовательского Python-кода;

— наличие премиум-функций, в том числе визуального конструктора, доступных по корпоративной лицензии [4].

Tock — это платформа диалогового искусственного интеллекта, которая позволяет создавать комплексные решения и не зависит от сторонних API. Tock предоставляет наборы инструментов для React и Flutter, которые предназначены для интеграции с мобильными и веб приложениями [5].

Особенностями Tock являются:

– Tock Studio — визуальный редактор для создания, тестирования и мониторинга моделей NLP;
– наличие DSL (domain-specific language) для Kotlin, Nodejs, Python и REST API;
– удобное развертывание с помощью Docker [4].

В таблице представлено сравнение данных решений по выбранным ранее критериям.

В результате сравнительного анализа выяснено:

– Botpress предоставляет наиболее обширный набор инструментов, которые позволяют быстро создать чат-бота и не требуют знаний программирования и машинного обучения;
– DeepPavlov, Rasa и Tock ориентированы на разработчиков и предоставляют больше возможностей для написания пользовательского кода, нежели Botpress;
– DeepPavlov поддерживает большее количество языковых моделей и больше подходит для создания сложных интерактивных помощников;
– Rasa предоставляет другой подход к обучению модели, а также имеет ряд премиум-функций, что делает это решение специфичным относительно других;
– Tock предоставляет как визуальный конструктор для создания ботов без знаний кода, так и библиотеки для трёх языков программирования, что делает это решение достаточно универсальным.

Таким образом, был проведён сравнительный анализ четырех наиболее распространённых решений с полностью открытым исходным кодом: Botpress, DeepPavlov, Rasa, Tock. У каждого решения есть свои особенности, плюсы и минусы. Выбор конкретного решения зависит от сферы применения, ресурсов разработчика и особенностей предметной области. Так, Botpress больше подойдёт для быстрой разработки бота без знаний программирования. DeepPavlov — для создания чат-ботов со сложной логикой. Rasa — для создания ботов на основе историй вместо намерений и ключевых слов. Тем временем, Tock является своего рода универсальным решением.

Полученный в исследовании результат может быть использован для выбора решения для реализации интерактивного помощника, в том числе с интерфейсом в виде встраиваемого чат-бота, в зависимости от архитектуры информационного сервиса, бизнес-задач, специфики датасетов и возможностей проектных команд.

Таблица

Сравнение отобранных решений для создания чат-ботов

Решение / критерий сравнения	Botpress	DeepPavlov	Rasa	Tock
Тип	Платформа	Фреймворк	Фреймворк	Платформа
Способ использования	Визуальный конструктор, API	Библиотеки для Python, CLI (command line interface), API	Библиотеки для Python, конфигурационные файлы, CLI, API	Визуальный конструктор, DSL для Kotlin, Nodejs, Python, API
Развёртывание	В облаке / Локально	Локально	Локально	Локально
Conversational AI engine	Модель GPT, различные NLP модели	Различные NLP модели	Rasa NLU (natural language understanding) & NLG модели	Различные NLP модели
Поддерживаемый язык программирования	JavaScript	Python	Python	Kotlin, Nodejs, Python
Webhooks	Да	Да	Да	Да
Намерения, ключевые слова, сущности	Да	Да	Да	Да
Количество каналов	15	-	10	14
Многоязычность	Да	Да	Да	Да
Встроенная аналитика	Да, краткий дашборд по использованию бота	Нет	Платно	Да, статистика по обучению модели
Особенности	Knowledge Agent, Personality Agent, Summary Agent	Много языковых моделей, DeepPavlov Agent	Наличие сюжетного подхода обучения модели	Поддержка трёх языков программирования
Поддержка сообщества	Официальный Discord и Youtube каналы, гайды	Форум, Официальный Youtube канал	Форум, Официальный Youtube канал	Официальный канал на Gitter
Цена	1000 бесплатных сообщений в месяц	Бесплатно	Бесплатно, есть платная версия	Бесплатно

Список использованных источников

1. 13 Best Open Source Chatbot Platforms to Use in 2023. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://botpress.com/blog/open-source-chatbots (дата обращения: 01.12.2023).
2. Botpress Review. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://chatimize.com/reviews/botpress/ (дата обращения: 04.12.2023).
3. Best Open Source Chatbot Platforms of 2023. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://verloop.io/blog/the-best-open-source-chatbot-platforms/ (дата обращения: 01.12.2023).
4. Top 8 open-source chatbot builders for developers. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://blog.n8n.io/open-source-chatbot/ (дата обращения: 01.12.2023).
5. Tock Documentation. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://doc.tock.ai/tock/en/ (дата обращения: 07.12.2023).

Трансляционные информационные технологии

УДК 004

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СЦЕНАРНОГО И ГЕНЕРАТИВНОГО ПОДХОДОВ К РАЗРАБОТКЕ ДИАЛОГОВЫХ АССИСТЕНТОВ

Алексеев О.Б.[1] *(студент)*
Научный руководитель – к.т.н., доцент Махныткина О.В.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: itmo2025@mail.ru

В данной работе проводится сравнение различных подходов к разработке диалоговых ассистентов. Объектом исследования являются диалоговые ассистенты на основе правил (Rules-Based Chatbots) и диалоговые ассистенты диалоговые ассистенты с искусственным интеллектом (AI-Chatbots), в том числе использующие технологию Retrieval Augmented Generation (RAG). В процессе работы проводится анализ принципов разработки, типов выполняемых задач, преимуществ и недостатков диалоговых ассистентов.

Ключевые слова
Диалоговые ассистенты, чат-боты, AI-Chatbots, Large language model (LLM), Natural Language Processing (NLP), Natural Language Understanding (NLU), Retrieval Augmented Generation (RAG), Rules-Based Chatbots.

При выборе подхода к реализации диалоговых ассистентов, к которым относят чат-боты, разработчикам необходимо принимать во внимание значительное число факторов – сложность разработки и поддержки, тип выполняемых задач, возможность обучения и адаптивность.

В настоящий момент принято разделять диалоговые ассистенты на три основных типа [4]:

1. Диалоговые ассистенты на основе правил (Rules-Based Chatbots), предусматривающие сценарный подход к разработке.
2. Диалоговые ассистенты с искусственным интеллектом (AI-Chatbots), в том числе использующие технологию Retrieval Augmented Generation (RAG) – генеративные диалоговые ассистенты.
3. Диалоговые ассистенты, представляющие собой гибриды, сочетающие сценарный и генеративный подходы к разработке.

Диалоговые ассистенты (Rules-Based Chatbots), основанные на правилах и предусматривающие сценарный подход к разработке, придерживаются набора заранее определенных правил для получения ответов на вводимые пользователем запросы. Они используют последовательность условных операторов «если, то, иначе» для проверки наличия определенных ключевых слов во вводимых данных и выдачи соответствующих ответов на основе этих условий. Архитектура чат-ботов, основанных на правилах, состоит из трех взаимосвязанных компонентов: пользовательского интерфейса (User Interface, UI), механизма обработки текстов на естественном языке (Natural Language Processing, NLP) и механизма правил.

Пользовательский интерфейс — это среда, где пользователи взаимодействуют с диалоговым ассистентом, механизм NLP обрабатывает вводимые данные, а механизм правил определяет соответствующий ответ на основе предопределенных правил.

Механизм NLP, разбивает человеческий текст или речь на более мелкие части, которые проще обрабатывать. Общие возможности обработки и анализа текста в NLP включают в себя:

1. Распознавание речи, включающее разбиение слов на более мелкие части и понимание акцентов, оскорблений, интонаций и неправильного использования грамматики в повседневном разговоре.
2. Морфологическую разметку – пометку отдельных слов в предложении в соответствии с контекстуальными обычаями, такими как существительные, глаголы, прилагательные или наречия.

3. Снятие лексической омонимии (устранение неоднозначности), которые могут иметь разные значения при использовании в разных сценариях.
4. Распознавание именованных сущностей, в контексте процесса, определяющего уникальные имена людей, мест, событий, компаний и многого другого.

Механизм NLP в диалоговых ассистентах, основанных на правилах, в первую очередь фокусируется на обнаружении ключевых слов, не используя полноценные методы NLP в более простых диалоговых ассистентах.

Подразделом NLP является понимание естественного языка (Natural Language Understanding, NLU) – данный механизм не только распознаёт человеческую речь, но и понимает контекст, намерения, настроение.

На рисунках 1 и 2 показаны примеры обработки запросов пользователей диалоговыми ассистентами на основе правил и диалоговым ассистентом на основе правил с использование NLP и NLU.

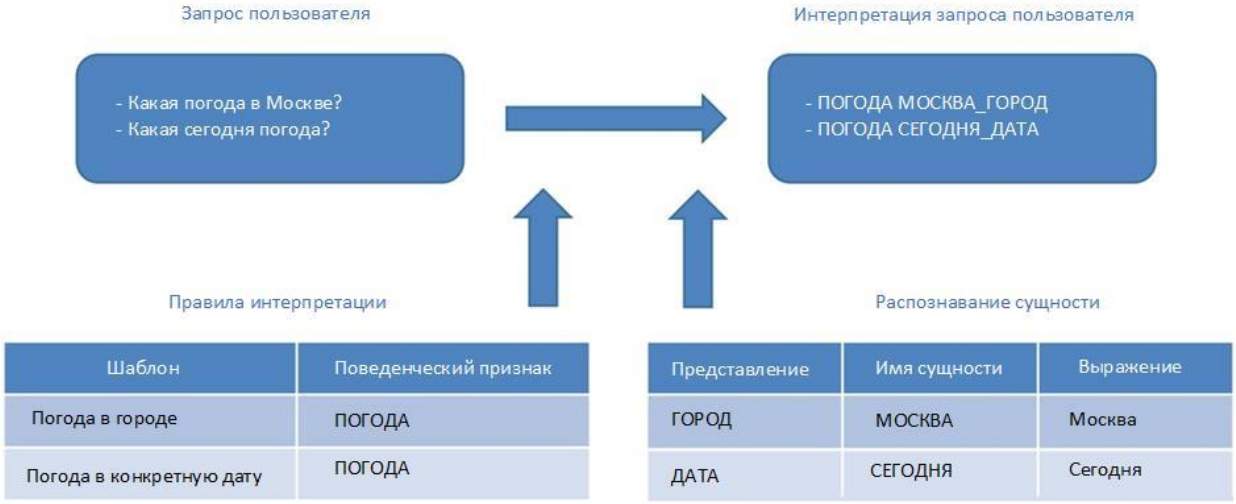


Рис. 1. Пример обработки запроса пользователя простым диалоговым ассистентом на основе правил

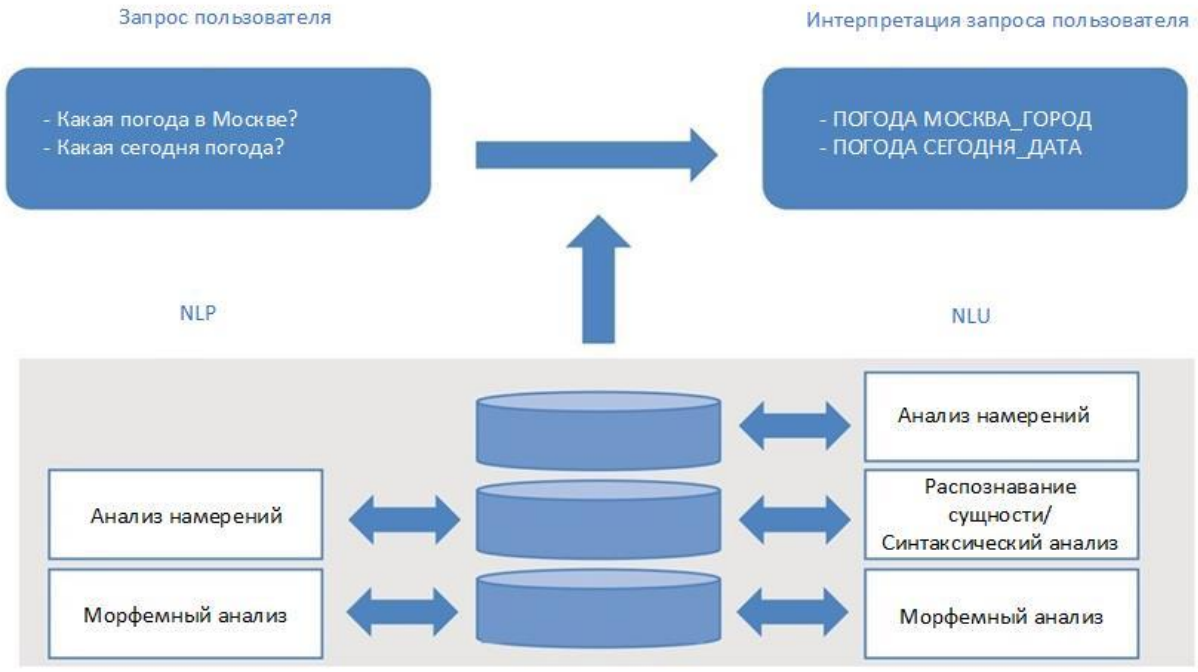


Рис. 2. Пример обработки запроса пользователя диалоговым ассистентом на основе правил с использование NLP и NLU

Диалоговые ассистенты на правилах обычно разрабатываются с использованием языков программирования и инструментов, специально предназначенных для обработки текстовых запросов и генерации ответов. Наиболее популярные программные платформы для создания таких ассистентов включают языки программирования (Python, Java или JavaScript), в том числе библиотеки для обработки языка естественного (NLTK или Spacy), а также фреймворки для обработки запросов (AIML, ChatterBot или Dialogflow).

К основным преимуществам диалоговых ассистентов на основе правил, предусматривающих сценарный подход к разработке, следует отнести [4]:

1. Эффективность и рентабельность, достигаемые за счет относительной простоты разработки и поддержки.
2. Предсказуемость и простоту вариантов использования.

Основными ограничениями диалоговых ассистентов на основе правил являются:

1. Отсутствие гибкости. Диалоговые ассистенты, основанные на правилах, ограничены заранее установленными правилами, на которые они опираются. Им не хватает гибкости для генерации инновационных и аргументированных ответов, выходящих за рамки того, что указано в правилах.
2. Потенциальная ограниченная производительность. Диалоговые ассистенты, основанные на правилах, могут иметь ограниченную производительность при работе со сложными языковыми структурами и нюансами пользовательского ввода. Их зависимость от определения ключевых слов и условных операторов может привести к ответам, которые могут не полностью отражать намерение или контекст запроса пользователя. Это может привести к нелогичным или неполным ответам.

Генеративные диалоговые ассистенты с искусственным интеллектом используют большие языковые модели (Large language model, LLM) для генерации ответов на основе вводимых пользователем данных. Эти модели обучаются на огромных наборах данных, содержащих миллиарды слов, фраз и предложений, что позволяет диалоговому ассистенту выдавать человекоподобные и релевантные контексту ответы.

Механизм NLP в сочетании с LLM позволяет генеративным диалоговым ассистентам с искусственным интеллектом лучше понимать вводимые пользователем данные, контекст и намерения. Одним из существенных преимуществ генеративных диалоговых ассистентов является их способность со временем обучаться и адаптироваться, обеспечивая более точные и релевантные ответы.

Генеративные чат-боты с искусственным интеллектом состоят из трех компонентов высокого уровня [4]: пользовательского интерфейса (User Interface, UI), механизма (Natural Language Processing, NLP) и большой языковой модели (LLM). Вместо механизма правил генеративные диалоговые ассистенты с искусственным интеллектом используют большую языковую модель, которая может обрабатывать сложные языковые структуры и нюансы.

Эти диалоговые ассистенты не полагаются на заранее написанные правила, а получают ответы на основе обработки огромного количества текстовых данных. Это позволяет диалоговому ассистенту генерировать контекстуально релевантные ответы, похожие на человеческие.

Отдельно в контексте генеративных диалоговых ассистентов с искусственным интеллектом следует осветить вопрос использовании технологии Retrieval Augmented Generation (RAG).

RAG — это метод работы с большими языковыми моделями LLM, когда вопрос, сформулированный пользователем диалогового ассистента «обогащается» дополнительной информацией из каких-то внешних источников (баз знаний) и в таком виде подаете на вход большой языковой модели LLM. Другими словами, в контекст запроса к языковой модели добавляется дополнительная информация, на основе которой языковая модель может дать пользователю более полный и точный ответ [1].

Основные причины, по которым механизм RAG приобрел актуальность:

1. Ограничения памяти: LLM имеют ограниченные возможности для хранения и обновления знаний. Их знания в основном хранятся в виде статических параметров и не могут быть легко расширены или пересмотрены.

2. Потенциал для «галлюцинаций» (LLM hallucinations): большие языковые модели могут генерировать ответы, которые, хотя и представлены уверенно, фактически неверны или оторваны от реальности.
3. Отсутствие знаний о предметной области: большие языковые модели LLM обучены для выполнения обобщенных задач и не обладают знаниями о предметной области. Они не обладают конфиденциальной информацией, что делает их неэффективными при точном ответе на вопросы, относящиеся к предметной области или конкретной компании [3].

Главным преимуществом использования RAG является возможность понизить трудоемкость разработки и обслуживания генеративного диалогового ассистента за счет того не требуется дополнительное обучение языковой модели – для повышения актуальности ответов диалогового ассистента используется информация из внешних источников, актуальность которых обеспечивают службы, наполняющие их данными [2].

На рисунке 3 показан пример обработки запроса пользователя генеративным диалоговым ассистентом с использованием RAG [6].

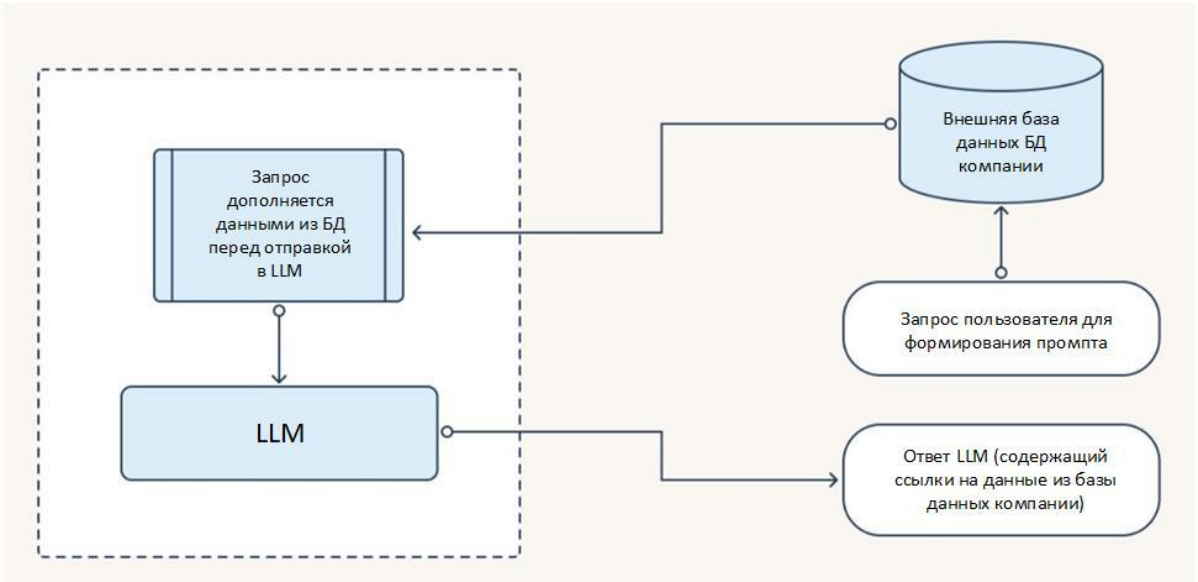


Рис. 3. Пример обработки запроса пользователя генеративным диалоговым ассистентом, использующим технологию Retrieval Augmented Generation (RAG)

Процесс поиска данных во внешних источниках (базах знаний) с использованием механизма RAG можно описать следующими шагами:

1. Обращение к источникам данных. RAG начинается с доступа к внешним источникам данных (базам знаний), которые могут включать базы данных, документы, веб-сайты, API или любые хранилища структурированной информации. Эти источники данных могут содержать обширную информацию, включая данные в реальном времени и знания, относящиеся к конкретной предметной области.
2. Разбиение на фрагменты. Данные из внешних источников часто слишком велики для одновременной обработки. Поэтому они разбиваются на более управляемые части. Каждый блок представляет собой сегмент данных и может рассматриваться как автономная единица.
3. Преобразование в векторы. Текст в каждом фрагменте затем преобразуется в числовые представления, известные как векторы. Векторы — это числовые последовательности, которые отражают семантическое значение текста. Это преобразование позволяет механизму понимать взаимосвязи между понятиями в тексте.
4. Метаданные. По мере обработки и объединения данных создаются метаданные, которые связываются с каждым фрагментом. Эти метаданные содержат информацию об источнике, контексте и других соответствующих деталях. Используется для цитирования и справочных целей.

Процесс генерации ответа на вопрос пользователя диалоговым ассистентом с использованием механизма RAG можно описать следующими шагами [5]:

1. Запрос пользователя. RAG работает в ответ на запрос пользователя. Входные данные пользователя служат основой для генерации ответа.
2. Семантический поиск. Запрос пользователя преобразуется во вложения или векторы, аналогично тому, как ранее были преобразованы текстовые данные. Эти вложения запроса отражают смысл и намерение введенных пользователем данных.
3. Поиск релевантных фрагментов. RAG использует эти встраивания запросов для поиска по предварительно обработанным фрагментам данных. Цель состоит в том, чтобы определить наиболее релевантные фрагменты, содержащие информацию, относящуюся к запросу пользователя.
4. Объединение поиска и генерации. Как только соответствующие фрагменты идентифицированы, RAG объединяет полученную информацию из этих фрагментов с запросом пользователя.
5. Взаимодействие с большой языковой моделью LLM. Этот объединенный запрос пользователя и полученная информация затем передаются LLM, для генерации контекстуально релевантного ответа.

На рисунке 4 приведена подробная схема обработки запроса пользователя генеративным диалоговым ассистентом с использованием RAG [5].

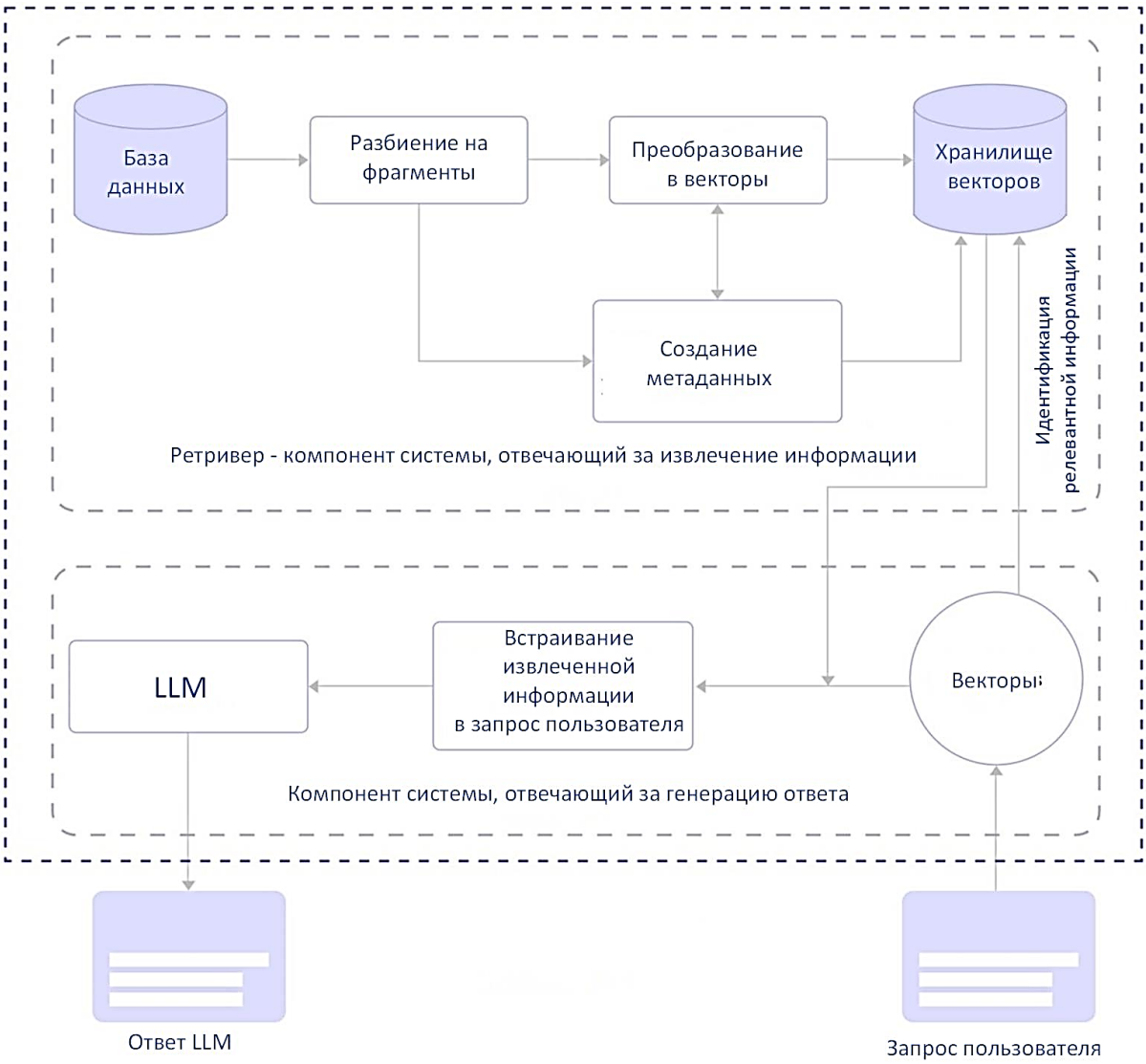


Рис. 4. Подробная схема обработки запроса пользователя генеративным диалоговым ассистентом, использующим технологию Retrieval Augmented Generation (RAG)

Главными преимуществами генеративных диалоговых ассистентов с искусственным интеллектом (AI-Chatbots) являются [4]:

1. Способность к обучению и адаптивность. AI-Chatbots имеют функционал, который позволяет им обновлять свои знания и совершенствовать языковую модель. По мере прохождения обучения, генеративные диалоговые ассистенты предоставляют все более точные ответы на вопросы пользователей.
2. Более глубокое понимание естественного языка. AI-Chatbots, благодаря использованию NLP и больших языковых моделей, лучше воспринимают сложные языковые структуры. Такое глубокое понимание естественного языка позволяет диалоговым ассистентам с генеративным искусственным интеллектом предоставлять более сложные ответы, похожие на подготовленные человеком.
3. Творческие возможности. Продвинутое понимание языка и творческие способности позволяют AI-Chatbots мыслить нестандартно и создавать уникальный контент или идеи. Это делает таких диалоговых ассистентов предпочтительным выбором для творческих заданий.

Отдельно стоит отметить преимущества присущие диалоговым ассистентам, использующим механизм RAG:

1. Возможность предоставления контекстно-зависимых ответов. Использование RAG позволяет диалоговым ассистентам предоставлять ответы, предполагающие понимание контекста диалога. Включая информацию, необходимую для поддержания коннекта, AI-Chatbots может глубже понять вопрос пользователя и подготовить ответы, учитывающие его контекст.
2. Повышенная точность ответов ассистента. С помощью доступа к данным в режиме реального времени и знаниям, относящимся к конкретной предметной области, ассистенты, использующие RAG, могут выдавать более точные и релевантные ответы. Это особенно ценно в системах, где корректность ответов имеет решающее значение, таких как медицинская диагностика или юридические консультации.
3. Универсальность использования. Технологии RAG могут применяться в широком спектре систем и приложений, включая диалоговых ассистентов служб поддержки, генерацию контента, помощь в исследованиях и т. д. Универсальность данной технологии делает ее подходящей для различных предметных областей и вариантов использования.
4. Экономическая рентабельность. Внедрение RAG может быть более экономически эффективно, чем другие подходы, такие как дополнительное обучение LLM. Это исключает необходимость в частых корректировках LLM, усилиях по разметке данных и трудоемких процессах тонкой настройки.
5. Адаптивность. Технология RAG позволяет диалоговым ассистентам учиться на основе новых сведений и данных в режиме реального времени без дообучения больших языковых моделей LLM. Это особенно важно в динамичных средах, где информация постоянно меняется.

К ограничениям AI-Chatbots следует отнести:

1. Вопрос соблюдения конфиденциальности данных. Для обучения больших языковых моделей LLM используются большие объемы текстовых данных. Это вызывает опасения по поводу сохранения их конфиденциальности и безопасности. Поскольку диалоговые ассистенты генерируют ответы на основе широкого спектра входных данных, следует предусмотреть механизмы, гарантирующие, что конфиденциальная информация не была случайно передана третьим лицам или раскрыта.
2. Достоверность и актуальность информации в ответах ассистента. Хотя AI-Chatbots способны генерировать ответы, поддерживающие контекст диалога, они также могут генерировать неверную информацию. Данная особенность известна как «галлюцинации» (LLM hallucinations), когда ассистент выдает ответы, не основанные на реальности или фактической информации. Необходимо отслеживать и точно настраивать LLM, чтобы свести к минимуму такие случаи и поддерживать точность информации в ответах.

Выполненный анализ показывает, что генеративные диалоговые ассистенты, работа которых в том числе предусматривает использовании технологии Retrieval Augmented Generation (RAG), предлагают более продвинутые возможности, адаптивность и понимание естественного языка, что делает их подходящими для сложных и динамичных взаимодействий. Диалоговые ассистенты, основанные на правилах (Rules-Based Chatbots), лучше подходят для конкретных случаев использования с четко определенными задачами и структурированными разговорами, но могут испытывать трудности с высокодинамичными или эволюционирующими сценариями.

Список использованных источников

1. Lewis P., Perez E., Piktus A., Petroni F., Karpukhin V., Goyal N., Küttler H., Lewis M., Yih Wen-tau, Rocktäschel T., Riedel S., Kiela D. Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks. – 2021. [Электронный ресурс] – Режим доступа: arXiv preprint arXiv: 2005.11401.
2. Ouyang L., Wu J., Jiang X., Almeida D., Wainwright C.L., Mishkin P., Zhang C., Agarwal S., Slama K., Ray A., Schulman J., Hilton J., Kelton F., Miller L., Simens M., Askel A., Welinder P., Christiano P., Leike J., Lowe R. Training language models to follow instructions with human feedback. – 2022. arXiv preprint arXiv: 2203.02155v1.
3. Маслюхин С.М. Диалоговая система на основе устных разговоров с доступом к неструктурированной базе знаний. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2023 – №. 23 (1). – С. 88–95.
4. Rule-based Chatbot vs AI Chatbot: Which to Choose for Your Business. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/2402.05122 (дата обращения: 11.12.2023).
5. RAG The link between pre-trained language models and real-time data. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/2312.10997 (дата обращения: 11.12.2023).
6. Alphons Jaimon Revolutionizing Search with AI: RAG for Contextual Response. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://qed42.com/insights/revolutionizing-search-with-ai-rag-for-contextual-response (дата обращения: 11.12.2023).

УДК 332.1

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИИ НА ПОКАЗАТЕЛИ СОЦИАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Басова М.С.[1] (студент)
Научный руководитель – к.т.н. Митягин С.А.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: m.s.basova@mail.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №622280 «Библиотека алгоритмов машинного обучения для задач генерации ценностно ориентированных требований к мастер планированию урбанизированных территорий».

В работе анализируются показатели обеспеченности социальной инфраструктурой (школами, детскими садами и поликлиниками), и оценивается влияние комплексного развития территорий на данные показатели. Выделены проблемы комплексного развития территории.

Ключевые слова
Комплексное развитие территории, социальная инфраструктура, устойчивое развитие, наполняемость сети, обеспеченность.

В настоящее время комплексное развитие территорий в Российской Федерации является одним из ключевых направлений градостроительного развития, осуществляемым для повышения эффективности использования территорий, создания благоприятных условий существования населения и развития инфраструктуры. Под комплексным развитием территорий подразумевается совокупность мероприятий, выполняемых в соответствии с утвержденной документацией по планировке территории и направленных на создание благоприятных условий проживания граждан.

Проблема дефицита объектов социальной инфраструктуры характерна для большинства крупнейших городов России с ростом численности населения и большими объемами строительства. Продолжительное время в современной России отсутствовал комплексный подход к строительству новых жилых массивов и их возведение происходило без развития сопутствующей социальной и транспортной инфраструктуры, территория расширялись точечно и хаотично, что привело к образованию районов, не обеспеченных необходимой инфраструктурой и, в дополнение, усиливающих нагрузку на инфраструктуру в соседних районах города. В то время как одним из факторов, влияющих на степень удовлетворенности городской средой, является обеспеченность городскими сервисами – от доступности, их количества и разнообразия зависит комфортность проживания в городе. Для улучшения качества жизни в городе необходимо уменьшить радиус доступа к инфраструктуре образования, досуга, здравоохранения.

При определении значений расчетных показателей минимально допустимого уровня обеспеченности объектами регионального и местного значения используются различные методы и подходы:

- нормативно-методический подход;
- расчетный метод;
- экспертная оценка.

Указанные в нормативах показатели обеспеченности объектами инфраструктуры используют при подготовке генерального плана, схемы территориального планирования муниципального района, а также документов градостроительного зонирования и документации по планировке территории.

Оценка уровня развития социальной инфраструктуры

Оценим уровень развития социальной инфраструктуры и влияние на него комплексного развития на примере города Краснодара. Продолжительное время в городе происходила «точечная застройка» и отсутствовал комплексный подход в строительстве новых жилых районов и их строительство происходило без развития сопутствующей социальной и транспортной инфраструктуры, что привело к ухудшению качества городской среды. Проанализируем обеспеченность жителей города объектами социальной инфраструктуры, а именно школами, детскими садами и поликлиниками, так как наиболее значимыми элементами социальной инфраструктуры являются инфраструктура образования и инфраструктура здравоохранения. Для оценки развития основных объектов образования была рассчитана наполняемость сети школьных и дошкольных учреждений, которая помогла определить степень влияния комплексного развития территории на полученные показатели. Также мы можем использовать для оценки следующие показатели: радиус доступности дошкольных учреждений в километрах, радиус доступности образовательных учреждений в километрах и радиус доступности учреждений здравоохранения в километрах.

Наполняемость

Для оценки развития социальной инфраструктуры в сфере образования была использована адаптированная автором в соответствии с «Нормативами градостроительного проектирования Краснодарского края» «Методика расчёта обеспеченности жилой застройки районов Москвы школами, детскими садами и поликлиниками», выполненная ГАУ «Институт Генплана Москвы».

Обеспеченность школами и детскими садами считается по следующей формуле наполняемости сети [1]:

$$Н = Н_{факт.}/Е_{проект.}*100\%,$$

где Н – суммарная наполняемость школы по району, которая характеризуется дефицитом или избытком посещений в смену, в процентном выражении;

$Е_{проект.}$ – проектная емкость школы по району (мест; посещений в смену);

$Н_{факт.}$ – фактическая наполняемость сети по району (мест; посещений в смену).

Данные о фактической и проектной наполняемости объектов образования были взяты из Генерального плана Краснодара [2]. Таким образом, был проведён анализ наполняемости сети государственных общеобразовательных школ города Краснодара. По четырем внутригородским округам были получены следующие результаты:

1. В Прикубанском внутригородском округе в 26 школах из 27 имеется острый дефицит мест (наполняемость превышает 130%), и в одной школе наблюдается дефицит. Суммарная наполняемость – 233%. Данное положение с дефицитом мест в округе связано с застройкой больших площадей жильем без сопутствующего строительства социальной инфраструктуры.
2. В Карасунском внутригородском округе 18 школ имеют острый дефицит мест (наполняемость выше 130%), 3 школы – дефицит мест (наполняемость от 111 до 129%) и в 1 школе наполняемость находится в норме (в диапазоне от 90 до 110%). Суммарная наполняемость – 198%.
3. В Западном внутригородском округе есть 3 школы с избытком мест (наполняемость менее 89%), в двух школах нормальная наполняемость (в диапазоне от 90 до 110%), и в 11 школах острый дефицит мест (наполняемость выше 130%). Суммарная наполняемость – 179%.
4. В Центральном округе наблюдается наименьший дефицит мест в школах по сравнению с остальными округами, наполняемость школьной сети по округу – 173%. В 16 школах округа – острый дефицит (наполняемость выше 130%), в одной школе – дефицит (наполняемость от 111 до 129%), и в одном – избыток мест (наполняемость менее 89%).

Рассмотрим ситуацию с дошкольными образовательными учреждениями Краснодара, высчитав показатель наполняемости, по той же формуле, что использовалась для школьных учреждений.

Суммарная наполняемость по Прикубанскому внутригородскому округу – 122%, таким образом, в данном округе наблюдается дефицит мест в детских садах. Острый дефицит мест – в 10 учреждениях, дефицит – в 17, и нормальная наполняемость наблюдается в 14 детских садах.

В Карасунском внутригородском округе суммарная наполняемость дошкольных общеобразовательных учреждений по округу – 97%. В трех детских садах – острый дефицит, в двух – дефицит, в 22 – нормальная наполняемость и в 12 – избыток мест.

В Центральном внутригородском округе в отличие от двух предыдущих округов острого дефицита мест нет. В большинстве детских садов нормальная наполняемость (34 учреждения), в четырех – избыток мест, и в четырех – дефицит.

Также, как и в Центральном округе, в Западном – нет дошкольных учреждений с острым дефицитом мест, в 22 учреждениях нормальная наполняемость, в семи – избыток мест, и в трех – дефицит.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что в округах, где велась активная застройка, наблюдается наибольший дефицит мест в школах и детских садах из-за быстрого прироста населения, а новая инфраструктура не решает проблему с избыточной нагрузкой в других школ в данных районах.

Радиус доступности

В соответствии с нормативами градостроительного проектирования муниципального образования город Краснодар радиус обслуживания общеобразовательных школ, лицеев и гимназий – 500 метров. В программе QGIS было выполнено покрытие карты круговыми буферными зонами радиусом от 500 метров до 1 километра (значение зависело от местных нормативов градостроительного проектирования для рассматриваемых объектов) от каждой школы, детского сада, поликлиники. Исходя из полученных графических материалов, были сделаны следующие выводы.

Наиболее остро проблема доступности общеобразовательных учреждений стоит в двух микрорайонах в Прикубанском округе, в них отсутствуют школы. В нескольких микрорайонах Карасунского округа также наблюдается необеспеченность школами больших площадей жилого фонда. Большой дефицит социальной инфраструктуры в данных районах ведёт к её перегруженности в соседних, несмотря на хорошую зону покрытия общеобразовательными учреждениями. Действующая программа комплексного развития влияет положительно, но несущественно на борьбу с нехваткой мест в общеобразовательных учреждениях, так как несмотря на строительство новых социальных объектов, они вскоре оказываются переполнены из-за прикрепления к ним не только жителей жилых комплексов, для которых они предназначались, но и соседствующих районов, где школ нет вовсе.

Дефицит детских садов наблюдается в тех же районах, где есть дефицит школ. Стоит также отметить, что микрорайоны, которые раннее были сельскими поселениями, но затем были включены в границы города, менее всех обеспечены дошкольными образовательными учреждениями.

В Прикубанском округе катастрофически не хватает поликлиник. Обеспечены амбулаторно-поликлиническими учреждениями в полном объеме только жители Центрального округа.

Более того, согласно приказу Министерства здравоохранения от 27 февраля 2016 года, N 132н «О требованиях к размещению медицинских организаций государственной системы здравоохранения и муниципальной системы здравоохранения исходя из потребностей населения», нормой является одна поликлиника на 20–50 тыс. человек. В Краснодаре действуют 25 городских поликлиник, таким образом, если брать минимальное значение показателя нормы потребности, данное количество поликлиник обеспечивает 500 000 жителей.

Влияние комплексного развития

Стандарт комплексного развития территорий носит рекомендательный характер, однако начинает использоваться застройщиками в Краснодаре с целью повышения привлекательности возводимого жилья и увеличения спроса со стороны покупателей.

Таким образом, в настоящее время в результате длительной точечной застройки территории и отсутствия комплексного развития новых жилых районов возник острый дефицит объектов дошкольного и школьного образования, а также нехватка амбулаторно-поликлинических учреждений. В данный момент строительство новых объектов социальной инфраструктуры происходит в основном на новых территориях, так как в районах со сложившейся инфраструктурой затруднительно найти большие свободные площади. Договор о комплексном развитии территорий, заключаемый между муниципалитетом и застройщиком, позволит решить проблему с обеспечением новых микрорайонов школами и детскими садами, однако острая нехватка объектов здравоохранения сохранится.

Так, действующая программа комплексного развития влияет положительно, но несущественно на борьбу с нехваткой мест в общеобразовательных учреждениях, так как несмотря на строительство новых социальных объектов, они вскоре оказываются переполнены из-за прикрепления к ним не только жителей жилых комплексов, для которых они предназначались, но и соседствующих районов, где школ нет вовсе. И следует отметить, что возводимая социальная инфраструктура не снижает существенно нагрузку с существующей, которая является переполненной. В данный момент строительство новых объектов социальной инфраструктуры происходит в основном на новых территориях, так как в районах со сложившейся инфраструктурой затруднительно найти большие свободные площади.

В результате, мы можем говорить о том, что комплексное развитие территорий положительно влияет на обеспеченность жителей новых жилых районов такими объектами социальной инфраструктуры, как школы и детские сады, но существуют проблемы со строительством поликлиник. Несмотря на строительство новых социальных объектов в рамках комплексного развития, общеобразовательные учреждения вскоре оказываются переполнены из-за прикрепления к ним не только жителей жилых комплексов, для которых они предназначались, но и соседствующих районов, где есть острый дефицит мест в школах и детских садах.

Список использованных источников

1. Методика расчёта обеспеченности жилой застройки районов Москвы школами, детскими садами и поликлиниками. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/1200097875 (дата обращения: 02.03.2024).
2. Генеральный план Краснодара. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://genplan.krd.ru/expo/ (дата обращения: 02.03.2024).

УДК 316.44; 711.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ИДЕНТИЧНОСТИ ЖИТЕЛЕЙ ПУШКИНСКОГО РАЙОНА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА

Ворона В.А. [1] *(студент)*
Научный руководитель – д.филос.н., доцент Горнова Г.В. [1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: voronapxl@gmail.com

Исследование посвящено разработке адаптивного метода изучения идентичности, применяемого для анализа идентификационных процессов жителей Пушкинского района в Санкт-Петербурге. В ходе работы проводится выявление и анализ факторов, оказывающих влияние на формирование и изменение идентичности. Полученные результаты демонстрируют ключевые тенденции и различия в идентичности между исследуемыми поселениями.

Ключевые слова
Идентичность, групповая идентичность, социальная дифференциация, обработка естественного языка, социология.

В результате активного градостроительного развития и формирования рядом с историческими пригородами таких новых городских районов как Шушары, возникает вопрос: обладают ли эти новые поселения собственной уникальной идентичностью или они лишь заимствуют характеристики культурно-исторических центров, таких как Пушкин и Павловск. Размышления о том, существует ли самостоятельная идентичность вновь построенных районов, поднимают важные вопросы о формировании общности, ценностях и влиянии окружающей среды на формирование личного и коллективного самосознания.

Работа направлена на решение проблемы недостаточной изученности малых «молодых» сообществ в исторических районах и разработку адаптивного метода для комплексного исследования идентичности таких районов. Социальные исследования, направленные на изучение жителей районов, затратны в плане ресурсов и времени [1]. В результате применения такого подхода не всегда удается оперативно и в полной мере охватить все факторы, влияющие на идентичность жителей поселения. Это замедляет и усложняет решение проблем. Перечисленные недостатки формируют негативное восприятие территории как со стороны жителей поселения, так и со стороны внешних сообществ. Люди избегают связи с негативно воспринимаемой территорией, проблемы на которой не решаются. Это приводит к убыли населения и уменьшению привлекательности данной территории для проживания [2]. Инвесторы обходят такие проблемные поселения стороной, так как не видят в них перспектив для развития. От этого страдают не только жители, но и город, у которого уходит больше средств на поддержание инфраструктуры.

В рамках исследования под идентичностью подразумевается отождествление индивидом себя с определённой группой в пределах отдельно взятой территории на основе символических и прагматических факторов, относящихся к этой группе и территории.

Комплексный подход в исследовании идентичности жителей Шушар, Пушкина и Павловска заключается в выделении факторов, которые влияют на идентификационные процессы жителей. В символические факторы входят доминанты идентичности, такие как культурно-исторические ресурсы и объекты, культурные практики, ритуалы жителей. В прагматические факторы входят физические бытовые ресурсы территории. Например, удовлетворённость количеством магазинов, досуговых точек, транспортной инфраструктуры и так далее.

Разработка адаптивного метода базируется на социологических методах сбора и анализа данных. Блок-схема метода представлена на рисунке 1. Используются опросные методы, такие как онлайн-анкетирование, полуструктурированные и экспертные интервью, а также ментальное картирование. Социологические методы дополнены цифровыми, такими как автоматизированный сбор данных из социальных сетей и анализ текстов с помощью инструментов обработки естественного языка, таких как BERT. Для анализа кириллических текстов была использована модель на основе BERT, обученная на русской части Википедии и новостях [3]. Метод был назван адаптивным, поскольку позволяет объединять различные подходы в сборе и анализе данных, а также заполнять пробелы в полученной информации на каждом этапе. Например, получать данные из социальных сетей, если не представилось возможным собрать удовлетворительное число ответов на онлайн-анкету.

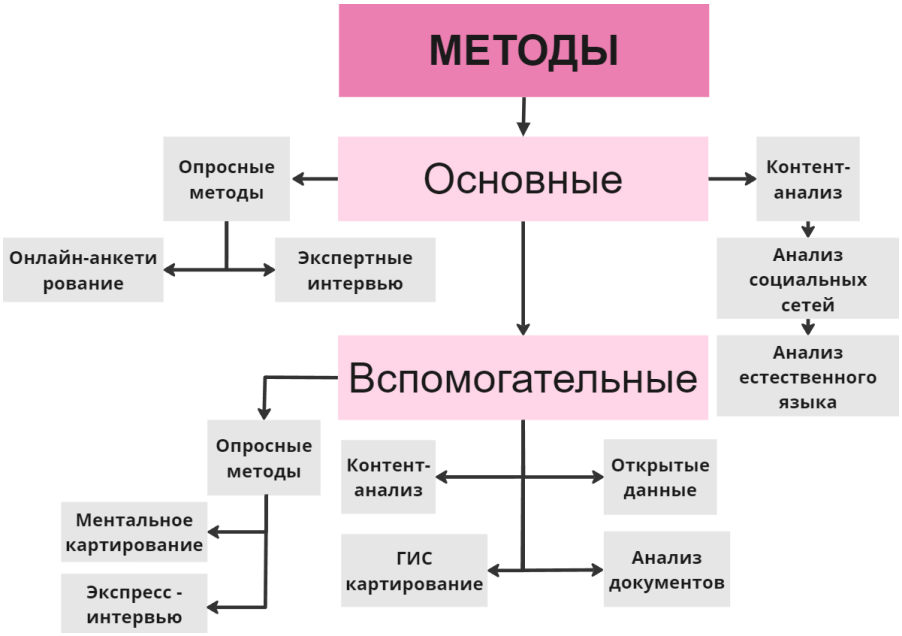


Рис. 1. Схема адаптивного метода исследования идентичности

Исследование включает в себя три этапа, представленных на рисунке 2. На первом этапе проведено онлайн-анкетирование, что послужило основой для формулирования промежуточных выводов. Также произведен сбор текстов из социальных сетей, принадлежащих объектам исследования – поселениям Пушкин, Павловск и Шушары.

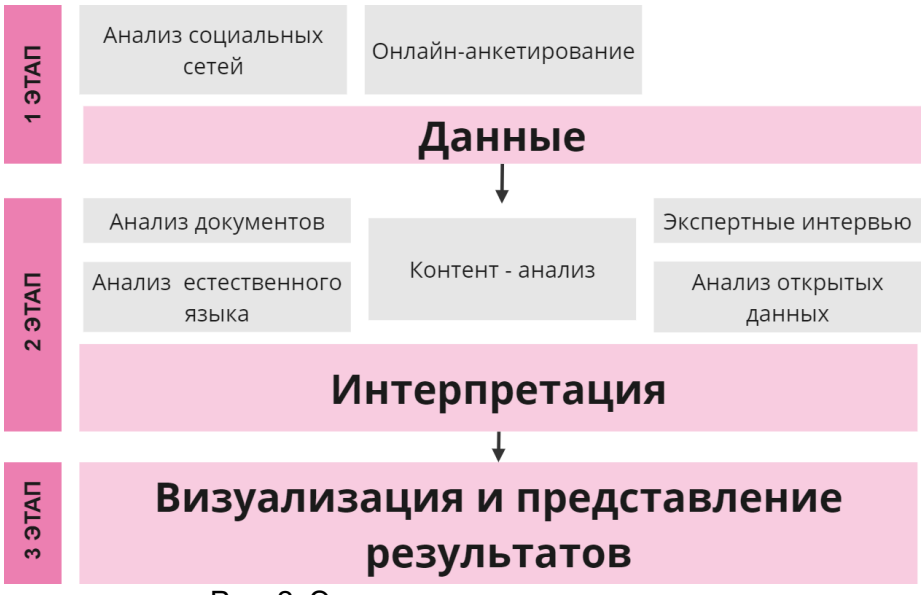


Рис. 2. Этапы использования метода

В рамках использования данного метода выделены следующие критерии для составления выборки аккаунтов в социальных сетях:

1) территориальное деление: основной фокус исследования ориентирован на поселения Пушкин, Павловск и Шушары;
2) охват аудитории: изучение количества подписчиков в социальных сетях как показатель потенциальной аудитории объектов исследования;
3) активность: анализ частоты размещения постов и сообщений с целью определения уровня вовлеченности и интереса аудитории;
4) тип распространяемой информации: новости, объявления – для распространения опроса. Сообщения и новости – для выгрузки данных.

В рамках онлайн-анкеты были вычислены коэффициенты идентичности и удовлетворенности сервисами, а затем эти данные успешно интегрированы в ГИС. Подход к визуализации результатов представлен с использованием цветовой кодировки на карте, где насыщенность цвета отражает уровень соответствующего коэффициента. Результат картирования можно видеть на рисунке 3.

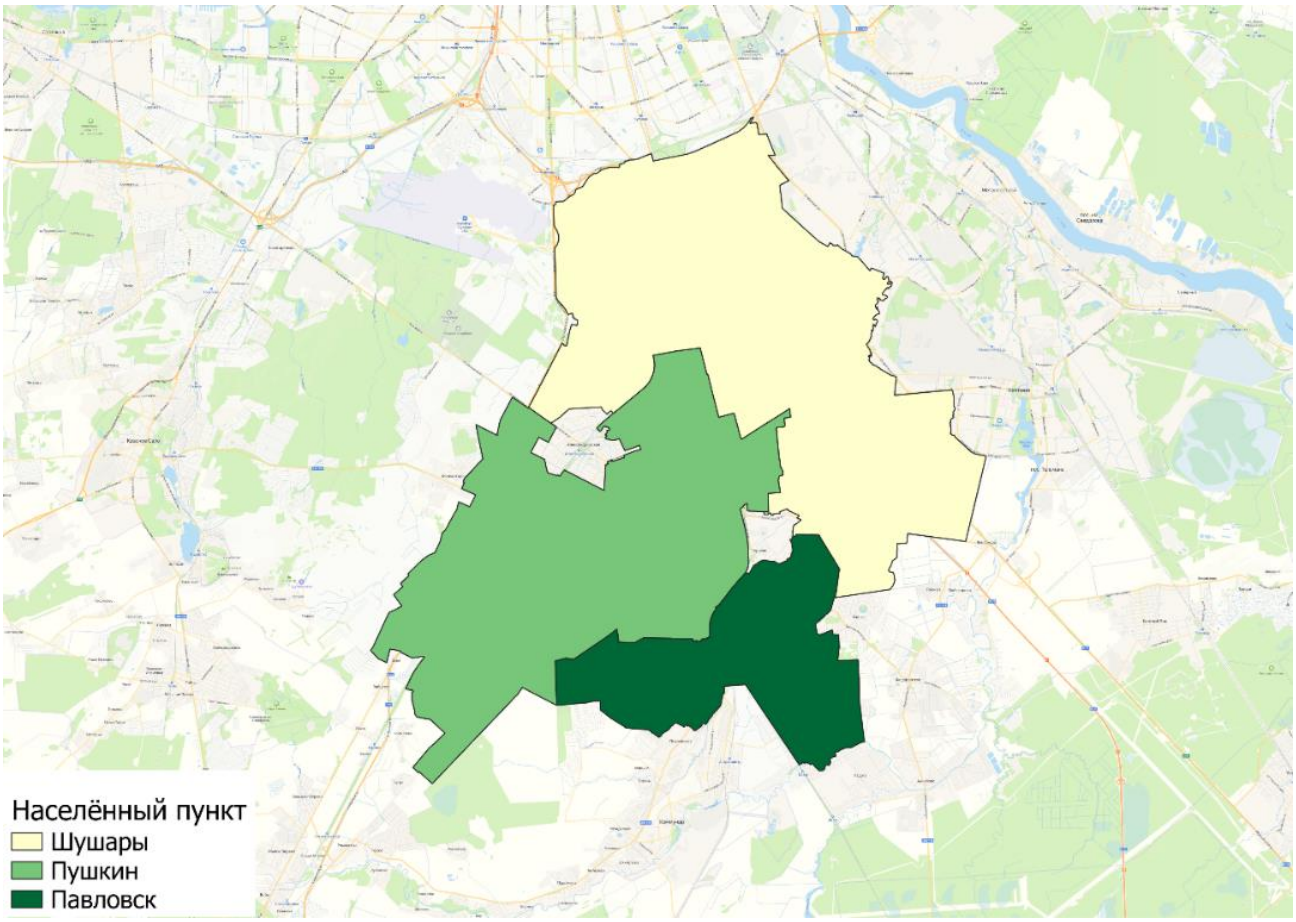


Рис. 3. Уровень самоидентификации жителей

На втором этапе, на основе промежуточных выводов онлайн-анкетирования были сформулированы вопросы для экспертов по исследуемой территории. Также на втором этапе был проведен семантический анализ текстов социальных сетей инструментами обработки естественного языка. Тексты были разделены на тематические кластеры, что позволило понять приоритетные темы в каждом поселении. На третьем этапе были сформулированы заключительные выводы по идентичности и представлена визуализация аналитики, а также представлены результаты исследования. Образец визуализации по посёлку Шушары представлен на рисунке 4.

Рис. 4. Облако слов по посёлку Шушары

Метод позволил эффективно собрать и проанализировать обширный объем данных в короткий срок. Результаты, представленные в таблице, показали особенности идентичности каждого из исследуемых поселений, были выделены ключевые компоненты, которые объединяют или разделяют жителей. Также исследование предоставляет возможность сделать прогнозы по развитию исследуемых поселений. Знание этих компонентов и их влияния на жителей может быть использовано для решения социальных проблем, прогнозирования и планирования развития территории.

Таблица

Сравнительный анализ идентичности

Вывод	Шушары	Пушкин	Павловск
Характер идентичности	Идентичность является негативной, и жители неохотно о ней говорят	Идентичность является позитивной	Идентичность является позитивной
Ядро идентичности	Идентификация формируется вокруг инфраструктурных проблем и социальной активности жителей	Идентификация формируется вокруг богатых культурно-исторических ресурсов, а также уровня жизни	Идентификация формируется вокруг богатых культурно-исторических ресурсов Павловска
Отношение к идентичности	Склонны не ассоциировать себя с Шушарами, обращаются к символическим ресурсам Пушкина	Жители активно и с удовольствием ассоциируют себя с Пушкином	Двухуровневая позитивная идентичность: сильная своя «малая» и «большая Пушкинская». Жители ситуативно пользуются обеими
Дополнительная особенность	–	Является «донором идентичности» для соседей	–

Список использованных источников

1. Картавцев В.В. Россия Быстрая этнография (REAPFQI+): к прагматике полевых обследований // Социология власти. – 2021. – №. 3. – С. 52–77.
2. Tajfel H. The social identity theory of intergroup behavior / H. Tajfel, J. C. Turner // Political psychology: Key readings / H. Tajfel, J. C. Turner. – 1st Edition. – New York: Psychology Press. – 2004. – №. 1. – Pp. 1–18.
3. DeepPavlov/rubert-base-cased. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://huggingface.co/DeepPavlov/rubert-base-cased (дата обращения: 20.01.2024).

УДК 004.85

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ОБЪЯСНИМОСТИ РЕШЕНИЙ ДЛЯ МНОГОАГЕНТНЫХ СИСТЕМ ФОРМИРОВАНИЯ «ВТОРОГО МНЕНИЯ» В МЕДИЦИНЕ

Исаков А.О.[1] *(аспирант)*
Научный руководитель – с.н.с., к.т.н. Гусарова Н.Ф.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: art.isakow@yandex.ru

В работе рассматриваются методы для интерпретации и реинжиниринга распределенных интеллектуальных систем (РИС) на основе логики объяснимого искусственного интеллекта. Приводится анализ возможностей когнитивного фреймворка Belief-Desire-Intention (BDI) для создания единого формализма описания агентов естественного (ЕИ) и искусственного (ИИ) интеллектов, включаемых в состав распределённой интеллектуальной системы.

Ключевые слова
Распределенные интеллектуальные системы, объяснимость, естественный интеллект, искусственный интеллект, Belief-Desire-Intention.

Потребность в интерпретации и реинжиниринге РИС вытекает из необходимости учета специфики существования, поведения и взаимодействия агентов различной природы (ЕИ и ИИ) в едином логическом контуре принятия решений.

В ходе данного исследования были выявлены следующие особенности:

1. Глобальные решения, формируемые РИС, могут являться в самом деле субоптимальными или и вовсе неудовлетворительными для агентов ЕИ, в частности, пациентов и медицинский персонал. Тем не менее, предоставление объяснений относительно принятых решений, может повысить удовлетворенность и предотвратить образование конфликтов. Более того, в законодательстве многих стран уже закреплено право граждан на получение значимой информации о логике принятия автоматизированных решений [1].
2. Для агентов ЕИ в рамках одной и той же РИС требуются разные типы объяснимости. Например, в [2] выделяются такие типы объяснимости, как социальная – на уровне общепринятых для РИС социальных норм, межагентная – на уровне гармонизации взаимоотношений внутри группы агентов ЕИ, конфликтуальная – на уровне разрешения конфликтов между конкретными агентами ЕИ в РИС.
3. Все чаще при проектировании РИС поднимаются этические вопросы [3]. Для проектирования этических агентов в основном используются два подхода: неявные этические архитектуры, которые проектируют поведение агента либо путем реализации для каждой ситуации способа избежать потенциального неэтичного поведения, либо путем обучения на человеческом опыте; когнитивно-этические архитектуры, которые основаны на эксплицитном представлении всех факторов поведения агента и их проверке на некоторых эвристиках или типовых примерах.

Таким образом, прослеживается потребность в использовании генерализующего подхода для описания агентов, входящих в состав РИС, независимо от природы их интеллекта – ЕИ или ИИ. В качестве базы для такого подхода в настоящем исследовании рассматривается BDI-агентная модель.

Концепция BDI (Belief-Desire-Intention) для моделирования поведения агента РИС [4] состоит в следующем.

Агент BDI – это тип ограниченно рационального программного агента, наделенный определенными свойствами, а именно: убеждениями, желаниями и намерениями (BDI).

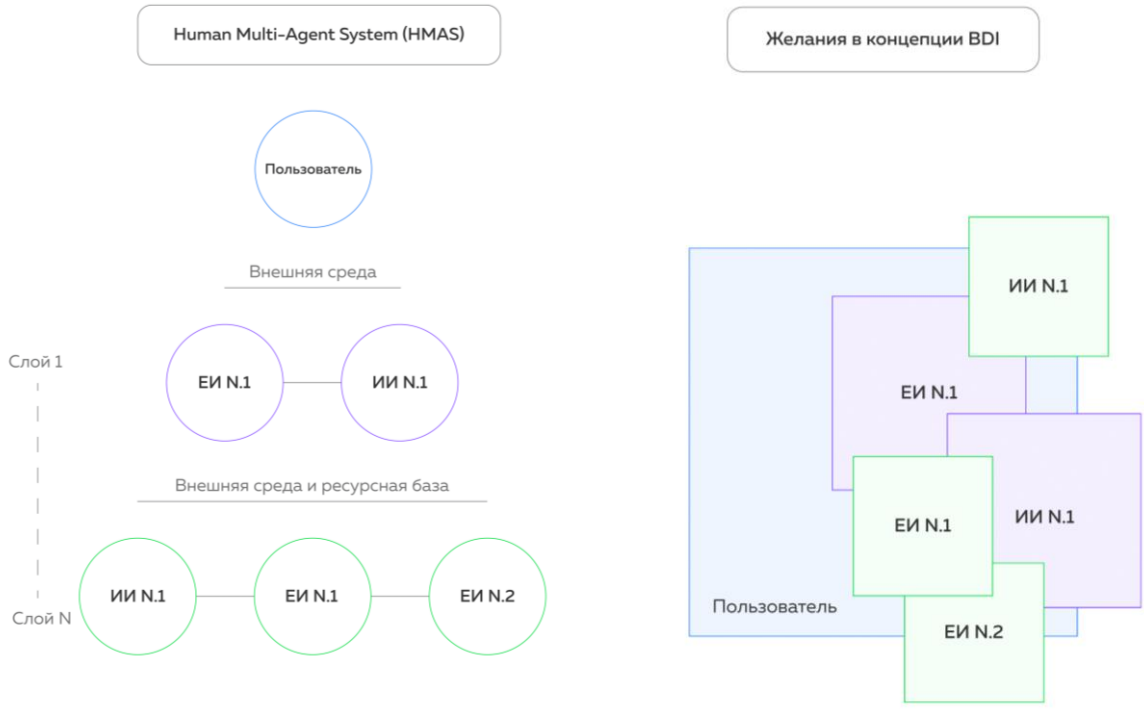
Убеждения (Belief) представляют собой информационное состояние агента, другими словами, его представления о мире (включая себя и других агентов), реализованные в виде некоторого поля знаний (не обязательно объективно верного).

Желания (Desire) отражают мотивационное состояние агента. Они представляют цели или ситуации, которые агент хотел бы достичь или осуществить. Среди желаний выделяются цели – желания, которые агент принял для активной реализации.

Намерения (Intention) в реализованных системах понимаются как тот факт, что агент готов приступить к действиям по достижению конкретной цели. Среди намерений выделяются планы – последовательности действий, которые агент строит (или предполагает реализовать) для достижения одного или нескольких своих намерений. Планы могут быть изначально задуманы лишь частично и детализироваться по мере их реализации.

Обзор литературы позволяет выделить несколько успешных попыток использования концепции BDI для объяснения различных аспектов работы РИС. В качестве одной из первых работ по объяснению поведения BDI-агентов следует назвать [5], где объяснение сводится к инверсии лога поведения агента в условиях строго иерархической структуры его целей. Однако, ограничения, накладываемые на искусственную организацию целей, затрудняют масштабирование и интеграцию результатов работы в решение задач реального мира.

В рамках данного исследования концепция интерпретации и реинжиниринга РИС для поддержки принятия решений на основе логики объяснимого ИИ была адаптирована к единому формализму описания агентов, независимо от их природы – естественного (ЕИ) или искусственного (ИИ) интеллекта. Общая схема такой адаптации приведена на рисунке 1.



а б

Рис. 1. Адаптация концепции BDI

На рисунке 1 (а) агенты, работающие кооперативно, объединены внутри одного слоя, в то время как слои представляют собой конкурирующие группы агентов внутри РИС. Слои могут быть разделены внешней средой, характеризующейся разными начальными условиями – пространственной сложностью, доступом к ресурсной базе и т. д.

В зависимости от способа построения РИС и степени состязательности, агенты могут иметь неравный доступ к аппаратному и ресурсному оснащению, неравные начальные условия внешней среды, и даже разные модели BDI, в частности, Desires (рис. 1, б). Таким образом, наблюдается не древовидный, не строго иерархический характер локальных целей, при сохранении межагентных связей в рамках единой глобальной цели.

BDI представляет собой мощный инструмент для концептуализации процесса принятия агентом решений на основе трех основных понятий (рис. 2).

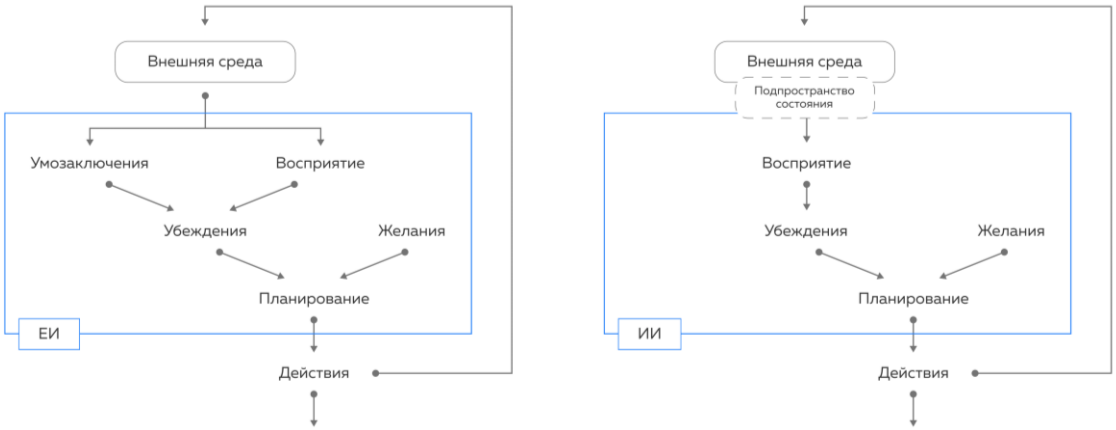


Рис. 2. BDI структура агентов ЕИ и ИИ

Агенты ЕИ и ИИ по-разному взаимодействуют с внешней средой и, следовательно, формируют убеждения. ИИ в меру ограниченности используемых технологий наблюдает только часть мира, т. е. некоторое заданное пространство состояний. В то же время агенты ЕИ, взаимодействуя с внешней средой непосредственно, наблюдают и составляют умозаключения вне классического цикла обучения ИИ с обратной связью, а также уже имеют систему представлений о мире, сформированную как личным, так и общечеловеческим предшествующим опытом, которая может модифицировать текущее состояние их убеждений.

Эта интроспективная архитектура предлагает несколько преимуществ для РИС:

1) BDI может отражать все нюансы ментальных состояний как человека, так и агентов ИИ, от простых желаний до сложных планов и непредвиденных обстоятельств;
2) обеспечивает единую структуру для описания агентов различного происхождения и возможностей, позволяя беспрепятственно взаимодействовать и сотрудничать в рамках РИС;
3) облегчает рассуждения и прогнозирование поведения агентов, способствуя доверию и сотрудничеству в системе.

Желания вместе с убеждениями и намерениями агентов в РИС формируют уровень абстракции, доступный для дизайнеров РИС, которые хотят понять текущую систему поведения, взаимодействовать с другими заинтересованными сторонами и разработчиками или сформулировать новые требования для улучшения системы.

Предыдущий уровень может быть расширен до более высокого, включающего профильные области знаний и представлений. Такое видение обеспечивает комплексное понимание экспертом высокоуровневого поведения системы, как если бы оно было описано другими людьми.

Существенным преимуществом использования когнитивного фреймворка BDI для описания РИС является то, что она органично интегрируется с концепцией обучения с подкреплением (Reinforcement Learning, RL). Их сочетание может быть представлено в виде двухуровневой архитектуры, в которой более высокоуровневый и, следовательно, медленный цикл BDI направляет более быстрый, адаптивный цикл RL. Явное представление желаний и намерений в BDI становится каркасом для RL, предлагая ценное высокоуровневое направление.

Например, если агент ИИ (виртуальный робот), перемещающийся по лабиринту, имеет желание (D) добраться до выхода. Это желание отражается в процессе выбора действий RL, склоняя агента к действиям, направленным на достижение выхода, например, к повороту налево на развилке, а не направо.

Планы (D) как последовательности безопасных и эффективных навигационных инструкций могут быть введены в RL в качестве начальных стратегий. Это сокращает время, которое агент тратит на слепое исследование методом проб и ошибок, ускоряя процесс обучения.

Убеждения BDI о мире, такие как понимание скрытых опасностей или коротких путей, могут динамически изменять функцию вознаграждения в RL. Это побуждает агента отдавать предпочтение действиям, которые соответствуют его долгосрочным целям, например избегать опасных ловушек, даже если они предлагают временное вознаграждение.

Концепции BDI также могут быть использованы для представления поведения других агентов в многоагентных средах RL. Рассуждая об убеждениях, желаниях и намерениях других агентов, конкретный агент может предвидеть их действия и принимать более обоснованные решения в контексте социальной среды. И, наоборот, в совместных задачах, таких как сбор ресурсов несколькими роботами, агенты BDI могут делиться своими целями и планами, что позволяет им синхронизировать свои действия и эффективно выполнять общую задачу.

В целом, BDI предлагает прозрачный взгляд на процесс принятия решений агентом, что делает алгоритмы RL более объяснимыми и интерпретируемыми. Это может иметь решающее значение для отладки, выявления потенциальных ошибок и укрепления доверия к системам на основе RL.

Разберем конкретный пример разработки интеллектуального ассистента обучающего процесса ординаторов радиологического отделения (рис. 3).

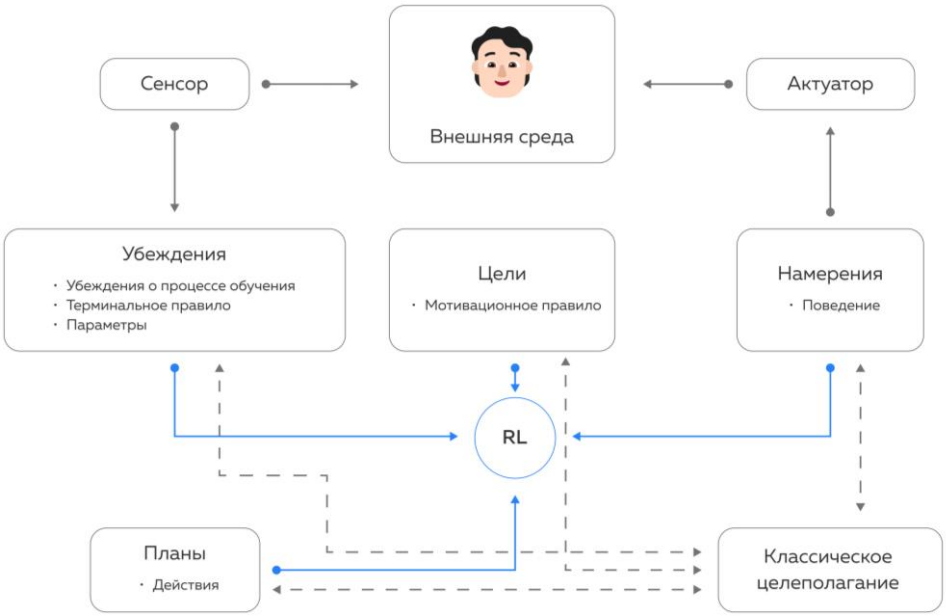


Рис. 3. Графическое представление двухконтурного алгоритма принятия решений

В таком случае представления о состоянии среды включают в себя результаты предварительной оценки ординатора: вступительные тесты, информация о перечне пройденных дисциплин, часах и успеваемости, извлеченная из сведений о профиле обучения / паспорте специальности.

Функция вознаграждения задана как произведение абсолютной и относительной частоте правильно решенных кейсов. Начально представление состоит в том, что каждый ординатор имеет равные шансы выполнить или провалить назначенное задание.

Политика действий агента задается в рамках возможностей платформы и была частично рассмотрена в предыдущем разделе. Агент может использовать других агентов в сети РИС для передачи живого опыта, например, подбирать для ординатора курирующего врача или составлять пары ординаторов и обменивать между ними решения реально существующих клинических случаев или сгенерированных им обучающих материалов. Помимо этого, он может подбирать наборы обучающих тем из разных отраслей радиологии, которые, по его мнению, лучше всего усваиваются вместе или, наоборот, раздельно.

Цель агента – максимизировать абсолютную и относительную частоту успешно составленных и принятых специалистов высшей квалификации предварительных дифференциальных отчетов и размеченных снимков.

Намерения агента представляю собой план действий, они определяют какие шаги по изменению текущей политики должны быть предприняты, в соответствии с целями и обновленными убеждениями. В частности, намерения могут представлять собой переключение между набором доступных ему дискретных состояний.

Цикл BDI образует непрерывный цикл обучения в RL. Агент обновляет свои убеждения в результате регулярной переоценки успехов обучающегося, корректирует свои желания на основе новой информации и уточняет свои намерения, чтобы улучшить свою работу в окружающей среде.

В зависимости от настроек платформы, которые задаст оператор, приоритет может отдаваться какой-то конкретной области радиологии или же наоборот, назначить равные веса всем доступным областям. Кроме того, оператор может по желанию модифицировать набор оптимизируемых областей радиологии, например, сосредоточиться только на онкологиях или только на травмах. Оператор также может задать фактор дисконтирования, балансируя работу интеллектуального агента между краткосрочной и долгосрочной перспективой.

Намерения агента представляют собой план действий, они определяют какие шаги по изменению текущей политики должны быть предприняты, в соответствии с целями и обновленными убеждениями. В частности, намерения могут представлять собой переключение между набором доступных ему дискретных состояний.

Цикл BDI образует непрерывный цикл обучения в RL. Агент обновляет свои убеждения в результате регулярной переоценки успехов обучающегося, корректирует свои желания на основе новой информации и уточняет свои намерения, чтобы улучшить свою работу в окружающей среде.

Таким образом, в работе представлены разработанные теоретические основы для практической интеграции технологий объяснимых распределенных интеллектуальных систем в процесс работы радиологического отделения лечебно-профилактического учреждения.

Список использованных источников

1. Goodman B., Flaxman S. European Union Regulations on Algorithmic Decision-Making and a “Right to Explanation”: 3 // AI Magazine. – 2017. – Vol. 38. – №. 3. – Pp. 50–57.
2. Alzetta F. et al. In-Time Explainability in Multi-Agent Systems: Challenges, Opportunities, and Roadmap // Explainable, Transparent Autonomous Agents and Multi-Agent Systems / ed. Calvaresi D. et al. – 2020. – Pp. 39–53.
3. Gal K., Grosz B.J. Multi-Agent Systems: Technical & Ethical Challenges of Functioning in a Mixed Group // Daedalus. – 2022. – Vol. 151. – №. 2. – Pp. 114–126.
4. Harbers M., van den Bosch K., Meyer J.-J. Design and Evaluation of Explainable BDI Agents // 2010 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology. – 2010. – Vol. 2. – Pp. 125–132.
5. Brandao M. et al. Explainability in Multi-Agent Path/Motion Planning: User-study-driven Taxonomy and Requirements // Proceedings of the 21st International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems. Richland, SC: International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems. – 2022. – Pp. 172–180.

УДК 004.896

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ САМООБУЧЕНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧ СЕГМЕНТАЦИИ ОДНОРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Крюков А.Д.[1] *(студент),* ***Прокопов Е.М.***[1] *(студент),* ***Румянцева М.Ю.***[1] *(аспирант)*
Научный руководитель – к.т.н. Ефимова В.А.

1 – Университет ИТМО

e-mail: andrewkriukov@yandex.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №623097 «Разработка библиотек перспективных методов машинного обучения».

Анализ пенной флотации является важнейшей задачей при переработке полезных ископаемых и в металлургии. Использование методов самообучения позволяет нам повысить точность семантической сегментации флотационной пены без необходимости в объемных размеченных датасетах. Лучшие из предложенных в работе методов превосходят базовый показатель для помеченного набора данных на 3%. Полученные результаты дают ценную информацию о сильных сторонах и ограничениях использования самообучения при анализе изображений пены, прокладывая путь для дальнейших достижений в этой области.

Ключевые слова
Машинное обучение, компьютерное зрение, флотация, нейронные сети, методы самообучения, глубокое обучения, семантическая сегментация.

Руды цветных металлов обычно содержат большой процент пустой породы, и флотация является широко используемым методом обогащения. Флотация - эффективный метод обогащения полезных ископаемых, основанный на различной способности элементов удерживаться на границе раздела двух сред из-за разницы в их удельной поверхностной энергии. Один из вариантов флотации, пенная флотация, предполагает пропускание пузырьков воздуха через смесь частиц руды и воды. В результате этого процесса на поверхности образуется пена, которая насыщена компонентами, способными всплывать. Этот метод обогащения эффективно выделяет ценные компоненты из смеси, что делает его важным этапом в производстве цветных металлов. Оборудование для флотации требует тщательного контроля качества пены со стороны технологов. Обычно используется визуальная оценка, но возникают проблемы из-за динамической природы пены, что затрудняет точное определение.

Традиционные подходы к обучению моделей семантической сегментации сталкивается с недостатком больших наборов размеченных данных, особенно это касается однородные данные, так как их размечать намного трудозатратнее. Самообучение же является многообещающим методом, который может позволить нам справиться с этой проблемой. В отличие от контролируемых методов, которые обучаются на размеченных наборах данных, самообучение позволяет увеличивать точность моделей при помощи создания синтетических задач на основе неразмеченных данных. Вклад нашей работы заключается в оценке эффективности методов самоконтроля для однородных данных, таких как флотационная пена, и предложении более эффективных методов сегментации пузырей.

Мы выбрали несколько методов, которые охватывают несколько типов самостоятельного обучения, чтобы определить, что может улучшить сегментацию. Для всех подходов мы расширили современную модель сегментации, используя предварительное обучение на немаркированных данных.

Первым методом была выбрана задача решения мозаики [1]. Этот метод улучшает понимание данных моделью за счет сегментации изображения, обучая ее распознавать и

восстанавливать точное расположение сегментов, тем самым улавливая общий контекст, структуру и пространственные связи. Мы предположили, что подход с использованием мозаики обеспечит лучшее понимание структуры изображения, поскольку всплывающие пузырьки представляют собой повторяющуюся связанную текстуру.

Далее нами был опробован метод Barlow twins [2]. это подход к обучению с самоконтролем, который включает в свою методологию принцип сокращения избыточности из неврологии. Barlow Twins достигает этого, обучая 2 идентичные сети на обычных данных и измененных при помощи различных аугментаций. Алгоритм учится распознавать похожие фотографии при применении к ним аугментаций, и тем самым сеть учится лучше извлекать структурные признаки фотографий.

Следующим методом был выбран метод на основе контрастного обучения, а именно MoCo [3]. Методы контрастного обучения создают динамические словари, где закодированные "ключи" (токены) отбираются из данных, и сеть учится определять похожие и максимизировать разницу между непохожими. Способность MoCo изучать инвариантные признаки посредством увеличения объема данных может повысить устойчивость модели, способствуя более надежному извлечению признаков.

Последний метод, это Spark [6], который мы попробовали в нашей работе это подход, который позволяет вам предварительно обучать любую сверточную сеть в режиме самообучения, сходного с BERT, т. е. маскировать части изображения и восстанавливать их на основе контекста для восстановления изображений. Модель превосходит современное контрастивное обучение и моделирование в масках на основе трансформера, но поскольку изображения пены довольно однородны, возможно, что автоэнкодеры будут предсказывать шум вместо структурированных пузырьков.

Для финальной решения задачи сегментации мы выбрали две разные модели из семейства U-Net [4]. U-Net — это архитектура нейронной сети, предназначенная для сегментации изображений. Кроме того, одной из причин, по которой была выбрана U-Net, является ее архитектура энкодер-декодер, которая позволяет легко интегрировать предварительно обученный кодер. Архитектура RCA-IUnet [5] использует топологию U-Net, но модернизирует слои свертки, делая их более оптимизированными в плане обучения на малых наборах данных.

Рис. 1. Пример изображения пены

Для обучения нейросетей и проведения экспериментов мы использовали набор из 10 видео от 30 секунд до 4 минут, где всего размечено было 655 кадра. Также перед экспериментами с методами самообучения мы выбрали оптимальную функцию потерь для архитектуры Unet. Были протестированы популярные функции потери для задач сегментации,

включая бинарную перекрестную энтропию (BCE), функция потери от различий сходства (Dice), комбинацию потерь Dice и BCE, функцию потерю Jaccard, а также вариант перекрестной-энтропийной функции потерь, оптимизированной для решения задач при дисбалансе классов.

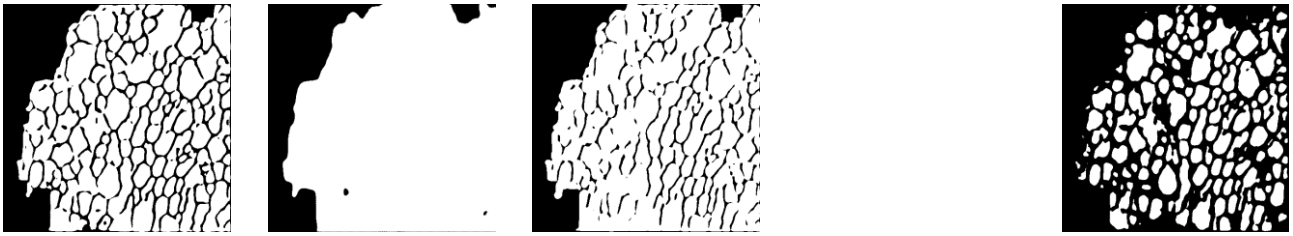


Рис. 2. Результаты разных функций потерь

Кроме использования метрик в качестве оценки качества функций потерь мы также, в связи со спецификой данных, проверяли качество на примерах из тестового набора, смотря на четкость разделения границ пузырей. Из рисунка 2 видно, что самыми оптимальным являются функции BCE и Focal, так как они лучше всего сегментируют отдельные пузыри. Для дальнейшего обучения была выбрана функция Focal, так как она построена для задач, в которых сильный дисбаланс классов.

Таблица

Метрики

	IoU	**mAP**
Unet	0.54	0.31
RCA-IUnet	0.53	0.29
BT-Unet	0.63	0.35
BT-RCA-IUnet	0.56	0.29
MoCo-Unet	0.63	0.33
MoCo-RCA-IUnet	0.52	0.28

Далее мы провели серию экспериментов на основе архитектуры Unet с различными подходами самообучения.

Как мы можем видеть из результатов таблицы 1, наилучшие результаты показали подходы, основанные на контрастивном обучении - MoCo и сокращении избыточности - Barlow Twins, в то время как подходы, основанные на решении мозаики и автоэнкодерах, не обеспечили существенного улучшения. Для обучения модели на автоэнкодерах были взяты веса, предварительно обученные на датасете ImageNet, но данный подход не смог повысить метрики. Вероятно, это связано с тем, что автоэнкодер, который управляет моделью, плохо справляется с однородными данными и не может их качественно восстановить. При попытке восстановить данные с помощью изображения с пеной среднего размера становится ясно, что данные не подходят для энкодера, поскольку они залиты одним цветом, в то время как если он восстанавливает изображение с большой пеной, то они восстанавливаются довольно хорошо.

Кроме того, важным критерием отбора моделей служил способ визуального анализа, так как метрики не всегда могут давать результаты, которые соотносятся с реальным качеством модели, поэтому мы также сравнили результаты моделей с предобучением и без на некотором количество фотографий из тестового набора данных, результаты можно увидеть на рисунке 3. Как мы видим из таблицы, самые лучшие результаты показали методы основанные на сокращении избыточности - Barlow twins и контрастном обучении – MoCo, способы самообучения основанные на решения мозаики и автоэнкодерах ухудшили результаты.

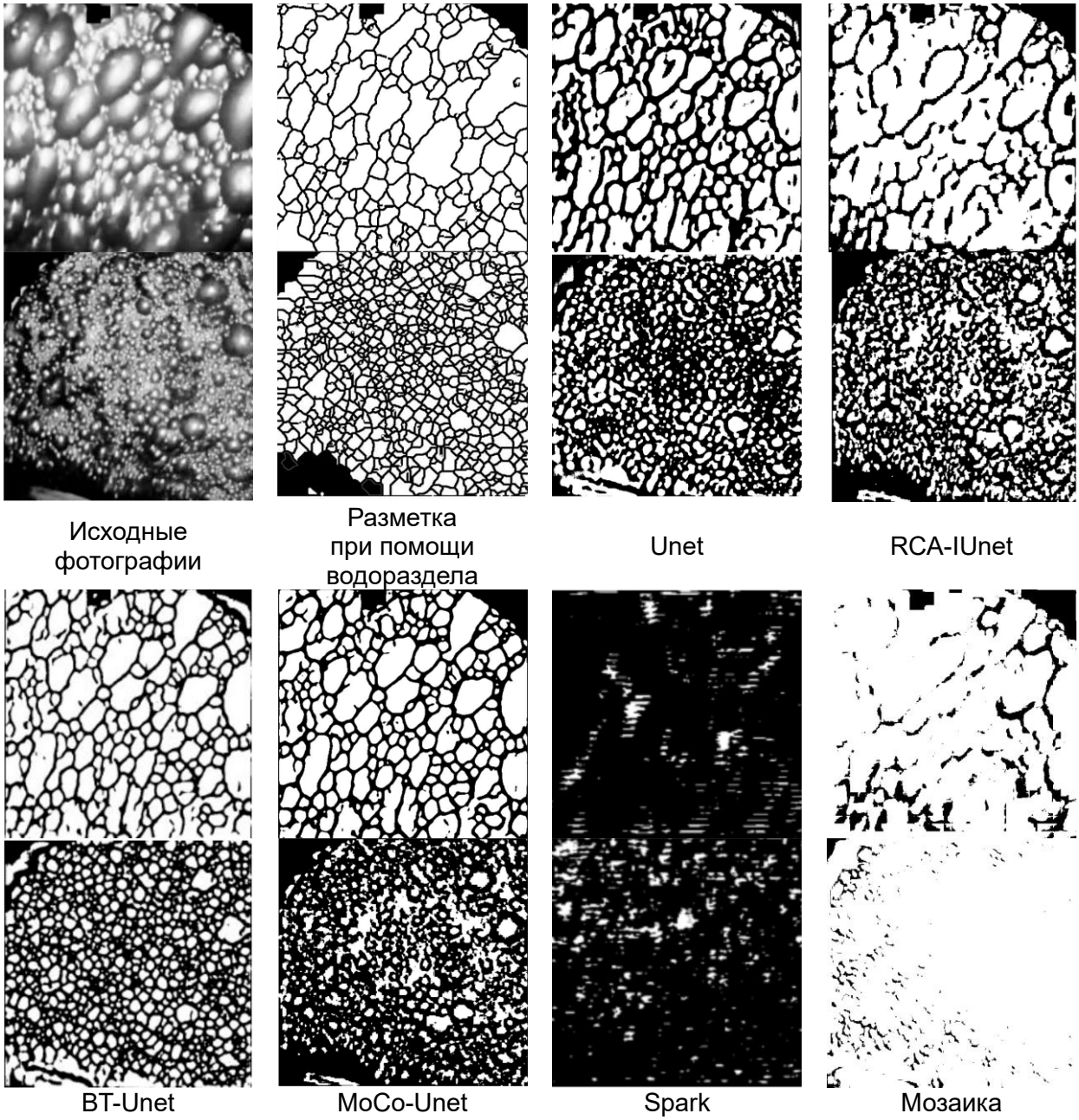


Рис. 3. Работа моделей

По итогу мы пришли к выводу, что оптимальными являются модели, которые при предобучении позволяют сети получить информацию о конфигурации данных и повысить качество извлечения признаков.

Одной из самых главных проблем, которую нам удалось выявить, это то, что модель “склеивает” несколько маленьких пузырей в один большой, одним из вариантов решения проблемы является добавление в функцию потерь штрафа за заход за границы пузыря или применение методов, которые будут учитывать овальную форму пузырей.

В данной статье исследуется применимость методов самообучения для задачи сегментации флотационной пены. Мы изучили четыре различных подхода с самообучением для улучшения качества сегментации и выбрали два лучших - Barlow Twins и MoCo, причем Barlow Twins показали наилучшие результаты как с точки зрения показателей, так и визуально (0,63 IoU против 0,54 на исходном уровне). Хотя этот метод имеет свои ограничения, он значительно улучшает сегментацию по сравнению с обучением без предварительного самообучения. Кроме того, есть еще методы улучшения работы моделей в подобных задачах, а именно: улучшить качество обучающих данных, сократив их количество, используя ручные или более точные

методы разметки, а также использовать генеративную разметку, созданную с помощью 3D-моделирования или генеративных моделей. Кроме того, в этой статье не учитывается тот факт, что предоставленные данные являются видео; следовательно, данные о разнице кадров могут использоваться в качестве характеристик. Результаты этого исследования могут быть расширены и применены не только к данным пенной флотации, но и к другим видам сегментации однородных объектов.

Список использованных источников

1. Noroozi M., Favaro P. Unsupervised Learning of Visual Representations by Solving Jigsaw Puzzles // arXiv:1603.09246. – 2016.
2. Zbontar J., Jing L., Misra I., LeCun Y., Deny S. Barlow Twins: Self-Supervised Learning via Redundancy Reduction // arXiv:2103.03230. – 2021.
3. He K., Fan H., Wu Y., Xie S., Girshick R. Momentum Contrast for Unsupervised Visual Representation Learning // arXiv:1911.05722. – 2020.
4. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // arXiv:1505.04597. – 2015.
5. Punn N.S., Agarwal S. RCA-IUnet: A residual cross-spatial attention guided inception U-Net model for tumor segmentation in breast ultrasound imaging // arXiv:2108.02508. – 2021.
6. Tian K., Jiang Y., Diao Q., Lin C., Wang L., Yuan Z. Designing BERT for Convolutional Networks: Sparse and Hierarchical Masked Modeling // arXiv:2301.03580. – 2023.

УДК 004.89

ПРЕДИКТИВНАЯ ДИАГНОСТИКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

***Мамаева А.С.*[1]** *(студент)*
***Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Михайлова Е.Г.*[1]**

1 – Университет ИТМО

e-mail: asmamaeva@itmo.ru, amamaeva186@gmail.com

Работа выполнена в рамках темы НИР №623121 «Исследование методов предварительной обработки и анализа изображений с использованием глубоких нейросетевых моделей с вниманием и специальных мультиагентных дескрипторов».

Данное исследование посвящено оценке применимости метода YOLOv8, представляющего собой передовой метод в области компьютерного зрения, для решения задачи диагностики повреждений ветрогенераторов. Работа направлена на исследование возможности улучшения процесса диагностики с последующей целью повышения эффективности и автоматизации данного процесса в сфере ветроэнергетики.

Ключевые слова
Ветроэнергетика, обнаружение повреждений, инспекция с дрона, глубокое обучение, CNN, алгоритм YOLOv8.

В настоящий момент ветряная энергетика занимает важное место среди источников энергии и играет важную роль в нашей энергетической системе. По состоянию на конец 2020 года, общая установленная мощность ветрогенераторов составила внушительные 744 гигаватта (ГВт), что подчеркивает важность данного сектора [1]. Однако, в паре с ростом количества ветропарков возрастает и проблема повреждений лопастей ветрогенераторов, представляя собой серьезное испытание для эффективности и надежности этой технологии.

Статистика демонстрирует, что с 2015 года было установлено более 308 гигаватт новой мощности ветрогенераторов в масштабах всего мира, что соответствует 70% росту (рис. 1) [1]. Развитие этого сектора привело к тому, что доля ветроэнергии в общем мировом производстве электроэнергии достигла 6% в 2020 году, что приблизительно соответствует 1600 тераватт-часам [2]. Прогнозируется, что эта доля увеличится до 30% к 2050 году. Тем не менее этот внушительный рост приносит с собой увеличение инцидентов повреждений лопастей ветротурбин, тормозящих общий вклад ветроэнергетики в обеспечение энергетической устойчивости.

Повреждения лопастей выступают как основной вызов для эксплуатации ветрогенераторов. В 2014 году было зафиксировано 33 случая повреждений, при которых целиком или частично лопасти выходили из строя [3]. Эти происшествия приводят не только к высоким расходам на ремонт, но и вызывают значительные потери в производстве электроэнергии, отражаясь на общей эффективности ветропарка.

Таким образом, несмотря на важность ветроэнергетики, проблема повреждений лопастей остается актуальной и требует внимания в рамках научных исследований и инженерных разработок.

В свете важности проблемы повреждений лопастей ветрогенераторов и стремления к снижению стоимости энергии, возникает необходимость в создании и применении новых технологий, в том числе с применением искусственного интеллекта. Основная цель заключается в достижении более эффективной эксплуатации и инспекции с минимальным вмешательством человека. Тем не менее разработка технологии, способной проводить

инспекцию лопастей ветрогенераторов на месте, как для наземных, так и для морских турбин, в непредсказуемых погодных условиях и эффективно собирать высококачественные данные, представляет собой сложную задачу.

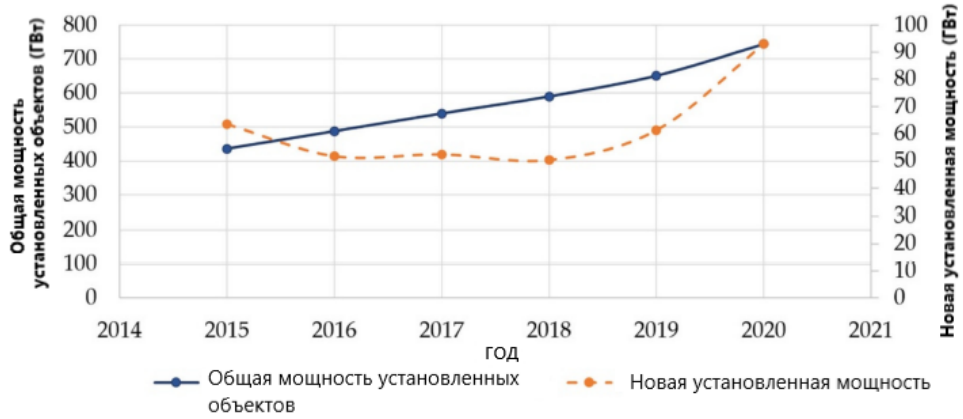


Рис. 1. Динамика изменения объема установленной мощности с 2015 года [1]

Использование беспилотных летательных аппаратов, таких как дроны, представляет собой эффективное решение для проверки состояния лопастей ветрогенераторов. Этот метод обеспечивает экономичность и регулярные инспекции, обеспечивает высококачественные оптические изображения и минимизирует вмешательство человека. Такой подход позволяет осуществлять предиктивное обслуживание с уменьшением затрат. Повреждения поверхности лопастей ветротурбин обладают характерными визуальными признаками, которые можно зафиксировать с помощью оптических камер на дронах. Однако некоторые внутренние повреждения, такие как делиминирование, отслоение или внутренние трещины, остаются невидимыми при использовании дронов с оптическими камерами. Данное исследование будет ограничиваться выявлением повреждений на поверхности лопастей ветрогенераторов.

Анализ повреждений на основе изображений обычно требует многочасового ручного труда, что является одним из факторов, приводящих к высоким затратам на инспекцию. Кроме того, ручная проверка изображений трудоемка и, следовательно, подвержена ошибкам. Внедрение автоматизированной системы, которая предлагает экспертам наиболее вероятные места повреждений, может существенно уменьшить количество необходимых человеческих часов и одновременно повысить эффективность ручного обнаружения, что в конечном итоге сокращает трудозатраты на анализ данных инспекции. Регулярные, экономичные и точные инспекции с использованием дронов также позволяют проводить техническое обслуживание ветрогенераторов менее часто, что потенциально снижает общую стоимость обслуживания и способствует уменьшению уровня стоимости производства энергии.

В современной области исследований, посвященной предиктивной диагностике поверхностных повреждений ветрогенераторов с использованием глубокого обучения, выделяются несколько ключевых методов, способных эффективно решать данную проблему: Faster R-CNN, SSD, EfficientDet, RetinaNet.

Для исследования использовались данные Nordtank за 2017 и 2018 годы, снятые в Роскилле, Дании. В данной работе рассматриваются различные виды повреждений на лопастях ветрогенераторов, включая коррозию, удары молнией, состояние молниеприемников, отсутствие зубьев на панелях вихревых генераторов и наличие заплаток.

Для обнаружения повреждений лопастей ветрогенераторов была использована стандартная архитектура глубокого обучения, основанная на модели YOLOv8n. Будучи передовой, современной моделью (State Of The Art на 2024 год) предоставляет высокую точность обнаружения объектов на изображениях и может быть успешно применена для анализа состояния лопастей с использованием данных, полученных с дронов.

Продемонстрируем результаты обучения модели на протяжении 150 эпох с использованием батчей размером 8 и входных изображений разрешением 1280 пикселей на рисунке 2.

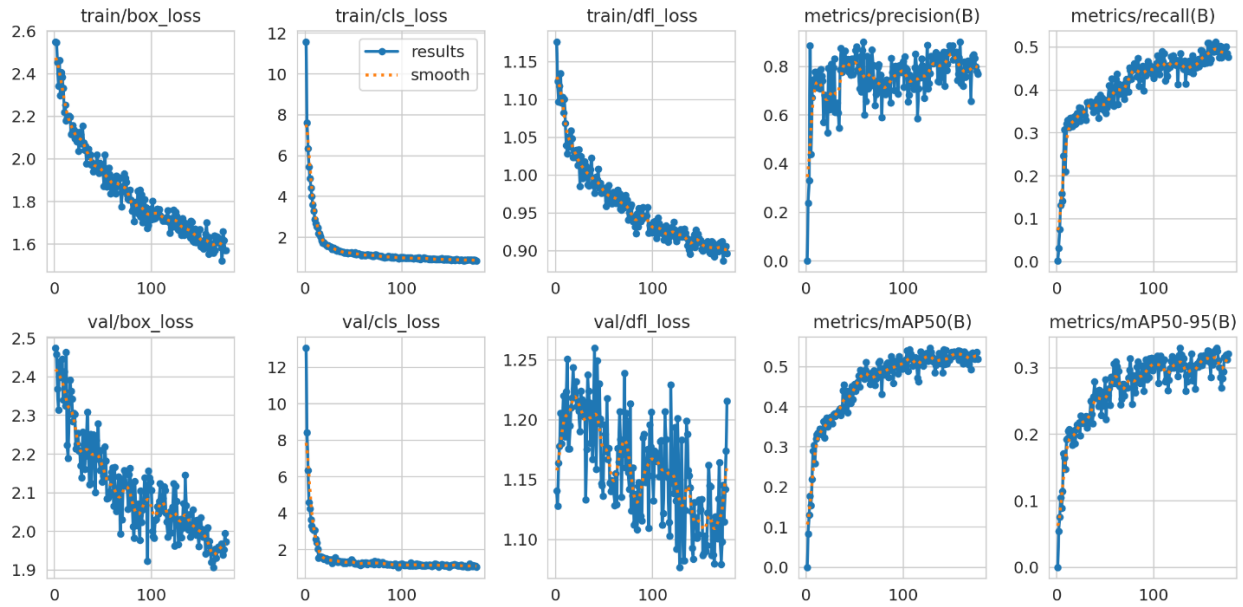


Рис. 2. Результаты обучения модели YOLOv8n

Рис. 3. Предсказания повреждений на тестовой выборке

Представим предсказания модели на рисунке 3 по выявлению повреждений на изображениях из обучающей выборки, визуализируя обнаруженные объекты.

Таким образом, разработка и применение современных методов глубокого обучения, таких как YOLOv8n, для автоматизированной диагностики повреждений ветрогенераторов показали хорошие результаты, что открыло перспективы для улучшения эффективности и надежности этой ключевой технологии в области ветроэнергетики.

Список использованных источников

1. Shihavuddin A., Chen X., Fedorov V., Nymark Christensen A., Andre Brogaard Riis N., Branner K., Bjorholm Dahl A., Reinhold Paulsen R. Wind Turbine Surface Damage Detection by Deep Learning Aided Drone Inspection Analysis // Energies. – 2019. – №. 12. – P. 676. https://doi.org/10.3390/en12040676.

2. Katsaprakakis D.A., Papadakis N., Ntintakis I. A Comprehensive Analysis of Wind Turbine Blade Damage // Energies. – 2021. – №. 14. – P. 5974. https://doi.org/10.3390/en14185974.
3. Caithness Wind Farm Information Forum. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://scotlandagainstspin.org/wp-content/uploads/2022/04/Turbine-Accident-Summary-to-31-March-2022.pdf (дата обращения: 19.02.2024).

УДК 004.942

НЕОБХОДИМОСТЬ ОБЪЯСНИМОСТИ РЕШЕНИЙ МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В МНОГОАГЕНТНЫХ СИСТЕМАХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗАДАЧ

Матвеев А.Г.*[1] *(студент)
***Научный руководитель – с.н.с., к.т.н. Гусарова Н.Ф.*[1]**

1 – Университет ИТМО

e-mail: alexzandermatveev@yandex.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №623090 «Методы и алгоритмы интеллектуальных сервисов и приложений».

В современной промышленности многоагентные системы (МАС) играют ключевую роль в автоматизации и оптимизации процессов, однако сложность таких систем часто осложняет понимание и интерпретацию принимаемых в них решений. Объяснимость алгоритмических процессов, хорошо изученная в областях с высоким уровнем риска, таких как медицина, остается недостаточно разработанной в контексте промышленных приложений. Данная статья описывает подходы к улучшению объяснимости в промышленно ориентированных МАС, используя модифицированный генетический алгоритм.

Ключевые слова
Многоагентные системы, генетические алгоритмы, объяснимость алгоритмов, промышленная оптимизация, автоматизация бизнес-процессов, визуализация принятия решений.

С развитием современных технологий применение многоагентных систем (МАС) получило широкое распространение в различных отраслях, включая производственные процессы. В то же время, повышение сложности таких систем ведет к усложнению процесса принятия и объяснения решений, что является критически важным аспектом в управлении, особенно в случаях, когда требуется оперативное вмешательство оператора. Традиционные алгоритмы, такие как алгоритм Дейкстры и другие методы оптимизации, не всегда эффективны в контексте МАС ввиду их неопределенности и динамичности.

Существующие подходы к объяснимости, такие как LIME и SHAP, предлагают механизмы оценки важности признаков [1, 2], но они недостаточно учитывают специфику МАС и динамические изменения во времени, которые могут быть критичны в принятии решений. Такие методы не всегда способны предоставить интуитивно понятные объяснения сложным системам для их валидации и проверки операторами.

Преимущество представленного в данной статье подхода заключается в использовании генетических алгоритмов (ГА) с целью поиска оптимальных решений, а также в разработке новых методов, способных улучшать объяснимость и интерпретируемость этих решений [3]. Применение ГА позволяет более гибко настраивать параметры системы и адаптироваться к динамичной среде МАС, учитывая не только точность, но и интерпретируемость решений.

Мы рассматриваем пример задачи, возникшей на угольном разрезе предприятия АО «Черниговец», где для оптимизации работы автомобильно-экскаваторных комплексов было принято использовать МАС и ГА. Особенность нашего подхода заключается в моделировании сценариев взаимодействия автомобилей и экскаваторов, что способствовало не только обретению эффективности системы, но и созданию прозрачной модели для последующего анализа и объяснения решений.

Среди основных проблем, возникающих при работе с многоагентными системами, стоит выделить трудности, связанные с поиском оптимальных решений в условиях неопределенности

и изменчивости внешних и внутренних параметров системы. Целью нашего исследования является разработка методов объяснения принимаемых системой решений, что позволит оперативно адаптироваться к изменениям и проводить корректировку действий, направленных на повышение эффективности работы МАС.

Задача разработки механизмов объяснимости особенно актуальна в условиях, когда каждое решение системы должно быть обоснованным и прозрачным для операторов и заинтересованных сторон. Принимаемые системой решения должны быть не только точными, но и понятными, что обеспечивает доверие к МАС и позволяет удобно управлять вносимыми изменениями, а также быстро обучать персонал работы с новыми системами.

Выявление и формализация критериев объяснимости требуют комплексного подхода, включающего теоретический анализ существующих моделей МАС, аналитическое моделирование и экспериментальную проверку. При использовании генетических алгоритмов цель состоит в поиске оптимальных конфигураций агентов при заданных условиях, с последующим объяснением разрешений полученных популяций.

Генетические алгоритмы – это методы оптимизации и поиска решений, основанных на принципах естественного отбора и генетики. Применение ГА в МАС обосновано их способностью адаптироваться к изменяющимся условиям и обнаруживать сложные взаимодействия в системе со множеством агентов. Однако традиционные реализации ГА зачастую ориентированы на поиск оптимального решения, не обращая должного внимания на объяснимость и интерпретируемость результатов. Важность объяснимости в МАС обусловлена не только потребностью в понимании результатов работы системы пользователями, но и необходимостью аудита и подотчетности принимаемых агентами решений [4]. Объяснимость становится ключевым фактором для обеспечения безопасности и надежности в критически важных применениях, таких как промышленные и транспортные системы. Для демонстрации принципов работы и решений МАС важна разработка визуализаций, которые позволят оценить динамику изменений в системе и прозрачность принимаемых решений. Визуализация становится важным инструментом для объяснения, особенно в условиях сложности и высокой степени абстракции МАС.

Исследуются различные представления генетических алгоритмов, адаптированных для объяснимости в МАС, включающих такие характеристики, как прозрачность, понятность и интерпретируемость принимаемых решений. Путем модификации классических операторов генетических алгоритмов (кроссовер, мутация и селекция) предлагаются новые подходы, способствующие генерации более интерпретируемых моделей, которые легче поддаются качественному анализу.

В экспериментах была использована симуляционная модель МАС, описанная в документе по оптимизации работы автомобильно-экскаваторных комплексов на угольном разрезе предприятия АО «Черниговец». Были проведены серии испытаний с различными сценариями и изменениями в параметрах системы. Результаты показали, что модифицированные генетические алгоритмы не только достигли сопоставимых с традиционными алгоритмами показателей по эффективности решений, но и обладали более высокой объяснимостью результатов, за счет которой удалось откорректировать нужные параметры, оптимизирующие внутреннюю логистику и снижающие технико-эксплуатационные расходы, тем самым увеличив прибыль предприятия на 10,6%. (рис. 1, 2). Реализованные изменения в операторах селекции и кодировании геномов, а также добавления визуализации пошагового построения позволили достигать решений, которые были легче интерпретируемы и их было проще объяснить пользователям (рис. 3, 4).

Проведенный анализ подтвердил, что введение критериев объяснимости в ГА способствует формированию более прозрачных и легко интерпретируемых популяций. С помощью визуализации динамики изменений геномов можно было ясно проследить как эволюционный процесс приводит к формированию оптимальных решений. Пользователи отметили улучшение в понимании логики работы системы, что укрепило доверие и удовлетворенность процессом принятия решений.

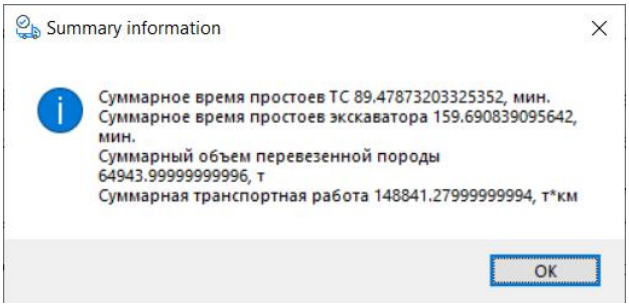


Рис. 1. Сводная информация по работе автомобильно-экскаваторного комплекса, базовый вариант предприятия

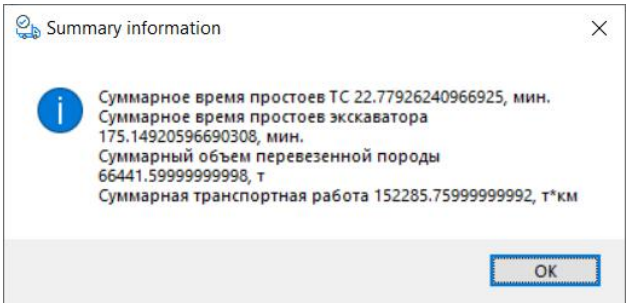


Рис. 2. Сводная информация по работе автомобильно-экскаваторного комплекса, лучший вариант ГА

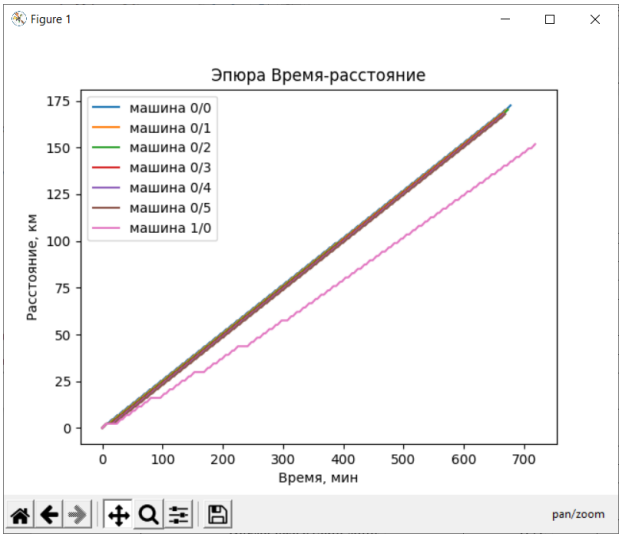


Рис. 3. Эпюра время-расстояние работы ТС на смене в 11 часов, базовый вариант предприятия

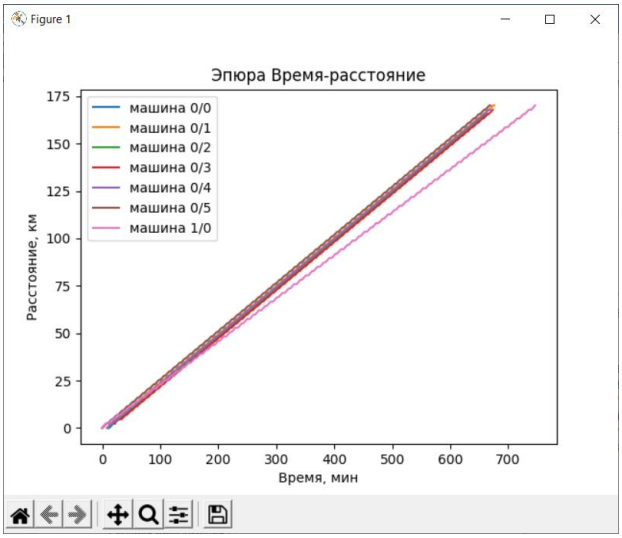


Рис. 4. Эпюра время-расстояние работы ТС на смене в 11 часов, лучший вариант ГА

Результаты экспериментов в значительной степени подтверждают, что улучшение объяснимости алгоритмических решений в МАС имеет важное значение не только в таких чувствительных областях, как медицина, где риски высоки и требуются четкие обоснования принимаемых решений, но и в различных отраслях промышленности.

Традиционно наличие риска или сложность проверки предстоящих результатов стимулируют внедрение принципов объяснимости в искусственный интеллект. Однако пример исследований, проведенных на предприятии «Черниговец», четко демонстрирует, что даже в условиях стабильной промышленной среды, где процессы кажутся изначально предсказуемыми и в некоторых случаях риски кажутся незначительными, объяснимость МАС может стать ключевым инструментом для разработки нетривиальных решений и обнаружения новых резервов повышения производительности.

В контексте рассматриваемого предприятия это означает, что внедрение модифицированных генетических алгоритмов с акцентом на объяснимость не только улучшило эффективность работы транспортной системы, но и предоставило ценные практические ориентиры для пересмотра бизнес-процессов. Улучшенная объяснимость алгоритмов помогла оперативному персоналу лучше понять предлагаемые модели и принимать осмысленные решения о внедрении изменений в рабочие процессы, что в итоге привело к открытию новых возможностей для увеличения объемов добычи и снижения издержек. Кроме того, процесс объяснения алгоритмических решений позволяет выявить и устранить случайные или системные недостатки в работе, не всегда очевидные при традиционных подходах к оптимизации. Опросы и обсуждения с экспертами и персоналом предприятия выявили, что детальное объяснение принципов работы и решений МАС способствует не только оценке их непосредственных результатов, но и способствует обучению и перекрестному обмену

знаниями между смежными областями. Таким образом, понимание алгоритмов может привести к неожиданным инсайтам и открытиям, которые выходят за рамки первоначальной задачи.

В ходе нашего исследования были предприняты шаги к увеличению уровня объяснимости в многоагентных системах (МАС) с использованием генетических алгоритмов. Через тщательно спланированные эксперименты и визуализации, мы продемонстрировали, что эти улучшения способствуют не только более эффективной работе системы, но и обеспечивают новые возможности для промышленных предприятий, таких как, открывая перед ними пути для оптимизации и инноваций.

Исследование выявило, что принципы объяснимости имеют неоценимое значение в промышленности, и доказали, что они могут служить не просто средством для достижения прозрачности и понимания решений, но и мощным стимулом для улучшения бизнес-процессов. Подходы, предложенные и проверенные в данной работе, могут помочь в открытии новых методов к управлению ресурсами, повышению производительности и снижению эксплуатационных расходов. Более того, процесс применения модифицированных генетических алгоритмов может быть инструментом для стимулирования кросс-дисциплинарного обучения и обмена знаниями, что может привести к синергетическим эффектам в разнообразных областях промышленности и науки. Отмеченные в исследовании наблюдения и выводы могут лечь в основу нового круга исследований, направленных на дальнейшую интеграцию объяснимости в стандартные процедуры проектирования и разработки МАС.

В заключение можем утверждать, что объяснимость является критически важной характеристикой для МАС в любой сфере, ведь она не только позволяет прозрачно осуществлять контроль и повышать доверие к автоматизированным системам, но и открывает новые горизонты для оптимизации работы предприятий и индустрии в целом.

Список использованных источников:

1. Lundberg S.M., Lee S.I. A unified approach to interpreting model predictions //Advances in neural information processing systems. – 2017. – Т. 30. – P. 4765.
2. Van der Velden B. H. M. et al. Explainable artificial intelligence (XAI) in deep learning-based medical image analysis //Medical Image Analysis. – 2022. – Т. 79. – P. 102470.
3. Zhang Y., Weng Y., Lund J. Applications of explainable artificial intelligence in diagnosis and surgery // Diagnostics. – 2022. – Т. 12. – №. 2. – P. 237.
4. Winfield A.F.T. et al. IEEE P7001: A proposed standard on transparency //Frontiers in Robotics and AI. – 2021. – Т. 8. – P. 665729.

УДК 004.852

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРИЗНАКОВОГО ПРОСТРАНСТВА НЕЙРОСЕТИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ КЛАСТЕРИЗАЦИИ

***Сукачев П.П.*[1]** *(аспирант)*
***Научный руководитель – с.н.с., к.т.н. Гусарова Н.Ф.*[1]**

1 – Университет ИТМО

e-mail: paha63rus@gmail.com

Работа выполнена в рамках проекта №323035 «Разработка методов построения объяснимого искусственного интеллекта на базе анализа топологических свойств преобразований признакового пространства в нейронных сетях».

В работе рассмотрено применение псевдозерновой культуры киноа в качестве нетрадиционного сырьевого ингредиента для российского потребителя с целью создания многокомпонентных рецептур, что обосновано ее высокой пищевой ценностью и содержанием белка отличительного качества для рационализации использования традиционных сырьевых ресурсов с целью разработки сбалансированных продуктов питания.

Ключевые слова
Нейронные сети, признаковое пространство, графы, датасет, кластеризация.

Благодаря высокому качеству результатов в решении задач широкого спектра искусственные нейронные сети (ИНС) сегодня активно применяются, исследуются и развиваются. В ходе обучения ИНС извлекают из исходных данных признаки, однако, для того, чтобы лучше понять, как работает нейросеть, какие внутренние группы данных она формирует и какие признаки она выделяет в датасете, необходимо проводить анализ признакового пространства. Визуализация этого пространства в динамике в процессе обучения позволяет лучше понять процессы, происходящие внутри нейронной сети [1].

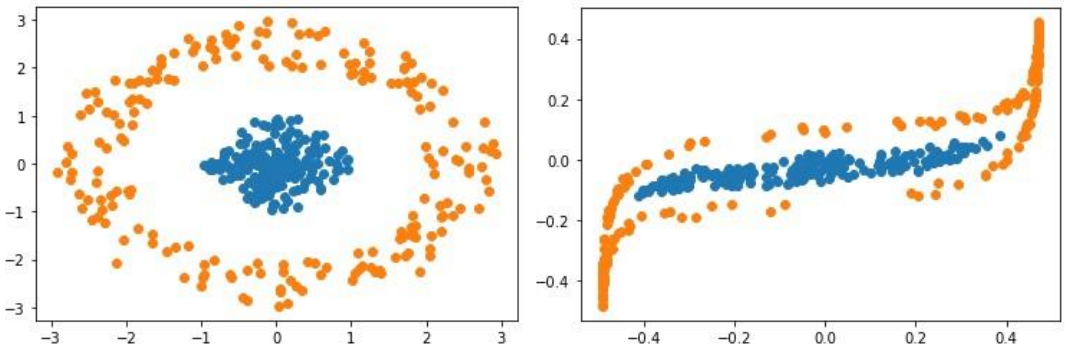


Рис. 1. Применение двунейронного полносвязного слоя с функцией активации tanh к 2D данным

На рисунке 1 представлен пример визуализации признакового пространства. Слева - входные данные, справа - результат их обработки нейронной сетью на начальных эпохах обучения. Хорошая модель рано или поздно должна разделить две группы точек в признаковом пространстве, и динамику этого разделения можно наблюдать непосредственно. Однако сложнее дела обстоят с реальными данными, имеющими значительно более сложную структуру и высокую размерность входного и промежуточного пространства признаков [2].

Например, данные во многих медицинских задачах могут иметь сильную зашумленность или общие для разных классов закономерности. На рисунке 2 представлены примеры классов из датасета ЭКГ.

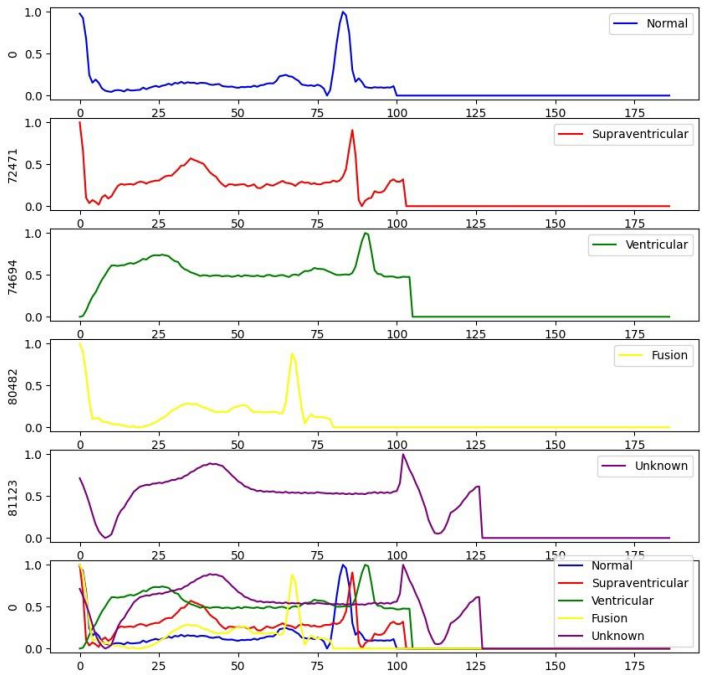


Рис. 2. Датасет ЭКГ, включающий один крупный класс нормальных кардиограмм и четыре класса, соответствующих разным аномалиям

Прямая визуализация даже в пространстве пониженной размерности может оказаться малоинформативной, и для анализа признакового пространства нужны более продвинутые методы. Одним из таких методов является использование mapper графа. Mapper граф – это инструмент, который позволяет визуализировать сложные данные, представленные в многомерном пространстве, в виде графа [3]. Каждая вершина графа соответствует кластеру точек данных, а ребра показывают связи между этими кластерами (рис. 3).

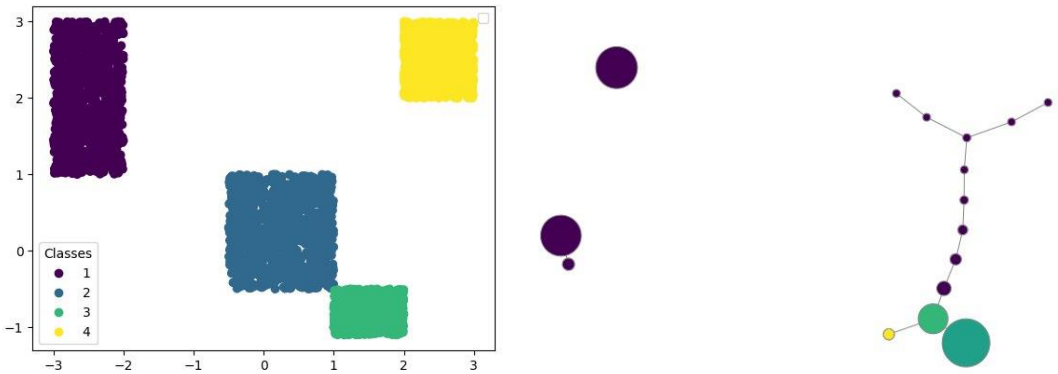


Рис. 3. Пример применения Mapper-графа к набору точек. Справа – граф, построенный относительно третьего класса; все остальные классы приняты «не третьим»

Применительно к признаковому пространству нейронной сети, mapper граф позволяет строить граф, в котором вершины представляют кластеры близко находящихся точек, а ребра – связи между этими кластерами. Это помогает выявить структуры и зависимости в данных, которые могли быть незаметны при обычной визуализации. Пространственная же близость группы точек в признаковом пространстве может трактоваться как выявление внутри этой группы общих признаков, поэтому самые крупные вершины, включающие точки одного класса, могут считаться наиболее показательными для всего класса.

Преимущества использования mapper графа в анализе признакового пространства нейросети заключаются в том, что он позволяет выявить структуру данных, которую сложно увидеть другими методами [4]. Mapper граф помогает обнаружить скрытые закономерности и взаимосвязи между признаками, что может быть полезно для оптимизации работы нейросети и улучшения ее производительности.

На рисунке 4 представлен пример применения этого алгоритма к нейронной сети, состоящей из слоя LSTM и трех последовательных полносвязных слоев, обрабатывающей уже двухклассовые ЭКГ-данные. Это представление в первую очередь позволяет отслеживать сразу два типа динамики: во-первых, динамику эволюции слоев от эпохи к эпохе и во-вторых – перетекание данных от начала модели к выходу. Спектральная шкала здесь показывает степень смешенности ноды, то есть соотношение количества данных разных классов. Можно видеть, как по мере движения к выходному слою остается всё меньше обособленных кластеров, а также уменьшается степень смешанности. На выходе обученной сети получается два крупных чистых кластера - центры стяжения для разных классов. Ввиду того, что точность классификации не стопроцентная, наличие малых вершин, в том числе и смешанных, ожидаемо.

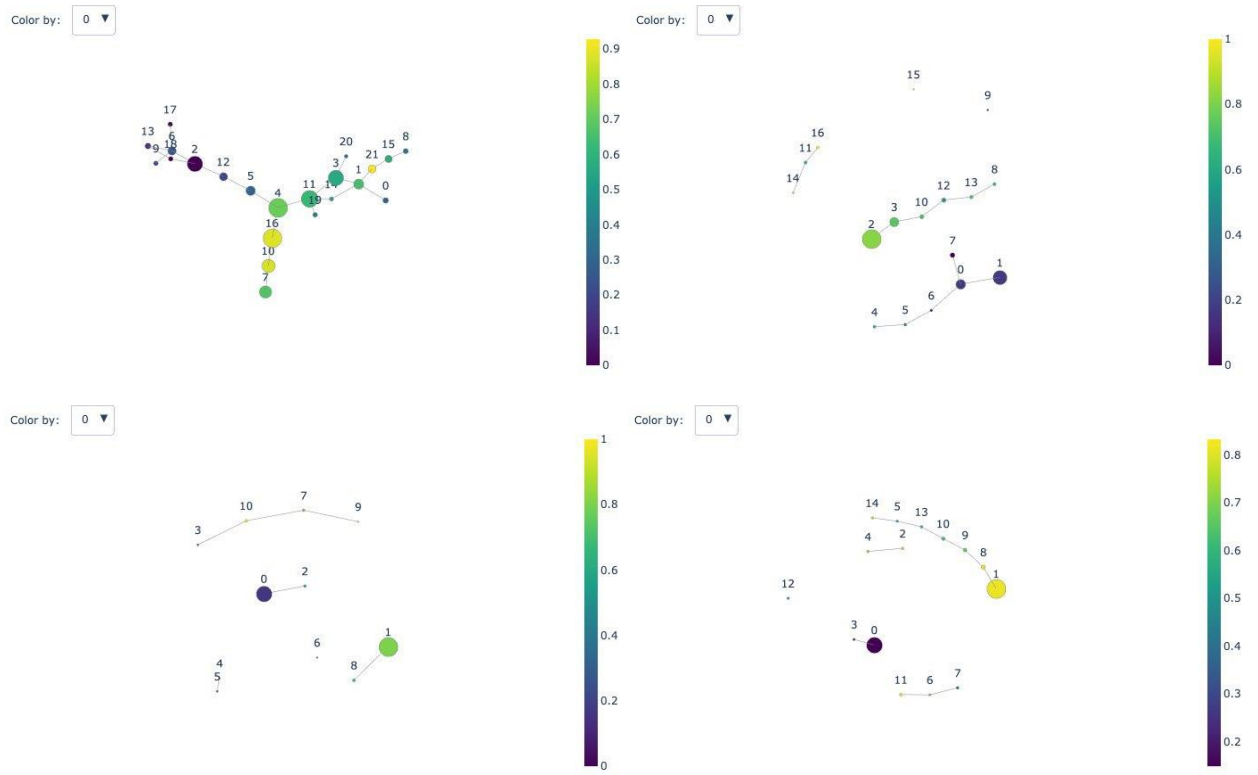


Рис. 4. Динамика модели от первого слоя к последнему на примере двухклассовых данных ЭКГ. Первый слой – LSTM, последующие – полносвязные

Смешивание данных на этом этапе, когда сеть уже хорошо обучена, свидетельствует о том, что содержащиеся в общей ноде данные имеют какие-то общие признаки. Это справедливо и для чистых, но обособленных вершин: они могут содержать какие-то уникальные элементы, которые не переводят их в другой класс с точки зрения сети, но всё же обособляют достаточно для того, чтобы сформировать отдельный кластер.

Также возможно отслеживать перетекание данных из одного кластера в другие по мере движения от входа к выходу модели. Это демонстрируется на рисунке 5: данные из обведенной вершины в слое LSTM переходят в три разных кластера на следующей эпохе, а затем собираются в основном кластере класса на последних слоях. Это позволяет, например, отследить, на каком слое происходит смешивание данных с данными других классов или наоборот их разделение.

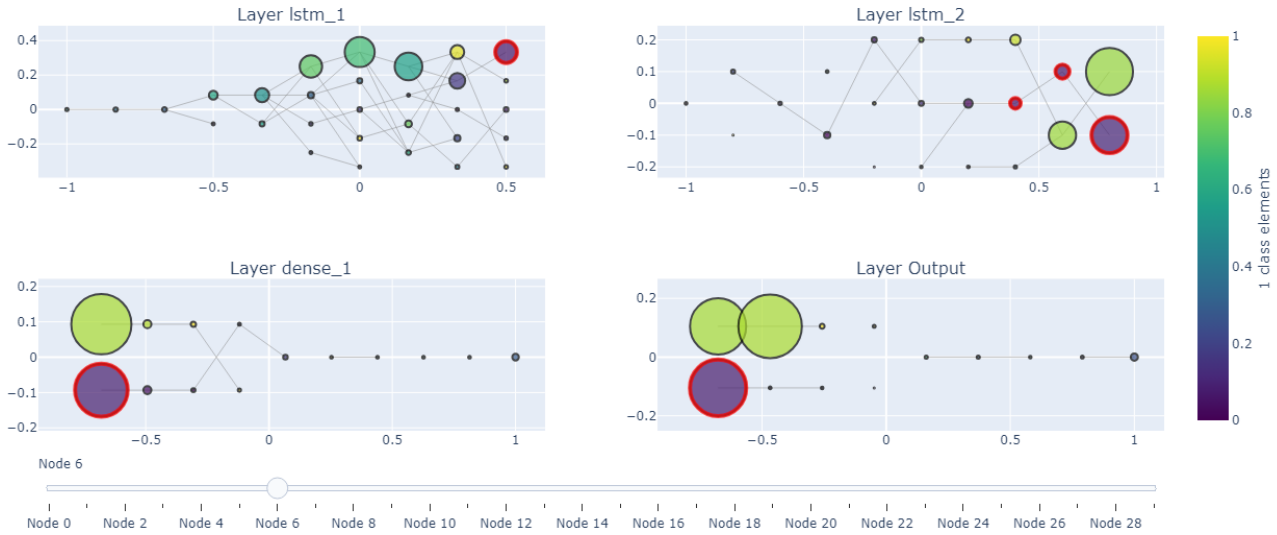


Рис. 5. Mapper-графы, показывающие движение данных по признаковому пространству от слоя к слою

Использование mapper-графа для анализа признакового пространства нейросети является мощным инструментом, который помогает понять структуру данных, выявить скрытые закономерности и улучшить производительность нейронных сетей. Этот метод позволяет глубже проникнуть в работу нейросетей и сделать более точные выводы о их функционировании.

Список использованных источников

1. Zeiler M.D., Fergus R. Visualizing and understanding convolutional networks // European conference on computer vision. – 2014. – Pp. 818–833.
2. Olah C. Neural networks, manifolds, and topology // Blog post. – 2014. [Electronic resource]. – Access mode: https://christopherolah.wordpress.com/2014/04/09/neural-networks-manifolds-and-topology/ (date of access: 29.02.2024).
3. Gurjeet Singh, Facundo Mémoli, Gunnar Carlsson, Topological Methods for the Analysis of High Dimensional Data Sets and 3D Object Recognition // Eurographics Symposium on Point-Based Graphics. – 2007. DOI:10.2312/SPBG/SPBG07/091-100.
4. Ziyad Oulhaj, Yoshiyuki Ishii, Kento Ohga, Deep Mapper Graph and its Application to Visualize Plausible Pathways on High-Dimensional Distribution with Small Time-Complexity. [Electronic resource]. – Access mode: https://arxiv.org/pdf/2402.19177.pdf (date of access: 29.02.2024).

Деятельность военного учебного центра

УДК 378.14

АНАЛИЗ ВОЕННОЙ ПОДГОТОВКИ В МОДУЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ОБУЧЕНИЯ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО

Андреев С.Б.[1], Громов А.В.[1], Зиновьев В.В.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: sbandreev@itmo.ru

В настоящей статье рассмотрены вопросы апробации и внедрения военной подготовки в модульную систему обучения Университета ИТМО для студентов магистратуры. Продемонстрированы преимущества использования данной инновационной методики для подготовки офицеров запаса младшего командного состава.

Ключевые слова
Модульное обучение, процесс обучения, проблемные вопросы, военный учебный центр.

Военный учебный центр (ВУЦ) при Университете ИТМО создан на основании распоряжения Правительства РФ №427 от 13.03.2019 на базе военной кафедры в целях обучения по программам военной подготовки офицеров, сержантов и матросов запаса по основным направлениям военной подготовки:

1. Офицеры запаса:
   - эксплуатация и ремонт бортовых приборов управления и контрольно-испытательного оборудования крылатых ракет подводных лодок;
   - эксплуатация и ремонт корабельных торпед и торпедных аппаратов;
   - обеспечение защиты информации в автоматизированных системах военного назначения;
   - эксплуатация и ремонт артиллерийских механических и оптико-электронных приборов.
2. Сержанты запаса:
   - специальная связь.
3. Матросы запаса:
   - торпедное вооружение надводных кораблей.

Обучение в ВУЦ до 1 сентября 2020 года по всем направлениям военной подготовки проводились методом «военного дня», продолжительностью 9 академических часов, из которых 6 часов отводилось на учебные занятия, 2 часа – на самостоятельную работу и 1 час – на организационную, военно-политическую работу и тренировки. При этом срок обучения по программам военной подготовки сержантов и матросов запаса – три семестра обучения только в бакалавриате продолжительностью 360 и 270 академических часов соответственно, а офицеров запаса составляет два с половиной года обучения – один семестр третьего, два семестра четвертого года обучения в бакалавриате и два семестра первого курса магистратуры гражданской специальности всего 450 часов аудиторных занятий в ВУЦ. По окончанию обучения в ВУЦ, студенты по всем программам военной подготовки офицеров, сержантов и матросов запаса проходили учебные сборы в воинских частях продолжительностью 30 суток.

Для того, чтобы пройти обучение по программам военной подготовки офицеров запаса студентам необходимо после окончания бакалавриата обязательно продолжить обучение в магистратуре. К чему не каждый готов, многие не планируют продолжать обучение после окончания бакалавриата, либо поступают в магистратуру в другой университет. Так же, как и студенты, поступившие в магистратуру Университета ИТМО из других вузов без военных учебных центров вообще, не имели возможности пройти обучение и получить военное образование.

Количество мест для обучения в военном учебном центре по военно-учетным специальностям, определяется Главным управлением кадров Министерства обороны Российской Федерации на основании согласованных с образовательными организациями заявок заказывающих управлений [1]. Зачисление на обучение в ВУЦ по программам военной подготовки

осуществляется на конкурсной основе, который включает оценки уровня физической подготовленности и успеваемости по основной образовательной программе, а также годность по состоянию здоровья. Конкурс на обучение студентов по программе подготовки офицеров запаса методом «военного дня» составляет полтора человека на место.

С 1 сентября 2020 года в магистратуре Университета ИТМО обучение, в соответствии с решением Ученого совета от 26 мая 2020 года по вопросу «Новые реалии образовательного процесса: роль ППС, задачи на краткосрочную и среднесрочную перспективу» [2], проводится в модульном формате. При котором каждая дисциплина изучается в течение отдельного временного периода — модуля. Аттестация по дисциплине проходит сразу по окончании модуля [3].

Ректором Университета ИТМО после согласования с Главным управлением кадров и заказывающим управлением, для предоставления возможности студентам, окончившим бакалавриат без военной подготовки и поступившим в магистратуру Университета ИТМО, утверждены программы военной подготовки офицеров запаса в модульном формате, рассчитанные на обучение только в магистратуре, по двум военно-учетным специальностям:

- эксплуатация и ремонт бортовых приборов управления и контрольно-испытательного оборудования крылатых ракет подводных лодок;
- эксплуатация и ремонт корабельных торпед и торпедных аппаратов.

Подготовку в модульном формате осуществляет цикл вооружения венно-морского флота (ВМФ) с весеннего семестра 2021 года. Обучение студентов ВУЦ в модульном формате – это принципиально новый подход к подготовке военных специалистов, который подразумевает для студентов магистратуры обучение в течение трех семестров, каждый из которых длится 4–6 недель. За каждый модуль студенты должны освоить 150 академических часов программы.

Основная причина перехода подготовки ВУЦ ИТМО по двум направлениям в модульный формат, это предоставление уникальной возможности студентам, окончившим бакалавриат без военной подготовки, пройти в рамках магистратуры ИТМО обучение и получить военное образование. Открытие программы военной подготовки офицеров запаса в модульном формате в ВУЦ позволило удовлетворить этот запрос и тем самым увеличить поток студентов, поступающих в магистратуру Университета ИТМО с других вузов, так как модульная система, в отличие от метода «военного дня», позволяет освоить всю учебную программу военной подготовки в рамках одной лишь магистратуры. С переходом на модульный формат обучения конкурс для зачисления студентов в ВУЦ по программе подготовки офицеров запаса увеличился и составляет четыре-пять человек на место.

В заключении можно подчеркнуть, что модульный формат обучения открывает двери ИТМО для тех студентов, которые окончили бакалавриат без военной подготовки и поступили в магистратуру, где они смогут получить военное образование в рамках лишь магистерской программы. Неоспоримым преимуществом такой системы обучения является то, что в течение 4–6 недель студенты концентрируются на освоении только военной специальности, не отвлекаясь на гражданские дисциплины. Каждый день они имеют возможность закреплять и усваивать пройденный материал, тогда как, например, методом «военного дня», между двумя днями занятий проходит неделя, за которую изученный материал сильно забывается. Все это позволяет освоить программу, рассчитанную на два с половиной года обучения методом «военного дня», за полтора года в магистратуре.

Список использованных источников

1. Приказ Минобороны РФ от 26.08.2020 № 400 «Об определении Порядка приема и обучения граждан Российской Федерации в военных учебных центрах при федеральных государственных образовательных организациях высшего образования».
2. Решение Ученого совета от 26 мая 2020 года по вопросу «Новые реалии образовательного процесса: роль ППС, задачи на краткосрочную и среднесрочную перспективу».
3. Асророва М.У. Модульные технологии обучения в вузе / М. У. Асророва. — /Актуальные задачи педагогики: материалы VII Междунар. науч. конф. (г. Чита, апрель 2016 г.). — Чита: Издательство Молодой ученый, 2016. – С. 154–156.

УДК 355/359

БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В ВООРУЖЕННЫХ КОНФЛИКТАХ

Андреев С.Б.[1], Громов А.В.[1], Зиновьев В.В.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: sbandreev@itmo.ru

В настоящей статье приведен обзор беспилотных летательных аппаратов, используемых в современных вооруженных конфликтах. Рассмотрены их виды, области применения, тактико-технические характеристики, недостатки и преимущества.

Ключевые слова
БПЛА, беспилотники, коптеры, аэроразведка, воздушные атаки.

Развитие цифровых технологий невероятно быстро меняет наш мир, и военная сфера не является исключением. В современных вооруженных конфликтах цифровые аппараты и устройства играют ключевую роль. Особенно важными стали беспилотные летательные аппараты (БПЛА), которые уже давно проникли в нашу жизнь.

Начиная с начала 2000-х годов, БПЛА стали широко распространены. Однако, интерес к ним среди военных сил возрос еще больше после последних локальных военных конфликтов, таких как специальная военная операция (СВО) на Украине. Одной из главных особенностей этих конфликтов стало массовое использование небольших коммерческих беспилотников. Без них уже невозможно представить выход разведывательных групп и выполнение огневых задач артиллерией. Сегодня квадрокоптеры можно увидеть практически везде.

Кроме того, использование БПЛА имеет и другие преимущества. Они позволяют снизить риски для военнослужащих, выполнять сложные задачи в труднодоступных местах и обеспечивать более точное сбор и передачу информации [1]. Беспилотники стали незаменимыми помощниками в разведке, контроле границ, поиске и спасении, а также в борьбе с терроризмом.

В данной статье мы представим краткий обзор современных БПЛА, используемых в боевых операциях, а также рассмотрим их тактико-технические характеристики и основные направления применения.

В настоящее время самым используемым типом БПЛА на поле боя являются квадрокоптеры. Они имеют достаточно большую мобильность, не требуют специально подготовленной инфраструктуры для эксплуатации, имеют возможность нести на борту широкий спектр оборудования, могут использоваться в широком диапазоне климатических условий. Ветер, конечно, является главной проблемой в воздухе для данного типа беспилотников, но и компании их выпускающие постоянно совершенствуют алгоритмы полета. В начале СВО для разведки противника на линии боевого соприкосновения, а также для сброса гранат часто использовались дроны китайской компании DJI [2], указанные на рисунке 1, которые обладают превосходной стабилизацией камеры и возможность пролетать на значительные расстояния. Технические характеристики:

1. Вес – 734 гр. без защитного стекла, 743 гр. со стеклом.
2. Максимальная скорость подъема: 5 м/с.
3. Максимальная скорость полета: 65 км/ч.
4. Максимальная высота полета: 5 км.
5. Максимальная дальность полета: 4 км.

6. Максимальное время полета: 27 минут.
7. Навигация: GPS, GLONASS.
8. Максимальный размер картинки: 4000*3000 px.
9. Запись видео в UHD 4k 24 кадра в секунду.
10. Карта памяти до 64 Гб.

Рис. 1. Квадрокоптер для дневной разведки на средних дистанциях DJI Mavic Pro

Рис. 2. Дрон diatone roma f5 v2

Такой БПЛА может пролететь на десятки километров от оператора и вернуться, но при этом он является приоритетной целью для противодроновых ружей противника. Помимо высокой надежности дроны китайской компании DJI имеют еще и высокую стоимость. Сбить дрон с автомата, если он летит на достаточной высоте, довольно тяжело, но, если заглушить сигнал и дрон будет стоять на месте, задача упростится в разы; в крайнем случае можно подождать, пока у него кончится заряд.

Сейчас задача не изменилась, изменились дроны. Дроны DJI, как уже вышеизложено, являются приоритетной целью, и поэтому их массово начали заменять на FPV-дроны, указанные на рисунке 2. Технические характеристики данного дрона:

1. Вес – 0,45–2,5 кг.
2. Максимальная скорость полета: 130 км/ч.
3. Максимальная высота полета: 5 км.
4. Максимальная дальность полета: 20 км.
5. Максимальное время полета: 40 минут.
6. Навигация: GPS, GLONASS.
7. Максимальный размер картинки: 1000 tvl.

Они дешевле, их не очень страшно потерять, они могут использоваться как барражирующий боеприпас для уничтожения техники противника, так и в качестве доставщиков гранат в опорный пункт противника. При потере связи дрон способен сохранять свой курс полета до столкновения с целью. FPV-дроны в боевых условиях работают на свободно распространяемом программном обеспечении, что делает их невосприимчивыми к санкциям, введенным против РФ. В случае необходимости прошивку можно доработать, добавив новый функционал или оптимизировав ее под конкретный тип дрона.

БПЛА самолетного типа [3] указаны на рисунке 3 по сравнению с коптерами имеют большую дальность полета и надежность. БПЛА «Орлан» в ходе СВО применяются для разведывательных задач. Характеристики данного аппарата:

1. Размах крыла: 3,1 м.
2. Длина: 1,80 м.
3. Тип двигателя: ДВС.
4. Крейсерская скорость: 100–150 км/ч.
5. Практическая дальность: 600 км.
6. Продолжительность полета: 10–18 ч.
7. Практический потолок: 6000 м.
8. Радиус действия: 50–120 км.

Рис. 3. Беспилотник «Орлан 30»

В качестве полезной нагрузки могут быть установлены различные камеры:

- Casio Exilim EX-Z8, Zoom EX-Z 1080, Zoom EX-Z 1200;
- Canon Ixus 990;
- Canon EOS 500D, 50D, 5D;
- Flir Photon 320, Flir Photon 640, BHV-558 EX.

В коптере достаточно повредить всего один мотор, и дрон неминуемо встретится с землей. БПЛА самолетного типа может спокойно летать даже в случае повреждения корпуса. Они имеют инерциальную навигационную систему и могут выполнять задачу даже без связи с оператором, GPS и ГЛОНАС. Могут вести разведку с возвращением на базу и выполнять задачи уничтожения инфраструктуры и техники противника, а также задачи перегрузки ПВО противника для свободного прохода наших ракет. Последнее особенно важно ведь стоимость таких беспилотников в разы меньше стоимости ракет.

Продолжительность полета БПЛА самолетного типа позволяет заменить привычные средства разведки и корректирования огня. БПЛА самолетного типа в отличии от БПЛА квадрокоптернрго типа способны за один вылет обнаружить противника, выдать целеуказание, провести корректировку огня артиллерии и осуществить контроль поражения цели. Не менее важной задачей беспилотников является прикрытие войск при передвижении. С помощью БПЛА можно обнаруживать как диверсионно-разведывательную группу (ДРГ) противника, так и БПЛА противника в воздухе.

В заключении можно подчеркнуть, что специальная военная операция дала импульс развитию БПЛА для решения боевых задач. До недавнего времени развитию БПЛА не уделялось должного внимания, но с началом СВО стало очевидным, что без их использования невозможно решить ни одну боевую задачу сохранив личный состав.

Список использованных источников

1. Карпович А.В., Чернышев Ю.М. Выполнение разведывательно-огневых задач с беспилотным летательным аппаратом типа квадрокоптер. – СПб.: 2022. – 104 с.
2. Чернышев Ю.М., Карпович А.В. Выполнение разведывательно-огневых задач с БпЛА коммерческого назначения. – СПб.: 2018. – 80 с.
3. Фетисов В.С., Адамовский В.В., Красноперов Р.А. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное развитие. – Уфа.: НПО «Фотон», 2014. – 217 с.

УДК 358.116

МОДЕЛЬ ПРАКТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ОБУЧАЮЩИХСЯ В ВОЕННОМ УЧЕБНОМ ЦЕНТРЕ ПРИ МОДУЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ОБУЧЕНИЯ

Клоков А.А.[1], Мануйленко В.Г.[1], Хамитова Е.А.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: vgmanuilenko@itmo.ru

Статья рассматривает одну из возможных моделей практической подготовки обучающихся в военном учебном центре с учётом эффекта забывания.

Ключевые слова

Модель практической подготовки, безошибочное выполнение операций, тренировки, практические занятия, обучение с условием забывания.

В Военном учебном центре при Университете ИТМО осуществляется подготовка офицеров запаса. Одним из основных направлений подготовки является обучение по специальностям «Эксплуатация и ремонт бортовых приборов управления и контрольно-испытательного оборудования крылатых ракет подводных лодок» и «Эксплуатация и ремонт корабельных торпед и торпедных аппаратов». Для освоения программы военной подготовки по данным специальностям, расписанием занятий предусматривается ежедневное посещение студентами ВУЦ в течение «учебного модуля» (25–30 учебных дней в семестре). При этом разрыв между модулями может составлять несколько месяцев, что негативно сказывается на усвоении учебного материала, особенно на приобретённых практических навыках. В таких условиях возрастает значимость научно-обоснованной организации практической подготовки, которая позволяет, при наличии специальных методик, в кратчайшее время компенсировать эффект «забывания». Наибольший интерес представляет модель процесса обучения специалистов по эксплуатации ракетно-торпедного вооружения предложенная П.П. Чабоненко [1, 2]. В данной модели процесс практической подготовки обучающихся описан с помощью аппарата теории массового обслуживания, в частности – случайного процесса со счётным множеством состояний, а именно Марковским случайным процессом [3], то есть процессом без последействия. При этом принято допущение о том, что для каждого момента времени вероятность любого состояния системы в будущем зависит только от состояния системы в настоящий момент (t_0) и не зависит от того каким образом система пришла в это состояние.

В соответствии с [1, 2] рассмотрим модель обучения расчёта базы вооружения при выполнении мероприятий по подготовке изделия к подаче на носитель, включающий этапы:

1. Разработка структурно–функциональной схемы типового акта обучения, повторяющегося в цикле подготовки расчёта.
2. Постановка в соответствие этой схеме фрагмента вероятностного графа событий произвольного шага обучения.
3. Вывод условных вероятностей перехода обучаемого из состояний в новые его состояния за один шаг обучения.
4. Поиск рекуррентного соотношения, связывающего показатель уровня подготовленности обучающегося на очередном шаге обучения со значением этого показателя на предыдущем шаге.
5. Решение полученного уравнения, в результате которого находится зависимость показателя подготовленности обучающегося от характеристик процесса его обучения, в том числе и от числа тренировок.

Ниже приводится пример применения метода к нахождению зависимости безошибочного решения задачи осваиваемой деятельности студентом, в ходе его практической подготовки к выполнению работ по подготовке изделия к подаче на носитель, от основных параметров этого процесса [2].

В первом приближении проведение тренировки на практическом занятии можно представить в виде алгоритма с циклическим процессом повторения следующих этапов (рис. 1):

- ПОС – постановка отрабатываемой ситуации,
- ДО – действия обучающегося в данной ситуации,
- КО – контроль и оценка его действий,
- ПС – перестройка связей в концептуальной модели обучающегося по результатам его оценки.

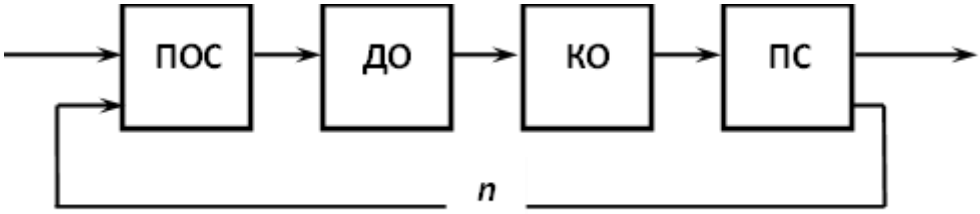


Рис. 1. Циклический алгоритм тренировки обучающегося

Однократное прохождение этапов циклического алгоритма называется *тренировочным опытом*. Текущее число тренировочных опытов обозначается через «*n*». Ёмкость одной тренировки в числе тренировочных опытов обозначается «n_T».

Вероятностный граф событий для одного тренировочного опыта, соответствующий циклическому алгоритму тренировки обучающегося (рис. 1), представлен в виде дерева вероятностей (рис. 2).

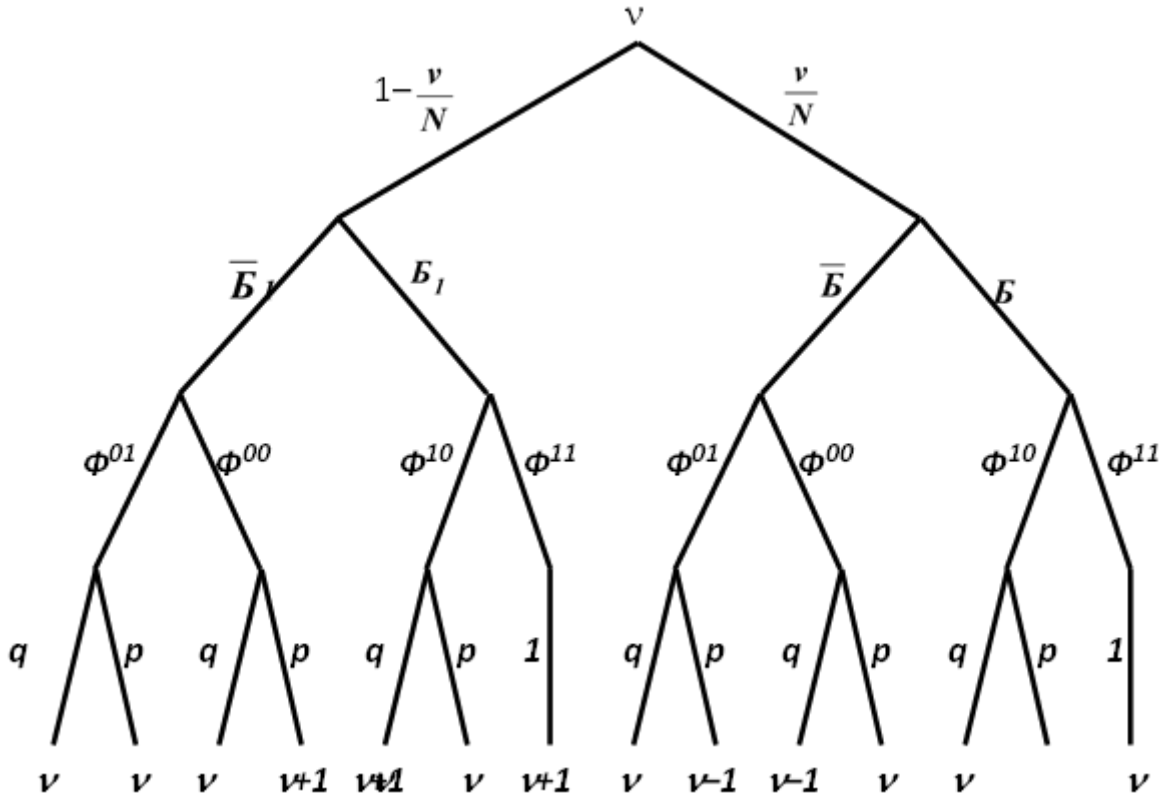


Рис. 2. График элементарных событий в одном тренировочном опыте

Висящие вершины графа группируются по трём видам исходов: $\nu - 1$; ν, $\nu + 1$. Затем находятся выражения для условных вероятностей перехода из состояния ν в эти состояния: $P_{\nu,\nu-1}$; $P_{\nu,\nu}$; $P_{\nu,\nu+1}$.

Акты обучения повторяются в цикле по числу тренировочных опытов «*n*». Как можно видеть, данная модель обучения относится к классу Марковских процессов. В качестве показателя уровня подготовленности обучающегося принимается вероятность безошибочного выполнения блока операций, выполняемых на изделии на *n*-м шаге обучения – $Б_n$.

На представленном графе обозначено:

N – общее число блоков операций в алгоритме деятельности обучающихся;

ν – число освоенных обучающимся блоков операций в алгоритме деятельности;

Б – вероятность безошибочного выполнения блоков операций из числа освоенных;

$Б_1$ – вероятность безошибочного выполнения блоков операций из числа неосвоенных;

p – вероятность перестройки связей в концептуальной модели обучаемого, а $q=1-p$.

$Ф^{ij}$ – условные вероятности принятия правильных решений ($j=1$) или ошибочных решений ($j=0$) при контроле и оценке действий обучающихся принимаемых при их безошибочных действиях как $i=1$ или при ошибочных действиях ($i=0$), таким образом, вероятности $Ф^{ij}$ ($i=0,1$; $j=0,1$) образуют полную группу событий.

Путем решения переходов для марковской цепи по графу событий, приведённых на рисунке 2 в [2], доказано, что вероятность безошибочного выполнения блока операций, выполняемых на изделии на *n*-м шаге обучения, определяется формулой:

$$Б_n = Б_1 + \Delta Б \frac{В}{1-А}(1 - А^{n-1}), \quad (1)$$

где:

$$\Delta Б = Б - Б_1, \quad (2)$$

$$А = 1 - \frac{1}{N}[Б_1(Ф^{11} + Ф^{10}q) + \overline{Б_1}Ф^{00}p + \overline{Б}\,(Ф^{01}p + Ф^{00}q) + БФ^{10}p], \quad (3)$$

$$В = \frac{1}{N}[Б_1(Ф^{11} + Ф^{10}q) + \overline{Б_1}Ф^{00}\,p]. \quad (4)$$

Для режима забывания (перерывов в тренировках) уравнение забывания представлено в работе и имеет вид [4]:

$$Б_t = \frac{Б_1}{1-(1-Б_1)А_з}, \quad (5)$$

где $А_з$ – скорость обучения с учетом забывания.

Для перехода от переменной *t* к прежней переменной *n* достаточно принять:

$$t = (n-1)\Delta t,$$

где Δt – средний интервал между тренировками.

Для практического использования моделей обучения и забывания необходимо располагать значениями входящих в них параметров. Эти параметры могут определяться экспериментально для конкретных комплексов вооружения и техники, тренажеров, организации и методики подготовки, а также контингентом обучаемых.

При этом используется гипотеза, что, если алгоритм деятельности не структурируется по блокам обучающим, то обучающийся разбивает его в процессе освоения сам на примерно равные части в соответствии с объемом его кратковременной памяти. Закон распределения последней указан в [3]. Это условие особенно важно для подготовки расчётов, весь алгоритм подготовки ракетного и торпедного оружия всегда структурируют руководящие документы.

Для правильной организации образовательного процесса с учётом «модульного обучения» необходимо определить период освоения учебной информации n_0, а также цикличность проводимых практических занятий (тренировок), через параметры допустимого перерыва в тренировках n_1 и объем, повторных тренировок n_2.

Определение основных параметров процесса практической подготовки n_0, n_1, n_2 требует

предварительного задания двух уровней подготовленности обучающихся:

$Б_m$ – максимального (близкого к предельному, но реально достижимого);

$Б_n$ – нормативного, (ниже которого опускаться недопустимо).

При заданных $Б_m$ и $Б_n$ основные параметры подготовки определяются следующим образом [3]:

$$n_0 = \frac{\ln\left[1-\frac{(1-А)(Б_m-Б_t)}{В(Б-Б_t)}\right]}{\ln А} + 1, \quad (6)$$

$$n_1 = \frac{\ln\left[\frac{Б_m(Б_n-Б_t)}{Б_n(Б_m-Б_t)}\right]}{\ln А_3}, \quad (7)$$

$$n_2 = \frac{\ln\left[1-\frac{(1-А_1)(Б_m-Б_n)}{В_1(Б-Б_n)}\right]}{\ln А_1}, \quad (8)$$

где A_1 и B_1 вычисляются по формулам для A и B (3 и 4), соответственно, с предварительной заменой параметра $Б_1$ на $Б_H$.

Таким образом, получена модель обучения студентов в зависимости от безошибочности действий, выполняемых ими при проведении тренировок на практических занятиях и скорости обучения с условием забывания. Данная модель может быть использована при разработке научно обоснованной методики практической подготовки обучающихся при «модульной системе» обучения.

Список используемых источников:

1. Чабоненко П.П. Разработка типовых алгоритмов деятельности личного состава по задачам, отрабатываемым на тренажёрах // Частный отчёт по НИР «Управление». – Севастополь: ВВМУ им. П.С. Нахимова, 1987. – 347 с.
2. Чабоненко П.П. Оптимизация человеко-машинных систем военного назначения с учётом динамики напряжённости операторов // Сборник Эргономика. – 1984. – Вып. 1. – С. 19–34.
3. Якунин В.А. Обучение как процесс управления. — Л.: СПБГУ, 1998. – 159 с.
4. Бурков В.М. Экспертные оценки в задачах управления // Сборник трудов /.- М.: ИПУ, 2002. – 104 с.

Экотехнологии

УДК 665.761

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ МОТОРНЫХ МАСЕЛ В ПРОЦЕССЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Абдулкина А.В.[1] *(студент),* ***Юльметова Р.Ф.***[1]
Научный руководитель – доцент, к.х.н. Юльметова Р.Ф.[1]

1 –Университет ИТМО

e-mail: 410794@niuitmo.ru

Моторные масла – это смазочные материалы, применяемые к движущимся деталям двигателя. В процессе эксплуатации двигателя масло подвергается процессам старения – изменению его основных физико-химических свойств, что уменьшает срок его службы и ухудшает рабочие характеристики машины. Единый подход к утилизации масел отсутствует, поэтому требуется разработка экологически чистого способа регенерации.

Ключевые слова
Моторное масло, двигатель внутреннего сгорания, углеводороды, окружающая среда, переработка.

Моторные масла являются обязательным элементом обеспечения эффективной работы двигателя внутреннего сгорания. Масла отвечают за его охлаждение, снижение трения деталей и плавность работы, уменьшение энергетических потерь. В настоящее время производство моторных масел в России составляет более 430 млн литров в год, что подтверждает их высокий спрос. Однако качественной утилизации подвергается менее 20% всего объема производства [1].

Отработанное моторное масло содержит в себе большое количество токсичных соединений, таких как углеводородные компоненты нефти и полимерные присадки. Кроме того, в масла попадают частицы тяжелых металлов вследствие трения деталей двигателя, капли топлива, сажа. Попадая в окружающую среду, они оказывают отравляющее воздействие на почву, гидросферу и атмосферу. Так, например, всего один литр масла способен загрязнить до миллиона литров поверхностных и грунтовых вод [2]. Согласно ГОСТ 12.1.007-76, отработанные масла относят к 3 классу опасности, поэтому необходимо обеспечить предотвращение попадания данных веществ в окружающую среду.

В настоящее время основными способами утилизации отработанных масел является сжигание и захоронение, что приводит к серьезным экологическим последствиям. Процессы переработки требуют серьезных капитальных вложений, но в то же время отработанные масла сохраняют свои смазочные свойства, поэтому их можно использовать повторно. Более того, стоимость восстановленных моторных масел на 45–70% ниже стоимости свежих при аналогичных характеристиках [3].

Задачи обеспечения рационального использования моторных масел непосредственно определяются глубиной изменения его первоначальных свойств. Зная закономерности происходящих изменений моторного масла, можно предвидеть, изменять и управлять процессами «старения» масла, чтобы тем самым дольше сохранить его первоначальные свойства.

По источнику происхождения различают органические и неорганические загрязнения моторного масла. Органические частицы попадают в масло непосредственно из камеры сгорания двигателя – это продукты неполного сгорания топлива, а также вещества, которые образуются в результате таких процессов, как термическое разложение, окисление и полимеризация компонентов самого масла. Неорганические загрязнения включают в себя: частицы пыли, попавшие в двигатель с воздухом; продукты износа деталей двигателя; некоторые технологические загрязнения (стружка, абразив); продукты срабатывания присадок в масле; вода, попадающая в масло из двигателя.

Старение масел приводит к изменению практически всех физико-химических свойств. К важнейшим параметрам любого масла относят вязкость и плотность. Конкретно для моторных масел имею большое значение также дополнительные параметры, такие как содержание воды, кислотное и щелочное число.

Щелочное число (Total Base Number, TBN) определяет общую щелочность масла, включая вносимую диспергирующими и моющими присадками. Данное число характеризует способность масла к нейтрализации кислот и стойкость к окислительным процессам, происходящим во время работы двигателя, определяет значение корродирующего действия масла. Соответственно, чем больше щелочное число, тем большее количество кислот может быть нейтрализовано. Характеристика во многом зависит как и от вида добавленных щелочных присадок, так и от технического состояния двигателя. Нужно отметить, что в моторном масле определяющее значение имеет не столько изначальная величина щелочного числа, сколько скорость его снижения в процессе работы материала.

Щелочное число выражается как масса в мг гидроксида калия KOH, эквивалентная содержанию щелочных компонентов в 1 г масла. Для бензиновых двигателей щелочное число большинства масел обычно имеет значения в пределах 8–9 мг KOH/г продукта, а для дизельных двигателей – около 11–14 мг KOH/г ввиду более сложных условий эксплуатации.

Стандартом определения TBN является ASTM D2896, который применяется как для новых, так и для отработанных масел. Для этого проводится титрование хлорной кислотой, чаще всего потенциометрическое [4].

С уменьшением содержания щелочных присадок, соответственно, снижается щелочное число. В то же время необходимо учитывать тот факт, что и избыток щелочности оказывает отрицательное влияние на противозадирные и противоизносные свойства масел. Значительное падение щелочного числа приводит к кислотной коррозии, а также загрязнению внутренних частей двигателя. Такое снижение имеет свой предел, при достижении которого считается, что масло утратило свою работоспособность и отработало свой срок службы. Полагается, что при снижении щелочного числа приблизительно на 50% от исходного значения, масло требует замены.

Кислотное число (Total Acid Number, TAN) является показателем, характеризующим содержание в моторных маслах кислотных компонентов. Чем меньше его абсолютное значение, тем лучше условия работы масла в двигателе и тем больше его остаточный ресурс Добавленные в моторные масло присадки защищают его от преждевременного окисления, тем самым продлевая срок его службы. Они имеют слабую кислотность, что не оказывает существенного влияния на коррозионную активность материала.

По мере эксплуатации масла ухудшаются его эксплуатационные характеристики, снижается содержание антиокислительных присадок. По причине воздействия высоких температур происходит окисление компонентов масла, а также попадание в него продуктов распада топлива. Соответственно, возрастает коррозионная активность материала, снижается смазывающая способность, что приводит к повышенному износу деталей двигателя.

Выражается TAN через количество гидроксида калия, необходимого для нейтрализации содержащихся в масле кислот. На практике определяется по таким стандартным методикам, как ASTM D 664 и ГОСТ 11362-96. Исходное кислотное число моторных масел обычно составляет примерно 2–3 мг KOH/г продукта. Моторное масло подлежит замене, когда наступает равенство щелочного и кислотного числа [5].

Значительное влияние на рабочие характеристики моторного масла имеет вода, которая может попадать в смазывающий материал в процессе эксплуатации двигателя. Обводнение вызывает рост коррозионной активности масла, снижает его антифрикционные свойства, а также приводит к разложению некоторых важнейших присадок, без которых дальнейшая эксплуатация моторного масла считается недопустимой. Кроме этого, при взаимодействии с оксидами серы SO_2 и SO_3, выделяющимся при сгорании высокосернистого топлива, вода образует кислоты (серную H_2SO_4 и сернистую H_2SO_3), отрицательно воздействующие на различные детали двигателя. Именно на нейтрализацию данных кислотных соединений расходуются щелочные присадки, что затем приводит к снижению щелочного числа, а,

следовательно, к сокращению ресурса моторного масла. Более того, наряду с перечисленными недостатками, вода вызывает разрушение масляной пленки на поверхностях соприкасающихся деталей. При попадании с маслом на горячую поверхность вода преобразовывается в пар, который, улетучиваясь, разрывает масляную пленку и приводит к возникновению задира на детали.

Регенерация – самый безопасный для окружающей среды способ утилизации отработанного масла, который предполагает удаление загрязнителей из масла. Полученные рафинаты используют для производства того же самого масла. Технологии регенерации масел позволяют значительно сократить расход новых нефтяных масел, снизить выбросы вредных веществ в окружающую среду, а также обеспечить более рациональное использование природных ресурсов. Разнообразные технологии очистки отработанных смазочных масел основаны на применении физических, физико-химических и химических методов. Наиболее распространенными среди них являются кислотная и щелочная очистка, использование реагентов, применение центрифугирования, магнитная сепарация, фильтрование, вакуумная дистилляция, адсорбционные технологии [6].

Процесс регенерации моторных масел включает несколько этапов:

1. Предварительная подготовка масла. В этом этапе масло проходит через фильтры, которые удаляют твердые частицы и другие загрязнения.
2. Дистилляция. Масло нагревается до высокой температуры, при которой происходит испарение легких компонентов, таких как бензол, толуол, ксилол. Эти компоненты затем собираются и используются в других производственных процессах.
3. Гидроочистка. Масло проходит через катализаторы, которые разбивают тяжелые молекулы на более легкие, удаляя при этом серу и азотные соединения.
4. Фильтрация. Масло проходит через фильтры, которые удаляют остатки загрязнений и катализаторов.
5. Добавление присадок. В завершении процесса масло дополнительно обрабатывается и добавляются специальные присадки, которые улучшают его свойства и придают необходимую вязкость и степень защиты.

В результате регенерации масло становится готовым к повторному использованию, при этом его свойства и качество сохраняются на высоком уровне.

Список использованных источников

1. Абдулхакзода М.А., Исаев С.Г., Ларкин С.Е. Система контроля качества моторного масла // Вестник ПензГУ. – 2022. – №. 2 (38). – С. 58–63.
2. Якуббаев И.Р., Бунеев В.В. Экологические проблемы нефтяной промышленности // Научные исследования и разработки студентов: Сборник материалов VIII Международной студенческой научно-практической конференции – Чебоксары: ООО "Центр научного сотрудничества "Интерактив плюс", 2019. – С. 49–52.
3. Прохоров В.Ю. Утилизация и вторичное использование отработанных смазочных материалов транспортных и транспортно-технологических машин // Труды международного симпозиума «Надежность и качество» – Пенза: ПензГУ, 2017. – С. 235–238
4. Пахотин Н.Е., Осадчий Ю.П., Пахотина И.Н. Регенерация отработанных моторных масел с использованием наномембран // Современные материалы, техника и технологии. – 2017. – №. 7(15). – С. 63–67.
5. Чуденкова Т.Н., Чуденкова В.Н. Химия и технология регенерации отработанного моторного масла // Вестник науки и образования. – 2020. – №. 22-1 (100). – С. 10–14.
6. Денисов А.С., Носов А.О., Асоян А.Р. Теоретические предпосылки изменения моюще-диспергирующих и вязкостных свойств моторного масла в процессе работы форсированных дизелей // Вестник СГТУ. – 2013. – №. 2(71). – С. 129–134.

УДК 62-529

ELEVATING GEOTHERMAL ENERGY: A REVIEW OF AI AND ML IMPLEMENTATION FOR ENHANCED GEOTHERMAL SYSTEMS

Agafonov A.[1] *(student),* ***Kutko D.***[1] *(student),* ***Sergienko O.***[1]

1 – ITMO university

e-mail:arkady.agafonov@gmail.com

The global momentum in the development of renewable energy, particularly geothermal energy, faces challenges that hinder widespread adoption. The application of Artificial Intelligence and Machine Learning technologies emerges as a solution to address key aspects of geothermal system development, including site identification, temperature prediction, mining processes, and operational optimization. This study aims to compile information on various implementations of AI and ML to enhance the stability, cost-effectiveness, and reliability of geothermal systems.

Keywords
Enhanced Geothermal Systems, Artificial Intelligence, geothermal energy, Machine Learning, Artificial Neural Network, data analysis.

Geothermal operators face a significant challenge in the high cost of drilling to locate reservoirs of naturally heated water or subsurface heat sources. Unlike oil and gas, where the long-term value of the commodity justifies exploration expenses, geothermal typical lower value complicates the financial equation. Additionally, drilling dynamics in geothermal, involving harder rock, differ from the softer formations typical in oil and gas exploration. High-temperature environments in geothermal drilling escalate costs and risks, particularly during exploratory phases. The application of advanced artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) technologies holds promise for various geothermal resources, including Enhanced Geothermal Systems (EGS). The adoption of AI can enhance predictive demand, aligning it with flexible supply strategies for improved energy security, efficient production and distribution, and positive environmental outcomes.

In terms of materials and methods, all papers were found in open resources such as Elsevier, Springer, Research Gate and Google Scholar. The key words for literature research were quite similar to kye words of this article. Authority also played key role in the literature choosing, the credentials of authors as well as the authority of a journal were important. Additionally, citation analysis was important, as highly cited papers tend to have more influence.

The following hypothesis for research can be formulated:

1) machine learning models trained on available subsurface data (e.g., geology, geochemistry, thermal response tests) can accurately predict key parameters like temperature, permeability, fluid flow at unsampled locations to aid geothermal exploration;
2) integrating multi-disciplinary data sources like geophysics, lithology, groundwater chemistry into machine learning algorithms allows higher resolution mapping of geothermal potential across regions with limited or inconsistent site-specific measurements;
3) AI and NN can effectively optimize the design and predict the performance of geothermal systems, resulting in higher power output, increased revenue, and reduced development costs compared to conventional modelling approaches.

In terms of results, the starting point of research of possible AI and ML solutions for enhanced geothermal systems can be modern trends and hot points of worldwide research. For example, the study [1] found that over 90% of AI in EGS studies focus on using neural networks as surrogate models for complex systems, applied in monitoring, optimization, fault detection, and fundamental research. The review reveals that most applications utilize the standard backpropagation architecture of artificial neural networks (ANN) with one or more hidden layers. Concerning data sources, only 24 out of 63 papers use operational data, while the remaining 39 papers rely on published experimental and

synthetic data from numerical simulations. According to the primary use case of data science or analytics mentioned in the research papers, 34 investigated studies concentrated on performance evaluation technologies, 13 on performance optimization, 11 – design optimization, 5 on fault detection and 6 on other dimensions.

Moreover, one study analyzed trends in research of AI application for EGS. The analysis revealed a predominant focus on exploration, reservoir characterization, and reservoir engineering in the researched publications. Exploration applications included fracture characterization, fault identification, and predictive modeling of drilling metrics such as the rate of penetration (ROP). Notably, the majority of AI research in the geothermal industry was concentrated in regions where geothermal exploitation is prevalent, such as Anatolia in Turkey and Nevada, United States.

Investigation of AI and ML technologies in EGS requires the evaluation of impact of COVID-19 on the process of implementation and deployment of such systems in the companies around the globe. It deserves to be mentioned that some AI and ML solutions form oil and gas industry can be implemented in geothermal power generation industry as the processes of exploration, drilling and other part of life cycle are quite similar in these two industries. Thus, the study [2] found that the oil and gas industry, impacted by COVID-19, faces challenges of lower crude prices and geopolitical issues. To adapt, industry players must focus on improving supply chain efficiency and reducing costs. AI holds transformative potential but is often applied as isolated solutions, limiting overall benefits. Operational divisions created for cost-cutting hinder broader cross-functional AI adoption. Addressing this division is crucial for maximizing AI's potential across reservoir, geology, geophysics, engineering, and drilling, leading to increased productivity.

The application of ML and AI solutions in geothermal industry can be divided on several main parts:

1. Machine learning algorithms employed in the decision-making procedure for EGS drilling site identification.

The effective choice of the reinjection well location significantly impacts the success of EGS. The study [3] proposed employing an ANN method for determining the optimal well placement by training it with simulation-generated data. Subsequently, the ANN optimized the reinjection location, depth, and rate, and these predictions were validated using existing drilling data from the Kızıldere Geothermal field in southeastern Turkey, yielding satisfactory results. Furthermore, alternative research has demonstrated the prediction of drilling locations through an unsupervised machine learning method known as non-negative matrix factorization with customized k-means clustering (NMFk). Utilizing a data matrix incorporating various properties, this method explores hidden labels and features to analyze the primary physical/chemical properties of each location. The determination of the subsequent drilling location is based on this analysis. One study found that an extreme gradient boosting model trained on decades of in situ thermal response tests accurately predicts key subsurface properties for geothermal design across Switzerland. By learning from existing tests, machine learning reduces the need for additional onerous and expensive field investigations per site.

2. Temperature prediction.

ML methods, particularly ANN and DL models, are extensively employed in predicting reservoir temperature, bottom hole temperature, and production temperature in geothermal systems. The prevailing trend indicates that DL and some shallow ML models outperform ANN in terms of prediction accuracy for temperature-related parameters. Despite this, ANN remains the most widely used ML method for temperature prediction in EGS. Comparative studies have shown ANN's satisfactory accuracy when predicting reservoir temperature, bottom hole temperature, and production temperature. Recent research has demonstrated that, under the same experimental conditions, DL models can provide superior predictions compared to ANN, particularly in reservoir and bottom hole temperature predictions. However, there is a potential avenue for future research to compare the prediction results of production temperature obtained by various ML methods and ANN.

3. EGS productivity prediction.

Few ML methods are applied to predict the productivity of EGS, with a focus on long-term and short-term memory (LSTM) and multilayer perceptron (MLP)-combined neural networks. In the study, an LSTM and MLP-combined neural network was utilized for geothermal productivity prediction. The

MLP was trained to capture the nonlinear relationship between geothermal productivity and constraints, while the LSTM memorized sequential patterns in production data. This combined network outperformed the original LSTM, MLP, and simple recurrent neural network (RNN) in terms of accuracy, stability, and generalization ability.

Another approach integrated a complete ML-response surface model (RSM)-autoregressive integrated moving average (ARIMA) model into numerical simulations to assess thermal reservoir capacity. Among the ML models, the deepNN-3 model with 15 hidden layers and 15 neurons in each hidden layer exhibited superior predictive ability. The ARIMA model was employed to predict production temperature from the deepNN-3 model with an accuracy of ± 95%. This integrated ML-RSM-ARIMA method, combined with numerical simulation, enhances the accuracy of detecting reservoir heat production.

4. Prediction of negative environmental effects of EGS.

Currently, the adverse environmental impacts of EGS primarily involve groundwater pollution and induced seismicity. In the study [4] authors employed hierarchical cluster analysis (HCA) and principal components analysis (PCA) to predict arsenic content and inorganic speciation in surface water samples. PCA revealed that the main sources of arsenic were the geothermal system and mineral weathering. Induced seismicity, considered a significant constraint for HDR development, was addressed by several works, who used ANN to predict the maximum magnitude of hydraulic fracturing-induced earthquakes. The ANN model considered factors like injection volume and fault distance, indicating an increase in magnitude with injection volume rise and fault proximity decrease. Microseismic event detection during hydraulic fracturing was achieved in another study using a neural network-based model, demonstrating SVM's ability to improve detection accuracy.

5. Thermo-economical optimization of EGS.

To efficiently utilize the heat extracted from EGS, recycling low-enthalpy heat energy post-EGS power generation is a viable strategy. Geothermal binary device technology enhances thermal energy resource utilization by converting waste heat. Binary systems employ a secondary working fluid, such as n-pentane, n-butane, and R144, with a low boiling point and high vapor pressure at low temperatures compared to steam. One study conducted thermodynamic and economic analyses comparing Organic Rankine Cycle (ORC) and Kalina Cycle (KC) recycling modes, determining R-290 for ORC and an 84% ammonia-water mixture for KC as the most efficient working fluids economically.

Eventually, when optimizing the thermal economy of EGS, ML methods, particularly neural networks, are often combined with traditional computational thermal economic approaches to predict and manage thermal economic indicators of geothermal power plants. For binary cycle systems, R-290 and an 84% ammonia-water mixture is identified as the most effective working fluids for ORC and KC, respectively.

6. ML algorithms used in the mining process of EGS.

The extraction process of EGS is influenced by various factors, including drilling rate, permeability, and thermal conductivity of rocks. One study identified and analyzed 15 such factors, employing 14 ML methods, such as DL, Principal Component Analysis (PCA), decision trees, and random forests. DL demonstrated superior performance in predicting geomechanical logging and reservoir permeability. The study specifically applied DL to these influencing factors, leaving room for future research to extend its application to other factors. Deep well drilling is an essential component of the mining process for HDR, and for EGS, drilling costs constitute a significant portion of the total expenses, often exceeding 60%. Utilizing ML methods to predict and manage factors influencing drilling can enhance drilling success rates and significantly contribute to the overall development of EGS. Efficient drilling practices and cost-effectiveness are crucial prerequisites for advancing the progress of EGS development. Shell [2] is utilizing reinforcement learning to control drilling equipment, incorporating historical data, simulations, and real-time data from seismic surveys. This allows for adaptive drilling into the subsurface, with a reward system guiding machine choices. Through the Shell Game Changer initiative, the company actively seeks AI proposals, emphasizing innovation in machine learning. The application of reinforcement learning ensures faster, more accurate drilling outcomes with less machinery damage.

7. Operation optimization of geothermal power plant.

EGS aim for power generation, and the residual low-enthalpy geothermal energy is effectively reused through ORC and KC [5]. Direct power generation is the primary focus of HDR mining. ML methods, like ANN, enhance Geothermal Power Plants (GPPs) operation. Many researchers predicted specific steam consumption using a feedforward ANN model, demonstrating effectiveness in training. Additionally, ML algorithms for fault detection were applied by some researchers, providing a reliable automatic system. The study introduced Geothermal Operational Optimization with Machine Learning (GOOML), an ML-based framework for accurate GPP simulation. Some authors used a multistage ANN analysis method for optimizing the GEP-KC, showcasing high accuracy. Some authors compared ORC and KC, highlighting the superior performance of the KC.

The economic aspect of EGS is crucial for development. Governments implement policies for optimal balance and commercialization. Some researchers analyzed EGS economy through ML and simulation, managing operations to accelerate commercialization. In summary, ML optimizes EGS at various stages, enhancing performance, reducing costs, and advancing geothermal energy commercialization.

8. Operation optimization of EGS geothermal heating system.

To fully utilize the thermal energy resources of HDR in EGS, the residual thermal energy is employed for heating in addition to power generation. One source contains information that authors utilized ANN to analyze and optimize the thermal performance and economy of the Afyon geothermal district heating system (AGDHS) in Turkey. The study, based on heating season data from 2006 to 2010, demonstrated that the ANN model for AGDHS energy performance prediction exhibited strong statistical performance, with a correlation coefficient of 0.9983. Economic evaluation of the exergy efficiency maximization control strategy (ExEBCS) indicated improved energy savings, shortening the investment return period to 3.8 years. Neural network models, particularly those using the back-propagation algorithm, proved effective in predicting various performance parameters of AGDHS. Factors influencing the thermal optimization of AGDHS were identified as ambient temperature and flow in the energy distribution cycle. In another study authors conducted energy and exergy analyses on AGDHS using ANN and adaptive network-based fuzzy inference system (ANFIS), with the ANN model demonstrating slightly better accuracy in predicting energy and exergy rates. While research on EGS geothermal heating systems is in its early stages, lessons from hydrothermal heating systems, such as those in the Afyon region, aim to guide future EGS development for comprehensive utilization of HDR residual thermal energy.

In terms of discussion, some of reviewed articles focus on specific locations and power cycles when determining the objectives and scope of their research. As a result, the data and findings can be heavily influenced by the characteristics of the particular site under consideration. Additionally, enhancing production requires the identification of accurate models and parameters to ensure optimal operational conditions. The perspective research can be concentrated on the following dimensions. Prospective research should, firstly, address the challenge of creating and maintaining a functional fractured reservoir, considering unpredictable reservoir evolution and fracture propagation. Secondly, managing water loss, influenced by factors like groundwater recharge and drainage, is crucial, requiring thorough geological investigation and effective water shutoff technology.

To sum up, this study found that ANN emerged as the most frequently employed ML method, demonstrating versatility in predicting and optimizing several main areas of enhanced geothermal systems working. These applications include optimizing well placement through ANN and non-negative matrix factorization with k-means clustering, predicting temperature-related parameters using DL models, assessing EGS productivity with combined LSTM and MLP neural networks, predicting environmental impacts like groundwater pollution and induced seismicity, contributing to thermo-economic optimization by determining efficient working fluids, enhancing the mining process with ML methods such as deep learning, optimizing geothermal power plant operations through fault detection and simulation, and improving the operation of EGS geothermal heating systems through ANN analysis. The versatility of ML across these diverse applications highlights its potential to significantly advance and revolutionize EGS development in the geothermal industry. The integration of more advanced ML methods holds the potential for significant future advancements.

References

1. Abrasaldo P.M.B., Zarrouk S.J., Kempa-Liehr A.W. A systematic review of data analytics applications in above-ground geothermal energy operations // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2024. – №. 189. – 20 p.
2. Sircar A., Yadav K., Rayavarapu K., Bist N., Oza H. Application of machine learning and artificial intelligence in oil and gas industry // Petroleum Research. – 2021. – №. 6. – Pp. 379–391.
3. Akın S., Kok M.V., Uraz I. Optimization of well placement geothermal reservoirs using artificial intelligence // Computer Geoscience. – 2010. – №. 36. – Pp. 776–785.
4. Shan K., Zhang Y., Zheng Y., Li L., Deng H. Risk assessment of fracturing induced earthquake in the qiabuqia geothermal feld, China // Energies. – 2020. – №. 13. – Pp. 1–24.
5. Arslan O. Power generation from medium temperature geothermal resources: ANN-based optimization of Kalina cycle system – 34 // Energy. – 2011. – №. 36. – Pp. 2528–2534.

УДК 504 064.2

РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ К ФУНКЦИОНАЛЬНОМУ ОЗЕЛЕНЕНИЮ ТЕРРИТОРИИ ЛЕНИНГРАДСКОГО ЗООПАРКА

***Бажукова А.М.*[1]** *(студент)*
***Научный руководитель – преподаватель Динкелакер Н.В.*[1]**

1 – Университет ИТМО

e-mail: nastya.bazhukova7@yandex.ru

Территория Ленинградского Зоопарка с историческими зелеными насаждениями является памятником культурного наследия. Работа Зоопарка включает в себя не только рекреационные и образовательные функции, но и важнейшую работу по разведению и содержанию в неволе диких видов животных, то есть по поддержанию генетического и биологического разнообразия. Однако территория зоопарка подвержена проблемам загрязнения, включая подтопления и воздействие шума, мелкодисперсной пыли и тяжелых металлов. Были проведены исследования, показавшие уровень накопления тяжелых металлов в почве и растениях на участках рядом с Кронверкской набережной.

Ключевые слова
Ленинградский зоопарк, Кронверкская набережная, особенности рельефа, анализ территории, проблемы территории, мелкодисперсная пыль, тяжелые металлы, лабораторные исследования, рентгенофлуоресцентный метод.

Ленинградский зоопарк, основанный 14 августа 1865 года, представляет собой один из древнейших зоопарков в России, начавший свою историю как частный зверинец, который в последующем неоднократно сменял владельцев, пока не был преобразован в государственный объект в 1917 году [1].

Сегодня зоопарк располагает значительным разнообразием животных, включая млекопитающих, птиц, рептилий, амфибий и беспозвоночных. Благодаря сохранению архитектурной концепции XIX века Ленинградский зоопарк стал не только частью архитектурного наследия города, но и его хранителем исторической памяти [1, 2].

Ленинградский зоопарк расположен в Петроградском районе Санкт-Петербурга, непосредственно в прибрежной зоне р. Нева, в ее ранее пойменных участках, трансформированных в городские территории. Площадь = 7,2 гектара [3].

В ходе анализа территории были вывалены особенности рельефа. Участок имеет крайне низкие отметки над уровнем моря и подвержен регулярным подтоплениям. Территория характеризуется повышенным увлажнением из-за более низкого расположения относительно прилежащих жилых кварталов, и отсутствием естественного стока поверхностных вод в водные объекты (р. Нева, Кронверкская протока) из-за барьерного положения Кронверкской набережной, отделяющей Зоопарк от Кронверкской протоки.

В результате территория Ленинградского зоопарка находится в практически замкнутой низине Петроградского острова, что создает условия для накопления загрязненного поверхностного стока.

Зеленые зоны Ленинградского зоопарка расположены между крупными нагруженными автомагистралями – Кронверкским проспектом и Кронверкской набережной. Эти объекты являются основными источниками загрязнения воздуха и почвы. Такие загрязнители, как нефтепродукты и продукты их сгорания, а также пыль, загрязненная тяжелыми металлами, выделяются транспортными средствами, и из-за суммарного количества оказывают воздействие на экологическое состояние зеленых насаждений и качество воздуха, а также создают шумовое загрязнение.

Территория Ленинградского Зоопарка неоднородна по рельефу, характеру посадок и застройке. С точки зрения накопления загрязнителей она может быть разделена на зоны:

1. Центральная зона, расположенная на удалении от автодорог в центре территории, в наиболее низких по рельефу участках. Это зона максимального увлажнения, она подвержена подтоплению, в этой части могут накапливаться тяжёлые металлы и другие загрязняющие вещества из сточных вод.
2. Участки, примыкающие к Кронверкской набережной (шумовое воздействие, мелкодисперсная пыль и тяжёлые металлы).
3. Участки, примыкающие к Кронверкскому проспекту (шумовое воздействие, мелкодисперсная пыль и тяжёлые металлы).

В нашем случае мы решили более подробно остановиться на части зоопарка со стороны Кронверкской набережной для дальнейшего анализа территории и решения проблем.

Были проведены лабораторные исследования для изучения уровня накопления тяжёлых металлов в почве и растениях. Для этого в лабораторных условиях был применен рентгенофлуоресцентный метод. Суть метода заключается в измерении интенсивности рентгеновского флуоресцентного (характеристического) излучения определяемых элементов при экспонировании порошковых проб почв [4].

Одним из ключевых преимуществ количественного рентгеноспектрального анализа является возможность одновременного быстрого определения содержания большого количества элементов в порошковых образцах почв (рис. 1) [4].

Для анализа были взяты пробы почвы с двух участков в центральной зоне зоопарка, расположенной по рельефу ниже, чем Кронверкская набережная. Следовательно, они лучше всего будут отражать миграцию загрязнителей со стороны Кронверкской набережной.

Рис. 1. Виды исследуемых проб

Результаты лабораторных исследований представлены ниже в таблице 1.

Таблица 1

Результаты лабораторных исследований почв

Наименование вещества	**Содержание в почве [мг/кг]**	**Ошибка**	**Содержание в почве [мг/кг]**	**Ошибка**	**ПДК (мг/кг) [5], валовое содержание**
	Газоны у павильона «Олени» (центральная зона)		Газоны у павильона «Козлы» (центральная зона)		
Mn	309	8	503	11	1500
Ni	10	3	11	3	80
Cu	34	1	29	1	132
Zn	120	3	59	2	220
Sr	183,88	7,7	159,14	7,8	
Ti	<НПКО	–	<НПКО		–
Fe	16,271	278	16,339	277	
Cr (общий)	5,0972	0,080455	4,9785	0,086042	–

По результатам анализа можно сделать вывод, что в почве центральной зоны, расположенной в понижении рельефа, содержание исследованных тяжелых металлов в почве не превышает установленные нормативы (табл. 1). Но стоит отметить, что мы выполняли анализ почв, собранных к концу вегетационного периода (август), поэтому результаты могут быть минимальными в ходе годовой динамики.

Для анализа также были взяты 3 вида растений: сирень обыкновенная (Р1), ива белая (Р2) и туя (Р3) (рис. 2).

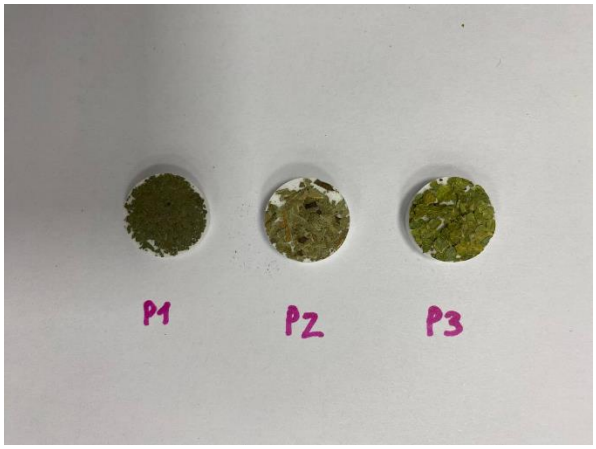


Рис. 2. Виды исследуемых проб

Результаты исследований представлены ниже в таблице 2.

Таблица 2

Результаты лабораторных исследований растений

Наименование вещества	**Содержание в листе [мг/кг]**	**Ошибка**	**Содержание в листе [мг/кг]**	**Ошибка**	**Содержание в листве [мг/кг]**	**Ошибка**
	сирень		ива		туя	
Sr	64	10	95	9	123	10
Pb	5	8	3	7	6	8
As	4	2	5	2	1	2
Zn	152	3	172	3	33	2
Cu(*)	<НПКО		<НПКО		<НПКО	
Ni(*)	2	1	2	1	6	2
Co	3	2	2	2	2	2
Fe2O3(*)	0,04 (%)	0277	<НПКО (%)		<НПКО (%)	0,06 (%)
MnO	304	10	133	7	74	6
Cr(*)	29	3	26	3	26	3
V(*)	<НПКО		<НПКО		<НПКО	
TiO2(*)	0,051 (%)	0,003	0,047 (%)	0,003	0,058 (%)	0,003

(*) – Значение находится вне диапазона градуировки

По результатам анализа можно сделать вывод, что в листьях накопительная способность отличается у разных видов зеленых насаждений в отношении каждого исследованного металла.

Учитывая преимущественное поступление загрязнения в зеленые зоны зоопарка со стороны Кронверкской набережной, мы подобрали растения, которые помогут снизить проблему загрязнения территории тяжелыми металлами, мелкодисперсной пыли, а также проблему шумового загрязнения.

Сложностью применения эффективных пылезащитных посадок вдоль Кронверкской набережной является то, что имеющиеся там в настоящее время насаждения – рядовая посадка формованных деревьев липы мелколистной – являются частью архитектурного ансамбля центральной исторической части города и находятся под охраной КГИОП. Они не могут быть заменены на другие древесные насаждения, в то же время такой вид насаждений не защищает

территорию зоопарка от загрязненной дорожной пыли на высоте до 2–2,5 метров. В связи с этим нами были разработаны варианты дополнительных посадок, которые могут улучшить данную экологическую функцию зеленых насаждений, не нарушая исторического ансамбля.

Основными растениями, закрывающим промежутки между липами, мы выбрали тую западную, шаровидные сорта или топиары. Туи, обладая плотной всесезонной кроной, являются отличными барьерами от пыли и порывов ветра.

Хвойные растения остаются зелеными весь год, поэтому они лучше подходят для элементов живой изгороди. Туи неприхотливы и очень растут очень быстро, сохраняют декоративность в зимний период.

Для внесения разнообразия в посадки туи при виде со стороны Кронверкской набережной перед посадкой туи мы выбрали посадить рододендроны канадские. Зимой они будут визуально экранировать посадки туи, чтобы создавать излишнего акцента в историческом ансамбле. В начале лета будут цвести сиреневыми цветками, не слишком ярко и броско.

Рододендрон канадский, морозостойкий и неприхотливый кустарник, своими характеристиками подходит для выращивания в средней полосе и более суровом климате.

Посадки гортензии черешковой будут располагаться со стороны зоопарка перед туями, так как хорошо сочетаются с хвойными породами: рядом с ними её соцветия будут выгодно выделяться, отвлекая внимание от обзора на транспортный поток Кронверкской набережной.

Со стороны зоопарка посадки гортензии подчеркиваются крупными сортами хосты декоративных злаков (например, вейники), выполняющих декоративные функции.

Визуализация концепции

В качестве итога нашего исследования был предложен вариант визуализации нашей концепции, в котором были учтены особенности территории: рельеф, близкое расположение к Кронверкской набережной, предрасположенность к накоплению тяжёлых металлов в почвах, и как следствие, предложена высадка определенных видов растений, которые смогут выполнять роль аккумулятивных растений (рис. 3–5).

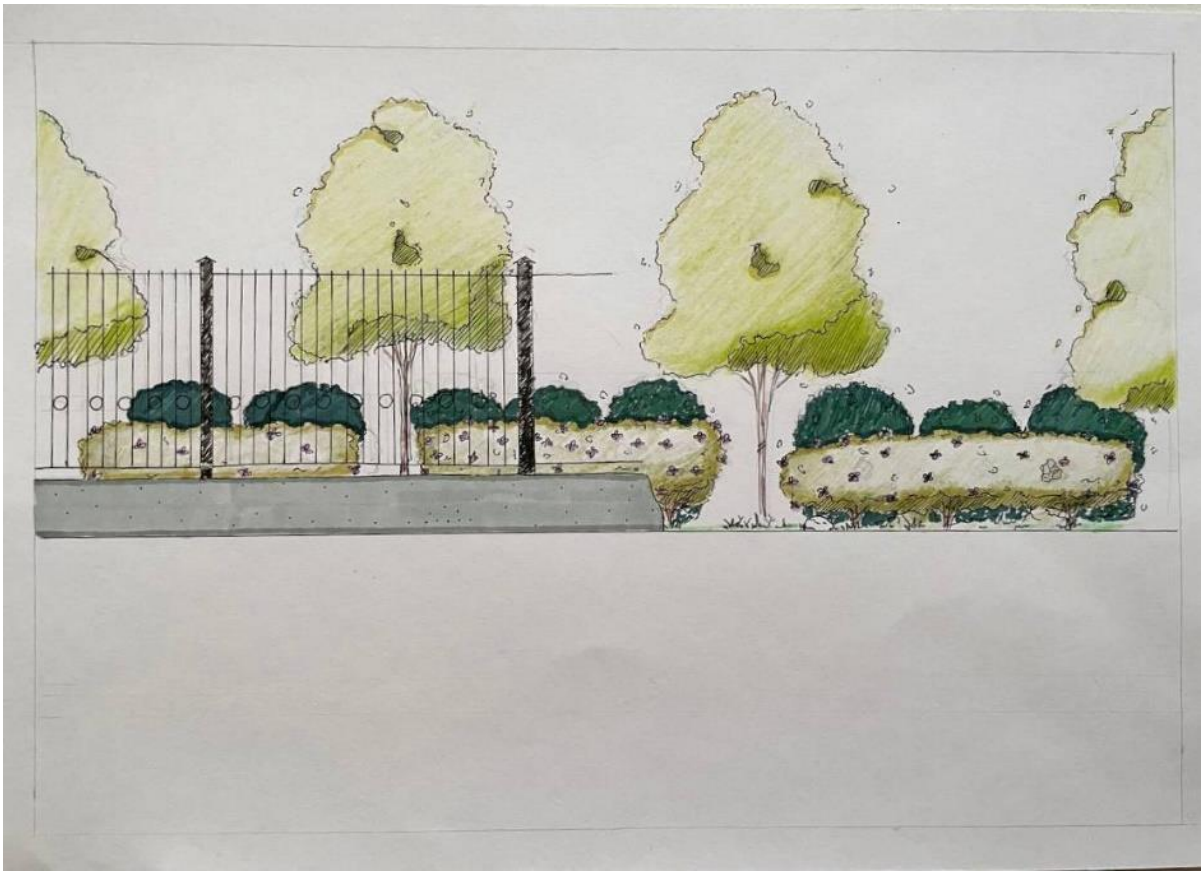


Рис. 3. Вид с Кронверкской набережной

Рис. 4. Вид сверху

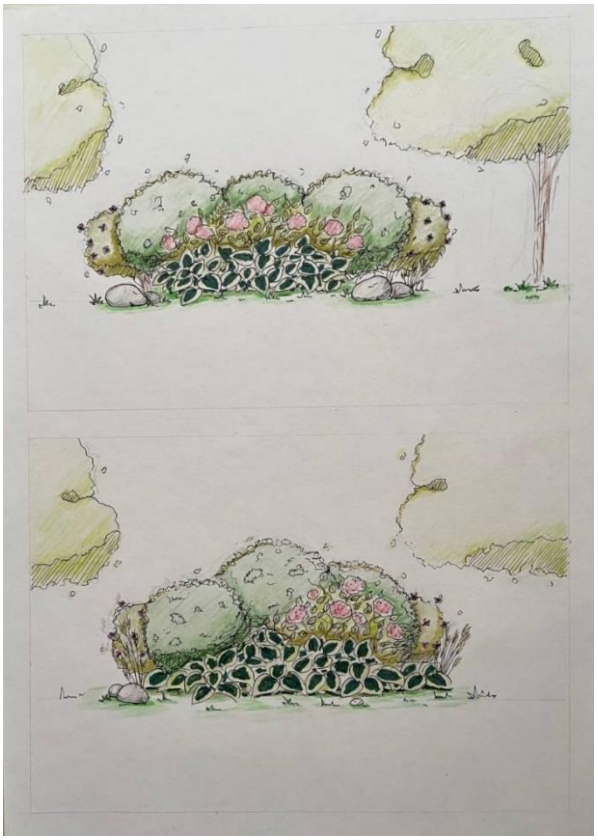


Рис. 5. Вид со стороны зоопарка

В результате проведенной работы установлено, что загрязнение почв территории Ленинградского зоопарка тяжелыми металлами в конце вегетационного периода не превышает нормативных значений (ПДК для почв населенных пунктов), но, в то же время, почвенно-растительный покров нуждается в дополнительной защите, так как аккумуляция данных загрязнителей в другие сезоны, особенно после снеготаяния, может быть выше.

В связи с этим предложено концептуальное решение по дополнительной защите зеленых насаждений зоопарка от наиболее экологически неблагоприятного соседства – Кронверкской набережной, имеющей высокую автотранспортную нагрузку. Концептуальное предложение основано на использовании кустарников и многолетних растений, и учитывает необходимость дополнительного изолирования территории от загрязненных потоков воздуха с магистрали, при невозможности изменения имеющихся исторических древесных насаждений.

Список использованных источников

1. Сайт Ленинградского зоопарка. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.spbzoo.ru/ (дата обращения: 10.02.2020).
2. Ларионов Д.И. История Ленинградского зоопарка Университетская книга, 2008. – 110 с.
3. Ленинградский зоопарк. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Ленинградский_зоопарк (дата обращения: 10.02.2020).
4. Ширкин Л.А. Учебное пособие «Рентгенофлуоресцентный анализ объектов окружающей среды». [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://spectronxray.ru/upload/tasks/eco-2/1.pdf (дата обращения: 10.02.2020).
5. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. — М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. – 15 с.

УДК 339.13; 504.062; 67.03

АНАЛИЗ РОССИЙСКОГО РЫНКА БИОРАЗЛАГАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Бойцова А.Д.[1] *(студент),* ***Николаев Е.М.***[1] *(аспирант)*
Научный руководитель – к.т.н., доцент Молодкина Н.Р.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: boitcova.a.d@gmail.com

Работа выполнена в рамках темы НИРМА №623115 «Экобиотехнологии для предотвращения промышленного загрязнения».

В работе проведен анализ рынка биоразлагаемых материалов в России, рассмотрены особенности производства биоразлагаемой продукции и оценены возможности рынка. Был проведен опрос потребителей, определяющий их характеристики для оценки количества проблем на рынке и поиска возможных решений. По результатам работы были составлены критерии, на которые следует опираться при разработке инновационных биоразлагаемых материалов.

Ключевые слова
Биоразлагаемые материалы, биопластики, биокомпозиты, динамика рынка, конкурентный анализ, структура производства, характеристика потребителей.

В последние годы на рынке наблюдается увеличение количества товаров с экологичным посылом. Это связано как со всемирным трендом на «экологичность» продукции, так и с определенными поправками в законодательстве, касающимися ответственности производителей и потребителей, а также с национальными, коммерческими и некоммерческими проектами, направленными на борьбу с отходами [1]. В связи с поправками в федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 1 марта 2023 года, с 2030 года устанавливается обязательная утилизация вторичных ресурсов, которая, в частности, будет обеспечиваться производителями, что ведет к увеличению их потребности в биоразлагаемой упаковке, а также к модернизации рынка, направленной на поиск альтернатив одноразовому пластику. Поэтому разработки в области биоразлагаемых и биокомпостируемых полимеров и биокомпозитов становятся особенно актуальными.

Согласно подписанному Михаилом Мишустиным распоряжению по изменениям в федеральный закон «О развитии сельского хозяйства» от 2021 года, производители биополимеров и биопластиков могут рассчитывать на господдержку, например на снижение ставок по инвестиционным кредитам. Предполагается, что такие изменения помогут нарастить производство биополимеров и снизят зависимость от аналогичных зарубежных продуктов.

Целью данной работы является оценка рынка биоразлагаемых материалов в России для определения вектора разработки инновационных продуктов и внедрения их в отечественное производство. Актуальность работы заключается в малом количестве данных о рынке биоразлагаемых материалов в России и необходимости осветить социально-экономические аспекты, на которые следует обратить внимание при разработке новых продуктов. Объектом исследования выступает отечественный рынок, а предметом – биоразлагаемые материалы, представленные на нем.

Согласно перечню упаковки товаров, после утраты потребительских свойств которых образуются отходы (представленные биоразлагаемыми материалами от 11.02.2016), биоразлагаемыми являются продукты хлопчатобумажной и целлюлозной промышленности. Однако на рынке присутствуют инновационные продукты научно-технического прогресса, которые представлены такими материалами как биокомпозиты и биопластики.

Биокомпозитные материалы – это современный инновационный продукт, в котором в качестве армирующего наполнителя применяется волокно растительного происхождения [2]. Биопластики – это пластиковые материалы, производимые из возобновляемых источников биомассы, таких как растительные жиры и масла, кукурузный крахмал, солома, щепа, опилки, переработанные пищевые отходы. Наиболее популярны на рынке такие биопластики как полилактид (PLA), полибутиленсукцинат (PBS), полигидроксиалканоаты (PHA), полигидроксибутираты (PHB), полибутилен-адипат-терефталат (PBAT) [3]. Все они производятся на основе кислот, образующихся в процессе метаболических реакций микроорганизмов: молочная кислота, янтарная кислота, гидроксипроизводные кислоты, терефталевая кислота. Важно отметить, что в России нет производителей биопластиков. Основная проблема данных материалов заключается в дороговизне производства, а количество продуктов, представленных в оптовой и розничной торговле крайне мало.

При этом на рынке существует продукция, которая не имеет доказанных свойств биоразлагаемости, но позиционируется как таковая. Зачастую такие продукты как «биоразлагаемые» пакеты, посуда и упаковка производится из стандартных пластиков с добавлением катализирующих разложение добавок [4]. Разложение пластика в этом случае наступает быстрее, но останавливается, как и в случае с обычной пластиковой продукцией, на этапе образования микропластика, что не решает проблему загрязнения окружающей среды, а неосведомленность потребителей в вопросе разложения дает производителям возможность использования гринвошинга.

Согласно исследованию NeoAnalytics [5], некоторые данные которого есть в открытом доступе, объем рынка одноразовой биоразлагаемой посуды в России составил 10 млрд. руб. Для сравнения, в 2014 г. он составлял 5,2 млрд. руб., а в 2022 г. – увеличился в 1,95 раза. Согласно рисунке 1 динамика объема рынка биоразлагаемой посуды стабильна, наблюдается ее медленный рост [6]. Данные представлены в процентах по отношению к прошлому году.

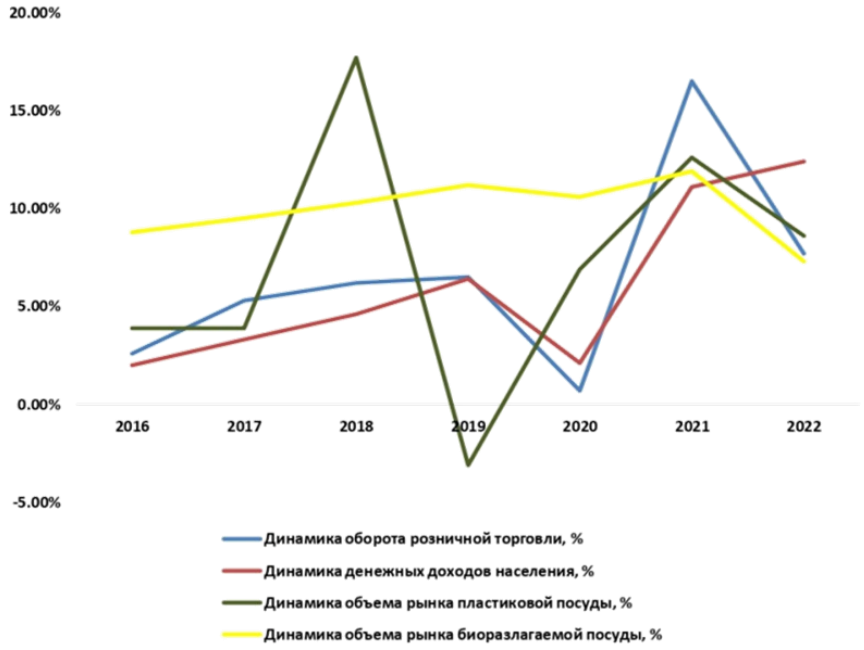


Рисунок. График динамики рынка одноразовой посуды от NeoAnalytics «Российский рынок одноразовой биоразлагаемой посуды: итоги 2022 г., прогноз до 2026 г.»

Большая часть рынка биоразлагаемой посуды представлена импортными товарами, производство же представлено компаниями, занимающимися добавлением катализирующих добавок в стандартные пластики. Среди таких компаний можно выделить следующие: ООО «ФОПОС», ООО «КВАНТ», ООО «ГаммаФлекс», ООО «Элит Пак», ООО «СинтезПАК», ООО «Кенгуру», ООО «МОССИНТЕЗ, ООО «ЕвроБалт». Проблема продуктов представленных производителей заключается в образовании микро- и нанопластика, так как

добавки-катализаторы лишь ускоряют начало разложения, но не ведут к распаду материала на элементарные составляющие. Существуют производители биоразлагаемой посуды на основе импортного сырья в виде биопластиков: ООО «КРАМБИОПЛАСТ», ООО «Био 108», ООО «ГринБиоТех». Целлюлозной упаковкой занимается компания ООО «Эко тайм», однако имеет ряд недостатков, таких как неспособность удерживать жидкость большое количество времени и недолговечность. Основным дистрибьютером биоразлагаемой посуды является ООО «Эковилка». Импортеры биопластиков в России представлены в основном европейскими компаниями: Bio-On, KEYUAN Plastics, DaniMer Scientific, BASF SE, NOVAMONT S. p. a. Unita Di Novara, 100% SRL, BiologiQ, Inc., KANEKA Corp [7].

Согласно исследованию MegaResearch [8], основными потребительскими группами биоразлагаемой одноразовой посуды в секторе B2B (от бизнеса к бизнесу) является группа HoReCa (индустрия гостеприимства), а также медицинские организации, агрохимическое производство и текстильная промышленность. В секторе B2C (от бизнеса к потребителю) основными товарами стали упаковочные, медицинские и текстильные.

В ходе работы был составлен и проведен социальный опрос для определения характеристик потребительских групп, с учетом которых может быть составлена маркетинговая кампания, направленная на конкретных покупателей. Опрос включал в себя 10 вопросов, которые определяли следующие параметры потребителей: возраст, род деятельности, степень использования биоразлагаемой продукции, перечень используемых продуктов, степень важности наличия у продукции такого свойства как биоразлагаемость, понимание свойства биоразлагаемости продукции, достоинства биоразлагаемой продукции, ее недостатки, готовность к повышенной цене на продукцию, мнение потребителей о том, как можно повысить спрос на использование такой продукции. В опросе приняли участие 151 человек. Он показал, что основной возраст потребителей – 19–30 лет (46,4% голосов), род деятельности – работа по найму (49,7% голосов). Респонденты иногда (47% голосов) пользуются биоразлагаемой продукцией, регулярно ее используют 17,9% потребителей, 11,3% отмечают, что не знают, пользуются ли такой продукцией. Наиболее употребительны у респондентов биоразлагаемые пакеты (60,9%), упаковка (55%) и бытовая химия (43%). Наименее употребительна биоразлагаемая одежда, обувь и аксессуары (11,3%), 19,2% отметили, что не пользуются или не знают, что пользуются биоразлагаемой продукцией. 29,8% респондентов пользуются биоразлагаемой одноразовой посудой. Большинство (65,6%) отмечают, что узнают о том, что продукция биоразлагаемая по надписи на упаковке, 47% респондентов узнают это из маркировки на упаковке. Среди достоинств биоразлагаемой продукции респонденты выделили заботу об окружающей среде (82,1% голосов), 33,1% считают, что биоразлагаемый продукт более чистый по составу, 19,9% отмечают высокое качество, 1 респондент отметил органолептические свойства биоразлагаемых продуктов, а именно менее едкий запах. 68,2% респондентов отметили, что зачастую непонятно, является ли продукция биоразлагаемой на самом деле; 56,3% отметили высокую стоимость продукции. 62,9% потребителей отметили, что готовы мириться с небольшим повышением стоимости биоразлагаемой продукции, 24,5% отметили, что не уверены к повышенной цене. Потребители отмечают, что для повышения спроса на продукцию производителям следует обратить внимание на биоразлагаемую упаковку для своих изделий (60,3%), 58,9% респондентов отметили необходимость снижения стоимости, также они отмечают, что в магазинах должно быть представлено больше биоразлагаемой продукции (50,3% голосов), и считают, что необходимо информирование населения о важности такой продукции для сохранения окружающей среды (53% голосов), 2 респондента отметили, что решение данного вопроса лежит в введении новых государственных стандартов, а целесообразность использования биоразлагаемой продукции обеспечивается внедрением в инфраструктуру таких компонентов, как раздельный сбор и промышленное компостирование.

Помимо основных проблем в виде импортной зависимости и отсутствии стандартизации и унификации производства биоразлагаемой продукции, опрос помог выявить такие проблемы на рынке как:

1. Высокая стоимость готовой продукции.
2. Гринвошинг.
3. Незнание или отсутствие использования.

В результате работы был определены следующие критерии, определяющие вектор инновационных разработок в области биоразлагаемых материалов:

1. Отсутствие в составе нефтехимических полимеров, оксидов тяжелых металлов, катализаторов разложения, которые ведут к появлению микро- и нанопластика.
2. Развитие технологических мощностей, использование новых методов получения биоразлагаемых материалов.
3. Реализация производства биоразлагаемых материалов из отходов агро- и лесопромышленности.
4. Комфортная стоимость продукции и сырья для производителей и потребителей не должна превышать двойную стоимость нефтехимических аналогов.

В заключении необходимо отметить, что на рынке ниша биоразлагаемых материалов характеризуется высоким спросом, но неподтвержденным качеством, поэтому разработки в этой области должны быть направлены на чистоту и прозрачность состава, так как в ходе работы были выявлены сложности с наличием составов продукции в популярных источниках и на сайтах дистрибьютеров. Также стоит отметить, что наиболее выгодны продукты из композитных материалов, которые могут включать в состав отходы производств и уменьшить количество потребляемых биопластиков, что снижает итоговую стоимость продукции.

Список использованных источников:

1. Экономика замкнутого цикла основана на цикличном обращении с природными ресурсами и возвращении их в оборот. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://reo.ru/ezc?ysclid=lrymggcgy9680541067 (дата обращения: 06.03.2024).
2. Дасковский М.И., Дориомедов М.С., Севастьянов Д.В., Скрипачев С.Ю. Полимерные биокомпозиты – перспективы применения (обзор) // Авиационные материалы и технологии. – 2017. – №. 3 (48). – С. 74–80.
3. Пармухина Е.Л. Российский рынок биоразлагаемой упаковки. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://techart.ru/files/publications/biodegradable-package-market.pdf?ysclid=lrya2wx81x848515824 (дата обращения: 09.03.2024).
4. Мазитова А.К., Аминова Г.К., Зарипов И.И., Вихарева И.Н. Биоразлагаемые полимерные материалы и модифицирующие добавки: современное состояние. Часть II // Нанотехнологии в строительстве. – 2021. – №. 13(1). – С. 32–38.
5. Российский рынок одноразовой биоразлагаемой упаковки: итоги 2022–2023 гг., прогноз до 2026 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://foodmarket.spb.ru/archive/2024/222980/222992/ (дата обращения: 10.03.2024).
6. Демоверсия аналитического отчета NeoAnalytics Российский рынок биоразлагаемой одноразовой посуды: итоги 2022 г., прогноз до 2026 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.neoanalytics.ru/wp-content/uploads/2023/04/demo_neoanalytics_rossijskij-rynok-odnorazovoj-biorazlagaemoj-posudy_2023.pdf (дата обращения: 10.03.2024).
7. Решение есть: чем заменить полиэтиленовые пакеты. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ect-center.com/blog/greenbiotech?ysclid=lryox1wyst260296144 (дата обращения: 11.03.2024).
8. Маркетинговое исследование MegaResearch Анализ рынка биоразлагаемой посуды: поддержка государства и экологические инициативы крупнейших потребителей обеспечат рост [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.megaresearch.ru/news_in/analiz-rynka-biorazlagaemoj-posudy-i-perspektivy-razvitiya-do-2025-goda?ysclid=lry4gvxxi0429951173 (дата обращения: 12.03.2024).

УДК 628.3

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ОБРАБОТКЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА АКТИВНОГО ИЛА

***Вертелецкий Е.Д.*[1]** *(аспирант)*
***Научный руководитель – к.х.н., доцент Юльметова Р.Ф.*[1]**

1 – Университет ИТМО

e-mail: Verteletckii.Evgenii@yandex.ru

В настоящей работе рассматривается метод автоматического контроля качества активного ила на станциях биологической очистки сточных вод с использованием технологии компьютерного зрения. Введение системы автоматизированного контроля поможет снизить ручной труд микробиологов и обеспечит непрерывный мониторинг процесса очистки. Метод основан на анализе изображений активного ила, полученных с помощью программируемого микроскопа, и последующей обработке данных при помощи программного обеспечения для определения количества и типов микроорганизмов. Результаты анализа позволяют оценить качество активного ила на основе состава микроорганизмов и принимать необходимые меры для корректировки процессов биологической очистки сточных вод.

Ключевые слова
Активный ил, сточные воды, биологическая очистка, контроль качества, микроорганизмы активного ила.

В современном промышленном мире вопросы экологии и безопасности приобретают все большее значение. Одной из важнейших задач, стоящих перед производственными предприятиями, является обработка сточных вод перед их сбросом в окружающую среду. В России, как и во многих других странах, существует значительное количество заводов, производящих различные виды продукции, и в результате их деятельности значительное количество сточных вод попадает в водные ресурсы.

Важно отметить, что объем сброшенных сточных вод в России за 2022 год составил 11,3 миллиарда кубических метров, что подчеркивает необходимость эффективной системы очистки стоков для минимизации негативного воздействия на окружающую среду и сохранения водной экосистемы.

Одним из ключевых этапов в процессе очистки сточных вод на станциях очистки является биологическая очистка. Этот метод основан на использовании биоценоза, важнейшей частью которого является активный ил. Активный ил играет ключевую роль в биохимическом разложении загрязнений в сточных водах, что делает его неотъемлемой частью процесса очистки [1].

Однако для эффективной работы активного ила необходимо обеспечить определенные условия, способствующие его жизнедеятельности, размножению и функционированию. Эти условия включают в себя ряд факторов, таких как температура, содержание кислорода, pH-уровень и другие.

Таким образом, в данной статье мы рассмотрим важность контроля качества активного ила и возможные подходы к его автоматизации с использованием современных технологий, таких как компьютерное зрение. Проведем анализ существующих методов исследования и контроля, а также представим возможные пути оптимизации процессов обработки сточных вод с целью минимизации негативного воздействия на окружающую среду и обеспечения устойчивого развития промышленных предприятий.

Целью данной работы является создание автоматизированной системы контроля качества активного ила. Для достижения поставленной цели были выполнены следующие задачи:

1. Изучение технологии компьютерного зрения и приобретение как теоретических, так и практических знаний о методах и инструментах компьютерного зрения, необходимых для разработки системы контроля качества активного ила.
2. Формирование базы данных изображений, необходимых для обучения модели компьютерного зрения. Этот этап включает в себя сбор и подготовку изображений активного ила с различными характеристиками и состояниями.
3. Обучение модели на подготовленных данных, включая разработку нескольких моделей, использующих различные методологии определения объектов и обучение их на подготовленных изображениях.
4. Создание архитектуры для обеспечения транспортировки полученных изображений до модели, которая будет обеспечивать эффективную передачу изображений из источника данных до обученной модели для анализа [2].

В настоящий момент контроль качества активного ила на очистных сооружениях происходит вручную. Для этого лаборанты отбирают пробы с определенных точек отбора, после чего наносят пробу на предметное стекло и исследуют активный ил с помощью микроскопа. Лаборанты записывают количество каждого микроорганизма в пробе и переносят данные в таблицу, по которой строят круговую диаграмму и ставят оценку качества активного ила, на основе которой инженер принимает решение о том нужно ли менять параметры технологического процесса. Предпосылками создания автоматизированной системы контроля качества активного ила являются:

1. Низкая автоматизация процесса контроля качества активного ила на очистных сооружениях.
2. Процесс контроля качества активного ила является очень времязатратным.
3. Появление технологий, позволяющих упростить и автоматизировать данный процесс.
4. Важность своевременной реакции на изменение качества активного ила.

При работе с автоматизированной системой контроля качества активного ила лаборант после отбора пробы наносит её на предметное стекло и устанавливает в автоматизированный микроскоп, который оснащён устройством автоматизированного перемещения и фокусировки, моторизированным предметным столом и блоком управления. Далее микроскоп проходит пробу по заданной траектории и делает множество фотографий, которые поступают на компьютер, где заранее обученная на большом количестве изображений активного ила модель идентифицирует микроорганизмы в данной пробе и в качестве результата выдаёт оценку качества активного ила на основе полученных с изображений пробы количественных данных. На рисунке изображён процесс распознавания микроорганизмов на примере прикрепленных инфузорий.

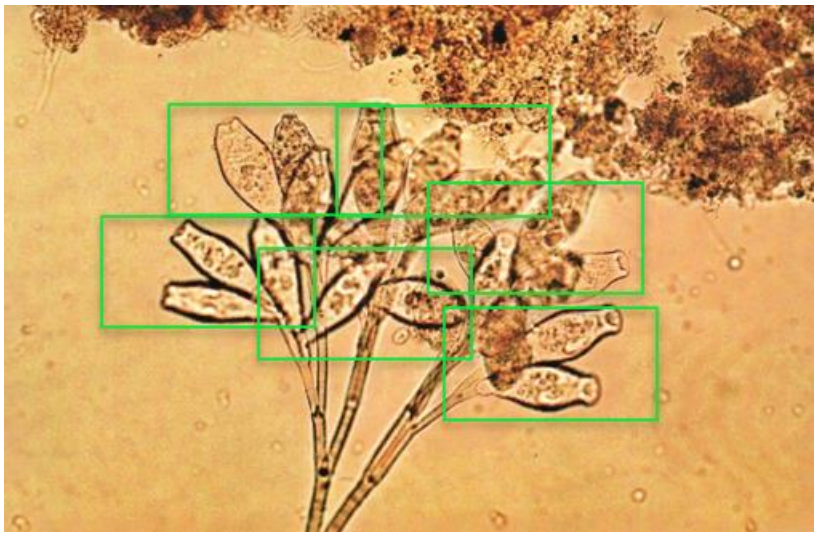


Рисунок. Процесс распознавания микроорганизмов на примере прикрепленных инфузорий

Внедрение автоматизированных систем контроля качества активного ила на станциях очистки сточных вод представляет собой перспективное направление в современной лабораторной практике, обладающее значительным научным и прикладным потенциалом [3]. Преимущества данного подхода лежат в области автоматизации лабораторных процессов, ускорении процессов контроля качества и возможности создания полностью автоматизированных систем очистки сточных вод.

Первое преимущество автоматизации состоит в возможности замены ручного анализа проб активного ила на автоматизированные методы, что позволит существенно сократить время и ресурсы, затрачиваемые на анализ и обработку данных. Это также уменьшит вероятность человеческих ошибок и повысит точность полученных результатов. Второе преимущество заключается в ускорении процесса контроля качества активного ила. Автоматизированные системы контроля позволяют проводить анализ проб значительно быстрее, что сокращает время реакции на изменения в качестве стоков и повышает оперативность принятия решений.

Важным аспектом внедрения автоматизированных систем контроля качества является возможность создания в будущем полностью автоматизированных систем очистки загрязненных стоков. Это открывает новые возможности для оптимизации процессов очистки, снижения вредного воздействия на окружающую среду и повышения эффективности использования ресурсов [4]. Автоматизация процессов очистки, включая контроль качества активного ила, обещает сделать процесс очистки более эффективным и устойчивым с точки зрения экологической и экономической устойчивости.

Таким образом, внедрение автоматизированных систем контроля качества активного ила представляет собой важное направление в современной микробиологии и экологической инженерии, способное существенно повысить эффективность процессов очистки сточных вод и снизить негативное воздействие на окружающую среду.

Список использованных источников

1. Мурыгина В.П., Калюжный С.В. Роль нитчатых микроорганизмов в процессах пенообразования на сооружениях очистки сточных вод // Успехи современной биологии. – 2004. – №. 1. – С. 77–92.
2. Майоров И.С., Чухчин Д.Г., Соколов О.М. Метод контроля состава активного ила на предприятиях ЦБП // Лесной журнал. – 2005. – №. 4. – С. 140–142.
3. Asgharnejad, H. and Sarrafzadeh M. Development of Digital Image Processing as an Innovative Method for Activated Sludge Biomass Quantification // Frontiers in Microbiology. – 2020. – V. 11. – №. 1. – Pp. 1–10.
4. Sonka M., Hlavac V., Boyle R. Image Processing, Analysis, and Machine Vision. – Cengage Learning, 2014. – 727 p.

УДК 504.06

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ СБОРА И ПЕРЕРАБОТКИ АЛЮМИНИЯ В РОССИИ И В МИРЕ

Воронина Е.Н.[1] *(студент),* ***Сергиенко О.И.***[1]
Научный руководитель – к.т.н., доцент Сергиенко О.И.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: elizaveta.voronina99@gmail.com

В работе анализируется сбор отходов, содержащих алюминий, и производство вторичного алюминия в Китае, странах ЕС и России. Среди лучших практик по обращению с отходами алюминия выявлены раздельный сбор, системы возврата депозитов, переработка золы при сжигании твердых бытовых отходов и механическая обработка смешанных твердых бытовых отходов. Обоснованными выгодами производства вторичного алюминия по сравнению с первичным алюминием, является снижение негативного воздействия на окружающую среду при значительном уменьшении энергопотребления.

Ключевые слова
Переработка алюминия, вторичный алюминий, сбор, производство, загрязнение окружающей среды, выбросы парниковых газов.

Алюминий играет важную роль в мировой промышленности, он широко используется в строительстве, транспорте, авиации и других отраслях. Несмотря на такие преимущества алюминия, как прочность, легкость, стойкость к коррозии, его повсеместное применение ограничено трудностью его добычи. Процесс производства первичного алюминия требует большого количества энергии, загрязняет окружающую среду и является причиной значительных выбросов парниковых газов. Гораздо более экологичной и экономичной альтернативой является переработка алюминия, так как энергопотребление вторичного алюминия составляет только 5% от общего энергопотребления в производстве первичного металла. Кроме того, вторичный алюминий можно использовать многократно без потери качества. Целью данной работы является изучение современного состояния процессов сбора и переработки алюминия в мире и в России для дальнейшей разработки мер по снижению воздействия производства алюминия на окружающую среду.

Доказательством возрастающего интереса к устойчивому производству и экологической ответственности в отношении использования алюминия служит рост производства вторичного алюминия в мире. На рисунке 1 показан устойчивый рост объемов производства вторичного алюминия за период 1950–2021 гг. По оценкам Международного института алюминия, количество вторичного электролитического алюминия во всем мире увеличится вдвое в течение следующих 20 лет – до 68 млн т в 2041 году, а к 2070 году мировое производство переработанных легированных сплавов составит чуть менее 120 млн т, т.е. увеличится втрое по сравнению с сегодняшним показателем [1].

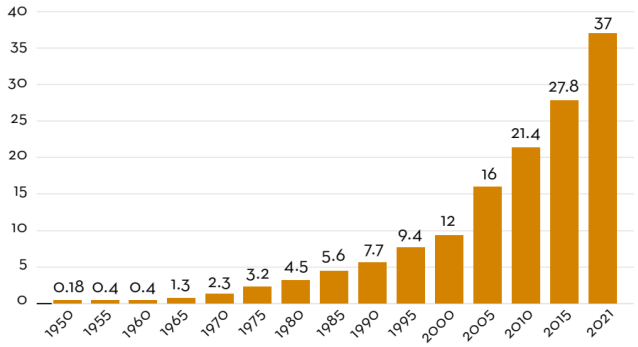


Рис. 1. Количество переработанного алюминия в мире, млн тонн [1]

В настоящее время крупнейшим в мире потребителем и производителем алюминия является Китай. В 2021 году производство первичного алюминия в Китае достигло уровня 38,84 млн т и составило 58% от общего мирового производства. Благодаря трансформации промышленной структуры и развитию технологий производство алюминия в Китае и спрос на него продолжают расти. Однако производство первичного алюминия оказывает значительное негативное воздействие на окружающую среду. Выбросы парниковых газов при производстве первичного электролитического алюминия в 2020 году составили около 420 мегатонн CO_2-экв, что составляет примерно 3% от общего объема выбросов парниковых газов в Китае. При этом Китай прилагает большие усилия для достижения своих целей по углеродной нейтральности. Решением этой проблемы может стать производство вторичного алюминия вместо первичного, но внутренняя система переработки металлолома в Китае все еще находится на начальной стадии: доля вторичного алюминия составляет менее 20%, что намного ниже среднего мирового показателя [2]. Многие алюминиевые изделия после использования отправляются на свалки без эффективной переработки и утилизации, а часть лома приходится импортировать из других стран. Китай, будучи крупнейшей в мире страной по производству и потреблению алюминия, сталкивается с серьезной проблемой по снижению общих выбросов парниковых газов в алюминиевой промышленности, решением которой может стать производство вторичного алюминия.

Россия занимает второе в мире по производству алюминия. В 2021 году было произведено 3,932 млн тонн. В «Стратегии развития металлургической промышленности Российской Федерации на период до 2030 года» целевой объем потребления алюминия к 2030 году запланирован на уровне 1,8 млн тонн, объем экспорта алюминия к 2030 году запланирован на уровне 3,1 млн тонн [3]. Дополнительный спрос на алюминий обусловлен переходом к зеленой экономике, зеленой энергетике с увеличением доли производства электромобилей и развитием ветровой и солнечной энергетики. Кроме того, внедрение экономики замкнутого цикла приводит к росту спроса на перерабатываемую упаковку, в том числе алюминиевые банки, а развитие строительства требует применения алюминия для производства оконных рам, фасадных систем, систем отопления и вентиляции.

Увеличение спроса на вторичный алюминий связанно с тем, что цели по декарбонизации установлены мировыми компаниями во всех цепочках создания стоимости, в том числе у автопроизводителей, производителей перерабатываемой упаковки в сегменте повседневного массового спроса и производителей потребительских товаров.

Примером успешной реализации процессов сбора и переработки отходов алюминия являются страны Европейского Союза, где производится около 4% мирового производства алюминия. В числе лидеров – Германия (24%), Франция (17%) и Испания (16%). На рисунке 2 показано увеличение доли переработанного алюминия в ЕС и связанное с этим сокращение объемов выбросов парниковых газов в период с 1970 по 2015 гг. Абсолютные выбросы алюминиевой промышленности сократились с 23,5 млн тонн CO_2-экв в 1990 году до 3,7 млн тонн в 2018 году, то есть на 84%. Этот результат был достигнут благодаря улучшению технологий производства и развитию системы сбора и переработки алюминия [4].

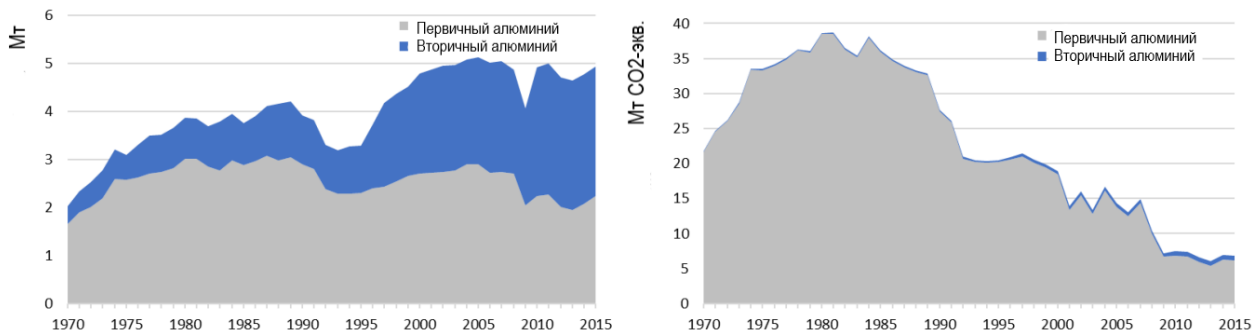


Рис. 2. Изменения объемов производства алюминия (слева) и совокупных выбросов парниковых газов (справа) в ЕС, 1970–2015 гг.

Значительный вклад в переработку алюминия в Европе вносит упаковка. Алюминиевую упаковку можно утилизировать с помощью различных организационных мер, таких как раздельный сбор, системы возврата депозитов, переработка золы при сжигании твердых бытовых отходов и механическая обработка смешанных твердых бытовых отходов. Большинство стран ЕС перерабатывают не менее 66% алюминиевой упаковки из твердых бытовых отходов, и только в трех странах наблюдаются низкие показатели переработки — 20–35%, как показано на рисунке 3. Так, Германия (88%), Нидерланды (79%), Швеция (77%) и Бельгия (76%) традиционно демонстрируют очень высокий уровень переработки алюминия.

Однако общий уровень переработки алюминия не всегда напрямую связан с выбором конкретной системы переработки. Например, система возврата депозитов в сочетании с раздельным сбором могут повысить общий уровень собираемости, но не всегда приводят к повышению уровня переработки, так как другие страны с такими же высокими показателями переработки компенсируют это большим количеством алюминия, извлеченного из зольного остатка [5]. Таким образом, выбор систем переработки алюминия (раздельный сбор, системы возврата депозитов, переработка золы при сжигании твердых бытовых отходов или механическая обработка смешанных твердых бытовых отходов) незначительно влияет на увеличение уровня переработки алюминия в стране, в отличие от хорошо налаженной инфраструктуры сбора, законодательным актам и общей приверженности населения к защите окружающей среды, благодаря которым ЕС продолжает лидировать в этой области.

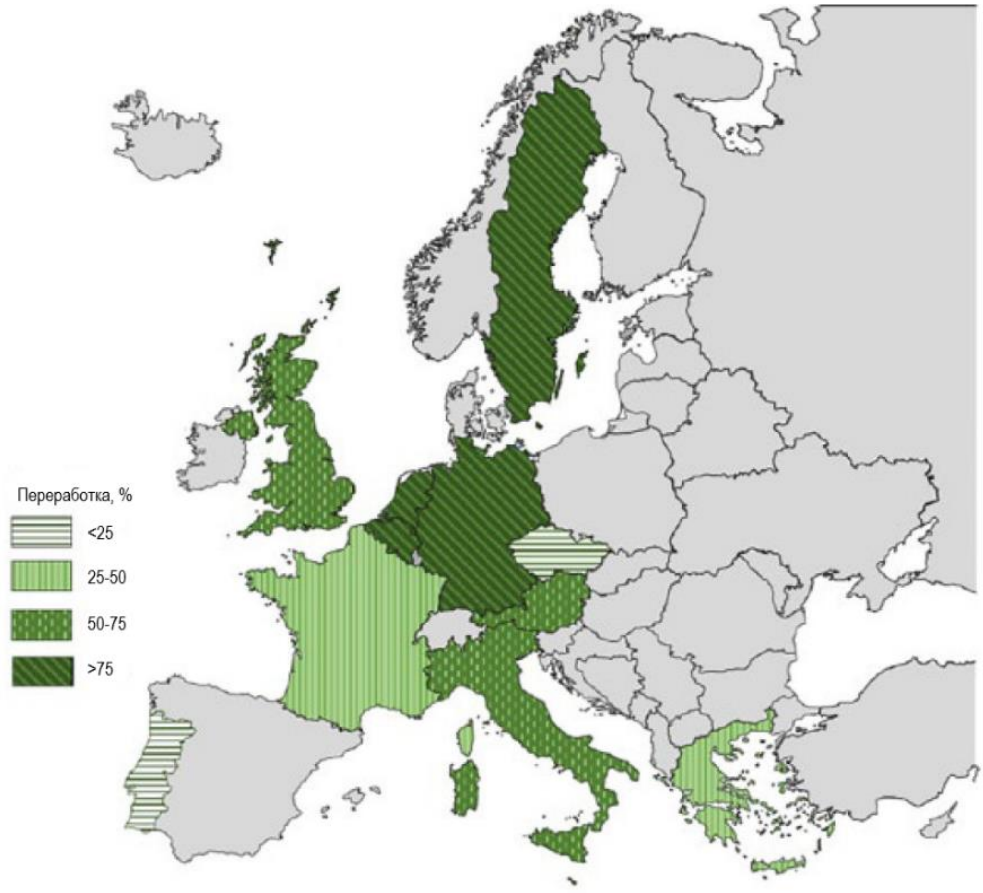


Рис. 3. Уровень переработки алюминиевой упаковки в некоторых странах ЕС (в %) [5]

Россия имеет большой потенциал в производстве и переработке вторичного алюминия. В настоящий момент средний уровень использования промышленных отходов составляет около 36%. Металлургическую переработку алюминиевого лома и отходов осуществляют более 100 заводов, производящих литые алюминиевые сплавы и раскислители. Важным направлением развития являются повышение эффективности использования промышленных отходов и увеличение доли вторичного алюминия в общем производстве, что позволит снизить нагрузку на окружающую среду и улучшить экологические показатели отрасли [3].

Ввиду того, что производство первичного алюминия сопровождается значительным негативным воздействием на окружающую среду из-за высокого энергопотребления, выбросов парниковых газов и истощения ресурсов, переработка отходов, содержащих алюминий, и производство вторичного алюминия становятся все более актуальными в нашей стране. Как показывает зарубежный опыт, залогом успеха может стать сформированная экологическая политика, поощряющая участие предприятий и потребителей в устойчивом управлении алюминиевыми отходами, включая развитие инфраструктуры для сбора и переработки отходов.

Список использованных источников

1. Material Flow Analysis A Look At The Numbers Globally And In Asia. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://international-aluminium.org/resource/material-flow-analysis-a-look-at-the-numbers-globally-and-in-asia/ (дата обращения: 07.02.2024).
2. Qiang Wang, Peng Huang, Qinmeng Wang, Xueyi Guo. Greenhouse gas emissions and future development trends of primary aluminum in China // Journal of Cleaner Production – № 403 – 2023. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652623009861 (дата обращения: 09.02.2024).
3. Распоряжение Правительства РФ от 28 декабря 2022 г. № 4260-р «Об утверждении Стратегии развития металлургической промышленности РФ на период до 2030 г.». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405963845/#1000 (дата обращения: 04.03.2024).
4. Georgitzikis K., Mancini L., d'Elia E., Vidal-Legaz B.: Sustainability aspects of Bauxite and Aluminium. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/library/jrc125390_sustainability_profile_bauxite__aluminium_online.pdf (дата обращения: 23.02.2024).
5. Warrings R, Fellner J. Management of aluminium packaging waste in selected European countries // Waste Management & Research – №. 4 – 2019. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30836862/ (дата обращения: 29.02.2024).

УДК 504.06

ОЦЕНКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОДНОРАЗОВОЙ ПОСУДЫ. РАССМОТРЕНИЕ УСТОЙЧИВОЙ СХЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ ОТ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РЕСТОРАНОВ БЫСТРОГО ПИТАНИЯ

Габидулина З.[1] *(студент),* ***Лебединская А.А.***[1] *(студент),* ***Данилюк М.А.***[1] *(аспирант)*
Научный руководитель – Данилюк М.А.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: zlatagabidulina08@gmail.com

В работе рассмотрен жизненный цикл одноразовой упаковки, которая преимущественно используется ресторанами быстрого питания. После проведенной оценки была предложена схема по более устойчивому использованию изделий, а именно рассмотрен проект по обращению с отходами упаковки.
Ключевые слова
Одноразовая посуда, оценка жизненного цикла, рестораны быстрого питания, обращение с отходами, твердые коммунальные отходы.

Основная цель работы заключалась в рассмотрении схемы жизненного цикла одноразовой упаковки для устойчивого использования, которая используется ресторанами быстрого питания. В структуре потребителей рынка одноразовой посуды около 75% – это заведения общепита, наибольшую долю среди которых составляют заведения фаст-фуда – 30% [1]. Основные проблемы заключаются в том, что упаковка изготавливается из композиционных материалов, а после использования отходы значительно загрязнены органическими веществами – эти факторы осложняют процесс утилизации, и следовательно отходы упаковки зачастую удаляются и направляются на размещение на полигоны.

В исследовании сравнивались два типа одноразовой посуды, которые используются в ресторанах сети быстрого питания «Вкусно – и точка», картонная коробка для подачи бургера и бумажный стакан для холодных напитков. Жизненный цикл (ЖЦ) изделий сопоставлялся с ЖЦ пластиковой тарелки и полимерного стакана.

Границы продукционных систем принимались от начала производства изделий до обращения с отходами упаковки по общепринятой схеме обращения с твердыми коммунальными отходами. Категория воздействия, по которой происходило сравнение влияния от товаров, – потенциал глобального потепления. Программное обеспечение, с помощью которого моделировалась система жизненного цикла, – SimaPro, используемый метод – ReCiPe 2016 Midpoint (H). В процессе инвентаризационного анализа, для определения количественных характеристик входных и выходных потоков при производстве одноразовой упаковки использовались информационно-технические справочники по наилучшим доступным технологиям, базы данных Ecoinvent 3 и открытая информация о деятельности ресторанов «Вкусно – и точка». Краткая характеристика предприятия «Вкусно – и точка» приведена в таблице 1 [2].

Таблица 1

Характеристика предприятия «Вкусно – и точка»

Отрасль деятельности	Годовой товарооборот, млрд руб./год	Количество работников, чел.
Код ОКВЭД 56.10. Деятельность ресторанов и услуги по доставке продуктов питания	73,5	62000

За функциональные единицы при проведении оценки жизненного цикла были приняты: одна картонная коробка для подачи бургера (26 г), одна полипропиленовая тарелка (6,5 г), один бумажный стакан с полиэтиленовым покрытием (9 г), один полипропиленовый стакан (4 г).

Упрощенная схема движения упаковки указана на рисунке 1.

Рис. 1. Упрощенная схема движения упаковки

По результатам проведения оценки жизненного цикла были получены следующие данные по категории воздействия – потенциал глобального изменения климата: картонная коробка – 0,0713 кг CO_2 экв.; пластиковая тарелка – 0,0325 кг CO_2 экв.; бумажный стакан – 0,0409 кг CO_2 экв.; пластиковый стакан – 0,0218 кг CO_2 экв. На рисунке 2 визуализированы данные, полученные по итогу исследования.

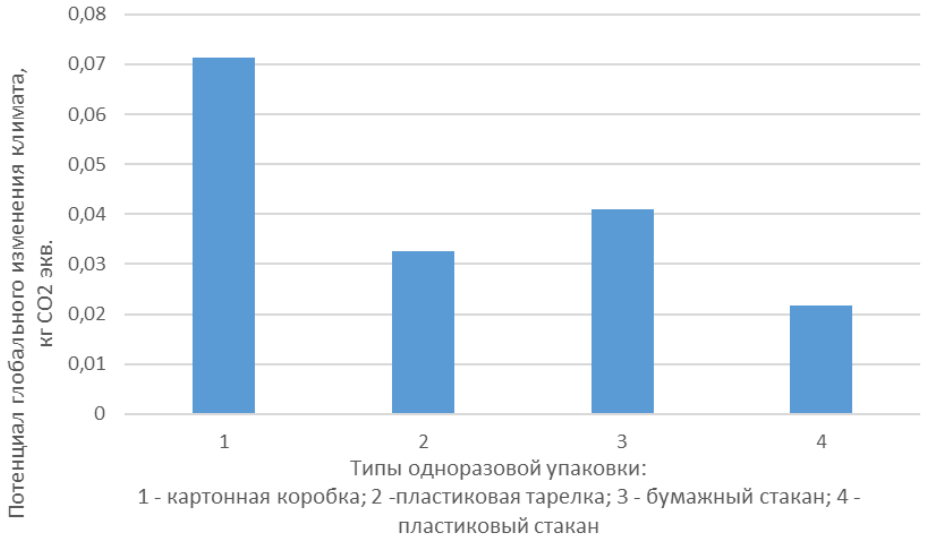


Рис. 2. Потенциалы глобального изменения климата для каждого вида одноразовой посуды

Большой вклад в формирование воздействия вносит стадия окончания жизненного цикла – обращение с отходами упаковки. Так как в ресторанах нет раздельного накопления данных видов отходов, они попадают в общий поток ТКО и обращением с такими отходами занимается региональный оператор, который основную долю отходов направляет на захоронение на полигоны, в связи с тем, что такие отходы либо сложно отсортировать при обработке, либо они не подлежат утилизации после смешения с органическими загрязнителями.

При рассмотрении схемы по более устойчивому использованию одноразовых товаров первоначально был рассмотрен проект с минимальными инвестициями, направленный на раздельное накопление отходов упаковки в ресторанах. На рисунке 3 изображена схема двухпоточного разделения на следующие фракции: бумажные коробки для бургеров и прочие отходы. Отдельный поток из картонных коробок выделен именно потому, что изделия состоят из однородных материалов, а отходы практические не загрязнены органикой. Потребуется

установить баки для накопления отходов и стеллажи для подносов в 81 заведении сети «Вкусно – и точка» в Санкт-Петербурге [3].

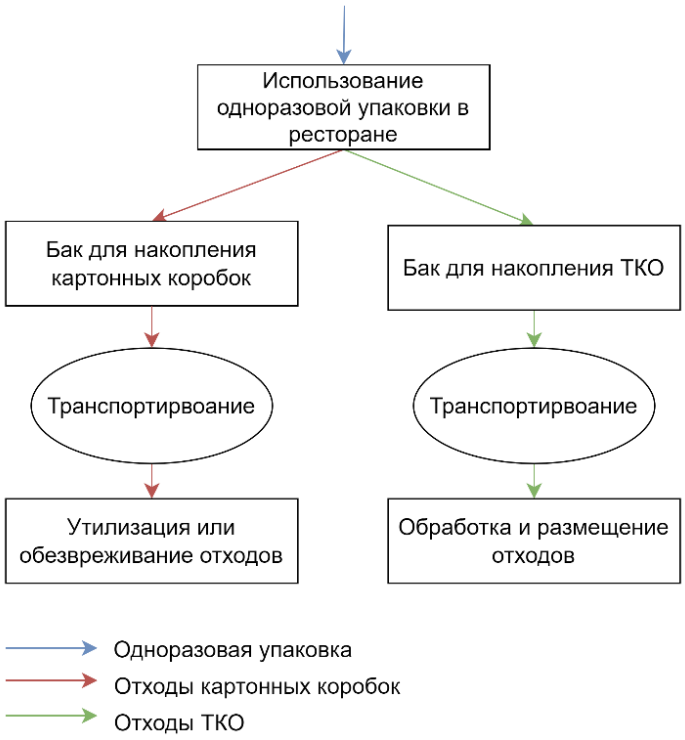


Рис. 3. Схема двухпоточного накопления отходов

Инвестиционные затраты на реализацию проекта указаны в таблице 2.

Таблица 2

Инвестиционные затраты на реализацию проекта

№ п/п	Наименование статьи затрат	Стоимость, тыс. руб.
1	Приобретение контейнеров для раздельного накопления, стеллажей для подносов	73,5
2	Разработка проекта	753,2
3	Транспортно-заготовительные расходы	351,5
4	Обучение, PR-компания	138,55
5	Прочие расходы	150,6
6	Итого:	641,88

Обслуживание контейнеров не приведет к дополнительным затратам, но при расчете эксплуатационных затрат должна учитываться стоимость на услуги по утилизации отходов картонных коробок для бургеров, которая составит порядка 2544 тыс. руб. ежегодно [4].

Экологический эффект при реализации проекта будет заключаться в сокращении количества размещаемых на полигоне отходов, а экологические сбережения будут увеличиваться за счет уменьшения платы региональному оператору за обращение с отходами и платы в рамках расширенной ответственности производителя.

Период окупаемости данного проекта составит порядка 7 месяцев. Схему раздельного накопления отходов можно расширить, путем выделения других потоков одноразовой посуды и упаковки.

Проект является экономически целесообразным, имеет почву для развития и несет положительный экологический эффект, а именно: повышает эффективность использования ресурсов, создает замкнутый цикл для одного из типов одноразовой посуды.

Список использованных источников

1. NeoAnalytics. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.neoanalytics.ru (дата обращения: 22.10.2023).
2. Вкусно – и точка: более 210 миллионов визитов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vkusnoitochka.ru/articles/news/results-of-first-six-months/ (дата обращения: 29.10.2023).
3. Вкусная точка: меню, цены, акции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vkusnotochkamenu.ru/adresa/sankt-peterburg-i-leningradskaya-oblast/sankt-peterburg/ (дата обращения: 29.10.2023).
4. Эколибра: «Утилизация отходов». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sbso78.ru/services/vyvoz-i-utilizaciya-othodov (дата обращения: 29.10.2023). (Дата обращения 20.06.2023).

УДК 504.4.062.2, 620.951

ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ МИКРОБНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

***Гладышева М.С.*[1] *(студент),* ***Молодкина Н.Р.*[1]**
***Научный руководитель – к.т.н, доцент Молодкина Н.Р.*[1]**

1 – Университет ИТМО

e-mail: marmag.s@yandex.ru, nrmolodkina@itmo.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №623115 «Экобиотехнологии для предотвращения промышленного загрязнения».

В работе рассмотрены общие принципы работы микробного топливного элемента, способного к выработке электроэнергии, а также к биоремедиации различных сред при помощи микроорганизмов. Данная технология может применяться в различных сферах жизни, начиная от питания маломощных автономных устройств мониторинга окружающей среды на базе Интернет вещей и заканчивая обработкой стоков пищевой промышленности и коммунальных хозяйств в зависимости от модификации систем.

Ключевые слова
Микробный топливный элемент, экобиотехнология, электроактивные микроорганизмы, биоремедиация, альтернативная энергия.

Проблему загрязнения окружающей среды различными видами отходов возможно решить развитием и внедрением экобиотехнологий, что позволит минимизировать вред, наносящийся экосистемам. Многие загрязняющие вещества органической природы являются биоразлагаемыми, что позволяет внедрить их в общие циклы очистки, работающие на принципах биоразложения, где в зависимости от своего состава поллютанты могут быть подвержены очистке с различной степенью эффективности в зависимости от наличия в среде конечных акцепторов электронов, в том числе, молекулярного кислорода [1]. Среди направлений, использующих данный подход можно рассмотреть микробные топливные элементы (МТЭ), которые являются довольно новыми для внедрения в общий цикл очистки и интересными биотехнологическими устройствами, в которых одновременно сочетаются основы биофизики, биоэнергетики и других смежных дисциплин.

Также можно отметить, что применение МТЭ может использоваться и в качестве альтернативного источника энергии, поскольку текущая мировая годовая потребность в энергии составляет примерно 13 тераватт (ТВт), а к 2050 году потребуются еще 10 ТВт энергии для поддержания нынешнего образа жизни, что ставит задачей поиска возобновляемых источников энергии, которые являются привлекательными из-за наличия различных преимуществ, связанных с их использованием, а именно, снижение зависимости от ископаемого топлива, вклад в достижение целей устойчивого развития [2], где одними из целей являются «Обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства» (Цель 12 УР ООН), «Чистая вода и санитария» (Цель 6 УР ООН), «Недорогостоящая и чистая энергия (Цель 7 УР ООН).

Принцип работы микробных топливных элементов состоит в окислении органических веществ микроорганизмами в анодной камере, тем самым образуя электроны и протоны, которые передаются по внешней цепи в катодную камеру. Классический вариант микробного топливного элемента представляет собой двухсекционную систему, соединенную протонообенной мембранной (рис. 1). Первым и главным элементом данной конструкции является анодная камера, где расположен анод, на котором сообщество микроорганизмов образует биопленку, вследствие чего анод должен быть выполнен из биосовместимых с микробным сообществом материалов, а также иметь высокую проводимость. Вторым элементом является катодная камера, где происходит реакция восстановления кислорода.

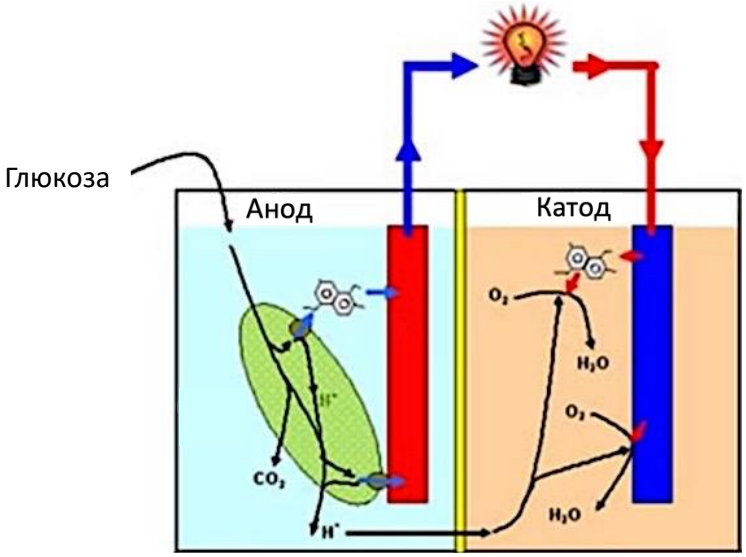


Рис. 1. Схема микробного топливного элемента в классическом варианте

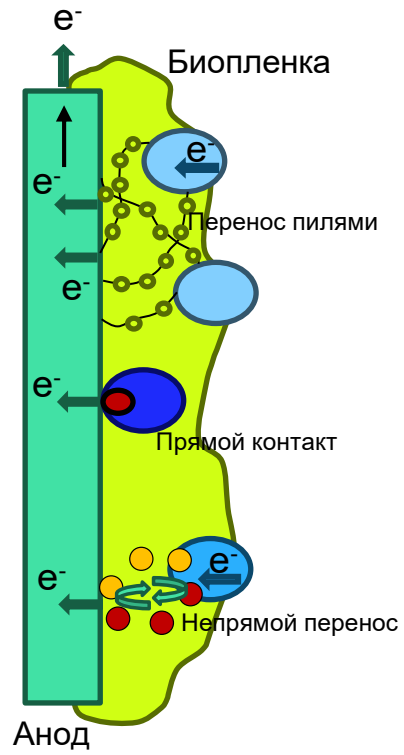


Рис. 2. Механизмы переноса электронов

Важную роль в работе микробных топливных элементов занимают микроорганизмы, способные образовывать биопленки на твердых поверхностях, в рассматриваемом случае – электроде. Наличие таких микроорганизмов было обнаружено во множествах природных экосистемах, таких как почвы, морские и донные отложения, а также пробах, отобранных из антропогенных источников загрязнения окружающей среды и богатых различными микробными средами, например, осадки сточных вод, активный ил или промышленные и бытовые стоки. Один из аспектов электрогенной способности биопленок микроорганизмов связан с наличием некоторых специфических штаммов бактерий (*Geobacter sulfurreducens, Rhodoferax Ferrireducens, Shewanella sp.* и др.), которые способны отдавать электроны непосредственно на анод.

Перенос электронов электрогенных микроорганизмов, образовавших биопленку, на анод может осуществляться прямым или непрямым способами (рис. 2).

Непрямой перенос может осуществляться за счет ферментативной активности микроорганизмов. Примером такого переноса могут быть бактерии, такие как *Shewanella oneidensis*, которые могут производить свои собственные окислительно-восстановительные медиаторы. Также к разновидностям данного типа можно отнести перенос, осуществляемый путем окисления побочных продуктов бактериального метаболизма. Примером может служить водород, получаемый ферментативными бактериями и который затем окисляется на поверхности анода. Прямой перенос электронов биопленкой электроактивных бактерий на электрод происходит путем прямого контакта внешней мембраны бактерий с поверхностью анода. Также он может происходит недавно описанным механизмом, который осуществляется через внеклеточные проводящие связи, называемые проводящими пилями или бактериальными нанопроволоками.

Однако, при использовании систем микробных топливных элементов в условиях реальной работы невозможно установить каким именно способом происходит механизм переноса электронов. Выяснение механизмов переноса ставит задачу использования модельных микроорганизмов (чистых штаммов) в строго контролируемых условиях, что невозможно учесть при, например, очистке сточных вод предприятия с дополнительной выработкой электроэнергии.

Переходя к конструктивным особенностям микробных топливных элементов, необходимо отметить, что материалы, используемые для электродов, должны обладать рядом специфических

характеристик для улучшения взаимодействия биопленки электрогенных бактерий с поверхностью материала. Наиболее важными характеристиками являются: электропроводность, высокая механическая прочность, развитая удельная площадь поверхности для адгезии, биосовместимость и низкая стоимость. Основными типами материалов, используемых в качестве электрода, являются изготовленные из углеродных или металлических составляющих. Среди углеродсодержащих материалов выделяют углеродную ткань, углеродный стержень, углеродный войлок, гранулированный активированный уголь и др. Среди материалов на основе металлов выделяют пластину из нержавеющей стали, листы серебра, никеля, меди, золота, а также титановые пластины, которые используются в качестве коммерчески доступного анода.

Углеродный войлок представляет собой углеродистый материал, который обычно используется в качестве анода в МТЭ. Его главные характеристики, позволяющие использовать его в данных системах – высокая пористость и высокая электропроводность. Большие поры данного материала позволяют бактериям проникать сквозь структуру и образовывать биопленку внутри всего электрода. Стоимость относительно невысока, а механическая прочность оценивается в зависимости от толщины используемого материала.

Углеродные стержни в основном используются в качестве токосъемников, а не в качестве анодных электродов. Их стоимость вполне доступна для систем МТЭ и может использоваться в качестве герметичного перехода между углеродным войлоком и электрической цепью.

Следующим важным элементом в МТЭ является ионообменная мембрана, которая обеспечивает производительность и стабильность системы в течение всего времени эксплуатации, действуя как разделитель между анодным и катодным электродами и предотвращая обратную диффузию кислорода [3]. Исключением являются системы с естественным разделением, где в качестве мембраны можно считать поверхность раздела фаз, например, бентосные микробные элементы, которые можно использовать в природных экосистемах, а также специально разработанные МТЭ с одним одной камерой.

Наибольшей возможностью масштабирования и практического использования в условиях окружающей среды обладают бентосные МТЭ (БМТЭ), представляющие собой систему электродов, помещённых в донные отложения или заболоченные почвы. Одним из самых больших преимуществ этих ячеек является то, что они не нуждаются в мембране. Системы БМТЭ можно использовать на любой глубине воды и в различных средах. Они используют органические материалы донных отложений в качестве источника энергии. БМТЭ состоят из двух частей, анода и катода, первая из которых погружается в донные отложения в анаэробную зону, в то время как вторая находится в воде, где находится растворенный кислород. Бентосные микробные топливные элементы в режиме работы в полевых условиях (примером может служить исследование, проведенное в бухте Тихая, залив Петра Великого) могут вырабатывать от 0,348 до 0,41 В (при нагрузке в 1 kΩ), что может использоваться для питания маломощных автономных устройств гидрологического мониторинга [4].

В целом, можно отметить, что БМТЭ производят относительно низкие уровни генерации напряжения из-за низких скоростей диффузии в отложениях, низких концентраций лабильных органических веществ. Среди стратегий, предпринятых для увеличения мощности BMFC, наиболее успешными были использование анодов из углеродной ткани, обогащенных органическими субстратами.

Примером выбора субстрата для стимулирования генерации электричества может служить глюкоза, аскорбиновая и янтарная кислоты и др. При пропитке данными растворами анода производительность установки может возрасти на 30%.

Однокамерные или почвенные микробные топливные элементы являются перспективной системой для производства электричества и биоремедиации почв. По принципу работы данные системы схожи с бентосными микробными элементами. Основная схема почвенного МТЭ с изображением анода, катода и электролита, который подразумевает под собой почву, представлена на рисунке 3.

В данной модели биопленка, образующаяся на аноде, окисляет органические вещества, которые содержатся в почве, высвобождая электроны, которые становятся источником

электрической энергии. Катод выполняет восстановительную реакцию, чтобы уравновесить чистый заряд ячейки, для чего требуется кислород. Электролит способствует обмену ионами между анодом и катодом, не позволяя кислороду проникать в анод, тем самым сохраняя анаэробные условия. Данные системы могут вырабатывать до 0,5 В.

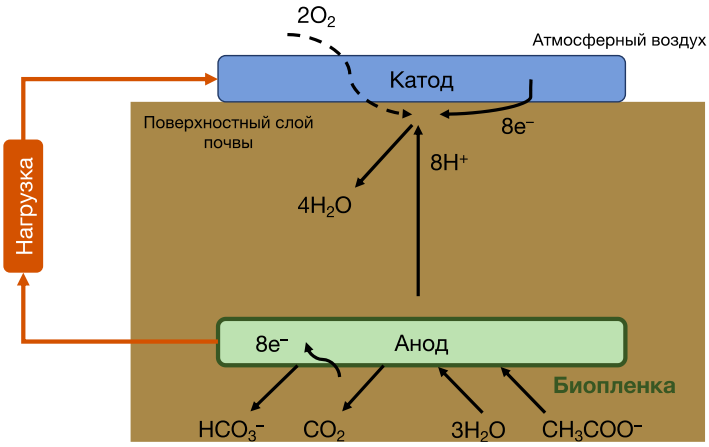


Рис. 3. Схема почвенного МТЭ

Как правило, двухкамерный МТЭ состоит из анаэробной камеры, где находится анод, и аэрируемой катодной камеры, где, соответственно, расположен катод. Камеры разделены протоноселективной мембраной, такой как NAFION. Электроды, размещенные в обеих камерах, соединены с помощью внешнего контура. Обычно в анодный отсек подается обогащенный органикой субстрат, который действует как топливо для микроорганизмов, присутствующих в анодной камере. Бактерии разлагают органические соединения, и электроны, образующиеся в процессе, прямо или косвенно передаются электроду, а затем перемещаются в катодную камеру по внешнему контуру. Этот поток электронов через внешнюю цепь под действием внешней нагрузки приводит к возникновению биоэлектричества.

Данные микробные топливные элементы могут быть использованы для очистки сточных вод и, таким образом, представляют собой важное решение проблемы нехватки воды и энергетического кризиса. Производство электроэнергии в первую очередь зависит от поступающих веществ, используемых в качестве субстратов для бактерий. Органические вещества, которые могут подаваться в МТЭ, варьируются от чистых веществ (ацетат, глюкоза, лактат и т. д.) до химических веществ (спирты, целлюлоза, жирные кислоты и сахара), а также различных типов сточных вод, образующихся в результате бытовой, промышленной и сельскохозяйственной деятельности.

В зависимости от типа подаваемых сточных вод в лабораторную установку, модификаций электродов выходное напряжение варьировалось от 154 до 810 мВ [5].

Список использованных источников

1. Самков А.А., Волченко Н.Н., Худокормов А.А., Калашников А.А., Веселовская М.В. Анаэробная биодеградация органических соединений в микробных топливных элементах // Научный журнал КубГАУ. – 2014. – №. 101. – С. 47–62.
2. Pant D., Singh A., Bogaert G. An introduction to the life cycle assessment (LCA) of bioelectrochemical systems (BES) for sustainable energy and product generation: Relevance and key aspects // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2011. – №. 15. – Pp. 1305–1313.
3. Hernandez-Flores G., Poggi-Varaldo H., Solorza-Feria O. Comparison of alternative membranes to replace high cost Nafion ones in microbial fuel cells // International Journal of Hydrogen Energy. – 2016. – №. 41. – Pp. 23354–23362.
4. Lazukin A., Saveliev A., Krestovnikov K. Automated Coastal Monitoring of Aquaculture Areas Using Microbial Fuel Cell Technology // Agriculture Digitalization and Organic Production. – 2023. – Pp. 397–407.
5. Kumara S., Kumara V., Malyanb S. Microbial fuel cells (MFCs) for bioelectrochemical treatment of different wastewater streams // Fuel. – 2019. – №. 294. DOI: 10.1016/j.fuel.2019.05.109.

УДК 004.896

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Гопкин К.А. [1] *(студент)*, ***Семенова Т.С.*** [1] *(аспирант)*, ***Квиринг М.В.*** [1] *(студент)*
Научный руководитель – к.т.н, доцент Сергиенко О.И. [1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: Kgopkin13@gmail.com

Работа выполняется в рамках НИР №623113 «Экотехнологии для защиты окружающей среды».

В работе приводится обзор применения машинного зрения, как технологии искусственного интеллекта, для управления процессами очистки сточных вод. Рассматриваются особенности машинного зрения в процессах отстаивания и флотации на промышленных объектах и опытных установках. Показано, что применение машинного зрения позволяет оптимизировать такие параметры флотации, как расход воздуха, глубина вспенивания и дозировка реагентов. В процессах отстаивания данный метод позволяет обнаруживать загрязнения на поверхности воды и управлять работой насосного оборудования. Использование алгоритмов машинного обучения и анализа больших данных позволяет значительно повысить эффективность процессов очистки сточных вод, их ресурсную эффективность и улучшить качество очищенной воды.

Ключевые слова
Очистка сточных вод, предиктивный анализ, машинное обучение, нейронные сети, анализ данных, мониторинг и управление, экологическая эффективность, искусственный интеллект, автоматизация процессов.

Внедрение искусственного интеллекта (ИИ) в управление процессами очистки сточных вод актуально по нескольким причинам. ИИ может повысить эффективность и результативность процессов очистки сточных вод. Он позволяет анализировать большие массивы данных и оптимизировать эксплуатационные параметры, такие как дозировка химреагентов, скорость потока и потребление энергии, что приводит к улучшению качества очистки. Системы на базе искусственного интеллекта способствуют раннему обнаружению и прогнозированию потенциальных проблем на очистных сооружениях. Анализируя данные сенсоров в реальном времени, алгоритмы искусственного интеллекта выявляют аномалии, сбои оборудования или потенциальные блокировки, обеспечивая упреждающее обслуживание и сокращая время простоев.

ИИ облегчает переход к интеллектуальному управлению сточными водами. Интегрируя искусственный интеллект с другими новыми технологиями, можно автоматизировать и оптимизировать принятие решений на основе данных, что приведет к созданию более устойчивой системы управления сточными водами. В целом, внедрение ИИ в процессы очистки сточных вод имеет большой потенциал для повышения эффективности, экономии затрат и более устойчивых операций очистки.

Возможности применения методов искусственного интеллекта в процессах очистки сточных вод позволяет автоматизировать процессы и снижает затраты, а также приводит к значительному сокращению количества ошибок, связанных с человеческим фактором.

Модели искусственного интеллекта являются полезными и мощными инструментами для моделирования, прогнозирования и оптимизации процесса очистки сточных вод и широко применяются в схемах очистки сточных вод от различных загрязнителей, таких как красители, тяжелые металлы, питательные и органические вещества, взвешенные частицы, микробные загрязнения, лекарства и пестициды. С точки зрения масштаба исследований, модели ИИ

применяются в основном в лабораторных исследованиях и при проектировании процессов. Для более широкого применения ИИ на практике требуется обучение моделей искусственного интеллекта на большом объеме данных мониторинга качества воды.

Цель настоящей работы заключалась в исследовании возможностей машинного зрения для управления процессами очистки сточных вод на основе обзора применения данного инструмента в зарубежной и российской практике. Рассматривались результаты применения машинного зрения для управления базовыми процессами предварительной механической и физико-химической очистки сточных вод – процессами отстаивания и флотации.

В работе [1] рассматривается, как машинное зрение применяется для обнаружения загрязнений на поверхности жиросодержащих сточных вод в отстойнике. Анализируется методика, оборудование, алгоритмы обработки изображений и технические аспекты процесса. В качестве преимуществ использования машинного зрения отмечаются относительно низкая стоимость оборудования, возможность достижения высокой точности определения загрязнений и простота обучения системы искусственного интеллекта для выполнения данной задачи.

Система мониторинга представляет собой источник информации для управления насосными станциями сточных вод и облегчает сбор стандартизированных высокочастотных данных о динамике слоя жира для управления процессами сбора и удаления жира из отстойника.

Отложения масла и жира в результате химических реакций могут воздействовать на текстиль или пластик, покрывая внутреннюю поверхность отстойника. Ручное удаление слоев масла и жира приводит к высоким эксплуатационным затратам и представляет опасность для здоровья персонала. Ежегодно затраты на удаление масел и жиров в отстойнике могут достигать 400 000 евро. Несмотря на экономическую и экологическую значимость этой проблемы, знания о динамике слоя масел и жиров на объектах очистных сооружений в настоящее время остаются неизученными, главным образом, из-за недостаточного понимания процессов, крайне неоднородных характеристик сточных вод и трудности проведения измерений в канализационных коллекторах.

Решение этих задач значительно упрощается при внедрении машинного зрения с глубоким обучением для обработки большого количества изображений над слоем масел и жиров в очистных сооружениях. Данная система впервые была применена на очистных сооружениях Роттердама при сборе данных в течение шести месяцев. В качестве дополнительных переменных для управления и контроля очистными сооружениями использовали уровень сточной воды, скорость потока в верхней части отстойника и оценку завихренности. Система мониторинга состояла из программируемого микроконтроллера, 8-мегапиксельной камеры, установленной под углом к 98° к поверхности воды. Корпус изготовлен из ABS-пластика с защитным лакокрасочным покрытием с помощью 3D-печати. В результате исследований было выявлено изменение слоя масел и жиров в зависимости от уровня воды, производительности и режимов работы насосного оборудования.

В работе [2] рассматривается применение искусственного интеллекта в процессе флотации. Данная технология используется на ПАО «ГМК «Норильский никель», крупнейшем производстве палладия и никеля, где часто применяется флотация для отделения ценных фракций от пустой породы при переработке руды. Пенная флотация основана на физических свойствах минералов. К образовавшейся пене прикрепляются гидрофобные частицы ценных минералов. Пузырьки поднимаются вверх, а оставшаяся часть измельченной руды опускается. Данная технология направлена на постепенное увеличение концентрации полезных веществ. После одного цикла работы флотомашины концентрация никеля может увеличиться с 0,01% до 3%. Таких циклов может быть несколько – для этого создается каскад флотомашин, и пена из одной флотомашины переливается в следующую. После работы последней флотомашины в каскаде пену отправляют на фильтрацию, сгущение и сушку. Качество пены отражает физические и химические процессы в резервуаре флотомашины. Наблюдая за пеной во флотомашинах с помощью установленных над ними камер, можно оценить качество процесса очистки и выработать управляющие воздействия. Мониторинг характеристик пены может быть

использован для упрощения работы технологов или для автоматического управления цехом флотации. Для определения размеров, формы, вида пузырей и их количества, а также цвета и скорости образования пены были использованы такие методы как семантическая сегментация изображений и трекинг пузырьков [3]. Большое количество камер с программным обеспечением позволяет обрабатывать видеопоток и определить основные параметры пены, скорость пеносъема; ламинарный или турбулентный режим потока пены.

В исследовании A. Mehrabi [4] методика, основанная на обнаружении белых пятен на поверхность пузырька, схожая с сегментацией, использовалась для оценки размера пузырька. Размер белых пятен пропорционален размеру пузырька, а их количество обратно пропорционально среднему размеру пузырька на изображении пены. В этом методе правильное освещение поверхности пены имеет первостепенное значение. Поэтому на расстоянии 30 см от поверхности ячейки была установлена одна люминесцентная лампа мощностью 36 Вт. Распределение пузырьков по размерам, количество пузырьков, скорость образования пены и стабильность были основными визуальными характеристиками, извлеченными из полученных изображений пены (рисунок). Размер пузырьков на поверхности пены тесно связан с условиями эксплуатации и производительностью процесса. Была найдена зависимость между изображениями пузырей и технологическими параметрами.

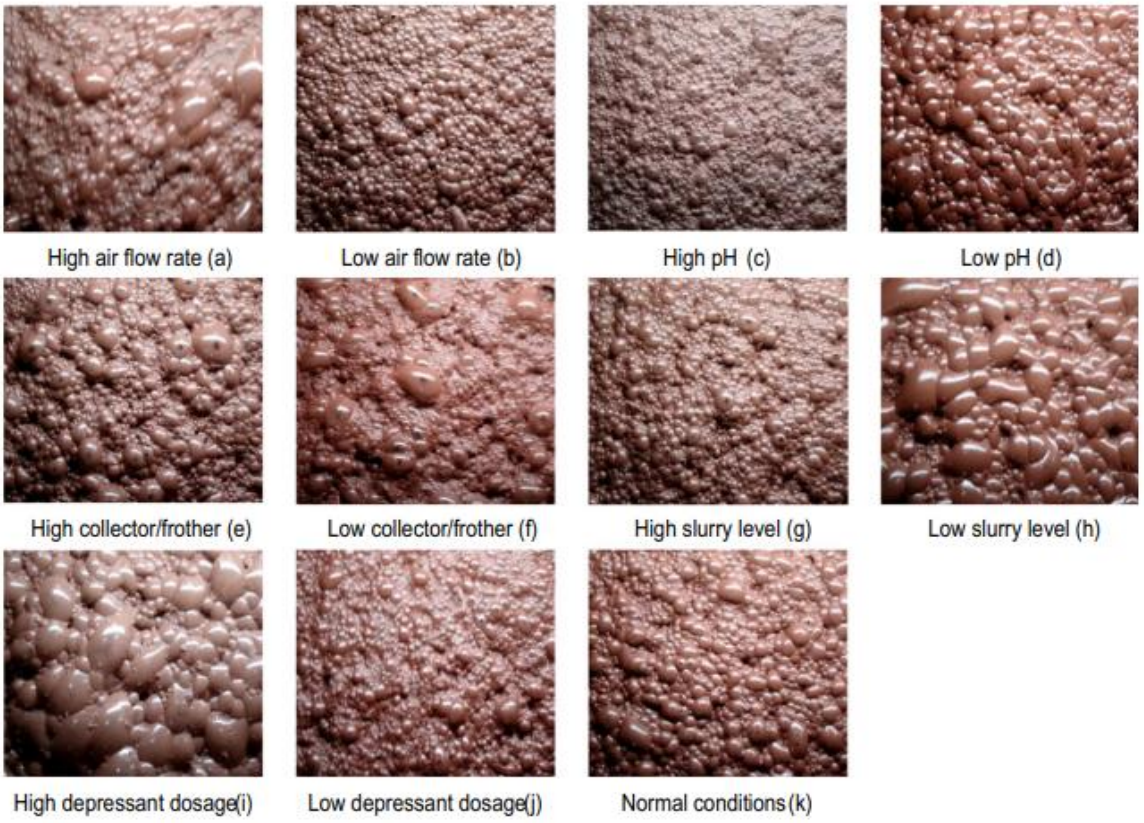


Рисунок. Изображения пены, полученные при различных условиях технологического процесса

Использование машинного зрения во флотации крайне положительно складывается на эффективности процесса.

В статье Alona N. представлен обзор современных промышленных применений систем машинного зрения [5]. Приведен сравнительный анализ существующего коммерческого программного обеспечения от разных поставщиков. Описаны важные аспекты стратегий контроля и оптимизации, основанные на визуальных характеристиках пены (цвет пены, размер и форма пузырьков, скорость и текстура пены), извлеченных из изображений пены.

В настоящее время одной из самых разработанных и часто применяемых методов машинного зрения являются семантическая сегментация изображения. Представленная

технология искусственного интеллекта в управлении качеством очистки сточных вод представляет собой важный шаг в современных технологиях водоочистки. Использование алгоритмов машинного обучения и анализа больших данных позволяет значительно повысить эффективность процессов очистки, оптимизировать расход ресурсов и улучшить качество очищенной воды. Кроме того, интеграция искусственного интеллекта позволяет оперативно реагировать на изменяющиеся условия и тем самым обеспечивать непрерывную и стабильную работу очистных сооружений. Дальнейшее развитие и применение технологий искусственного интеллекта в управлении качеством очистки сточных вод позволит существенно улучшить экологическую ситуацию и обеспечить устойчивое использование водных ресурсов.

Список использованных источников:

1. Moreno-Rodenas A.M., Duinmeijer A., Clemens H.L.R. Deep-learning based monitoring of FOG layer dynamics in wastewater pumping stations // Water Research. – 2021. – №. 202. DOI: 10.1016/j.watres.2021.117482.
2. Klokov A., Abrarov A., Danilov P. Flotation Froth Monitoring Using Unsupervised Multiple Object Tracking Methods // Journal of Mineral and Material Science. – 2023. – №. 4. DOI: 10.54026/JMMS/1054.
3. Wang Y., Cheng Y., Liu H., Guo Q., Dai C., Zhao M., Liu D. A Review on Applications of Artificial Intelligence in Wastewater Treatment // Sustainability. – 2023. – №. 15. DOI: 10.3390/su151813557.
4. Mehrabi A., Mehrshad N., Massinaei M. Machine vision-based monitoring of an industrial flotation cell in an Iron flotation plant // International Journal of Mineral Processing. – 2014. – №. 133. DOI: https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.11.056.
5. Alona N. Commercial Machine Vision Systems in Flotation // Crimson Publishers. – 2021. – №. 6. – Pp. 742–747.

УДК 550.42:502.4
ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАПОВЕДНИКА «БАСТАК»

Гриднева С.М.[1]*(студент)*
Научный руководитель – к.геогр.н., доцент Банарь С.А.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail:gridnevasm@yandex.ru

В статье рассматривается содержание тяжелых металлов в природных компонентах заповедника Бастак, в рамках эколого-геохимической оценки данной территории. В ходе исследования был применен метод рентгенофлоуресцентного анализа для определения валового содержания тяжелых металлов в пробах почв и растений.

Ключевые слова
Тяжелые металлы, рентгенофлоурецентный анализ, природные компоненты, почва, растения.

С увеличением антропогенного воздействия на окружающую среду все чаще возникает проблема загрязнения экосистем различными веществами. Тяжелые металлы, накапливаясь в экосистемах могут нарушать их равновесие и приводить к сокращению биоразнообразия. Поэтому для оценки состояния территорий, подверженных влиянию человека, необходимо получать информацию о фоновых концентрациях химических элементов. Охраняемые природные территории могут рассматриваться в качестве источников информации о фоновом содержании различных веществ в компонентах среды региона, а полученные данные помогут при оценке состояния среды [1].

Цель данной работы оценить состояние почвенно-растительного покрова заповедника "Бастак".

Государственный природный заповедник «Бастак» располагается в северо-западной части Еврейской автономной области. Его территория охватывает отроги Буреинского хребта и северную окраину Среднеамурской низменности. В состав заповедника входят два кластера – «Центральный» и «Забеловский», общей площадью 127095 га. Рельеф заповедника сформирован за счет сочетания двух тектонических структур – Сихотэ-Алиньской складчатой системы и кристаллического Буреинского массива, в результате территория почти поровну делится на равнинную и горную части. Гидрографическая сеть заповедника представляет собой сложную и густую систему, состоящую из рек и ручьев с незначительным количеством озер. Большая площадь заповедника покрыта хвойными и широколиственными лесами, местами смешанными [5].

Несмотря на небольшую территорию в заповеднике встречаются различные типы почв. Бурые лесные почвы приурочены к таежной зоне заповедника, образование которых протекает на повышенных элементах рельефа. Торфяно-глеевые почвы главным образом отмечены в пониженных элементах рельефа, преимущественно среди зарослей лиственничников. Пойменные луговые и болотные почвы чаще встречаются в равнинной зоне заповедника [2].

Отбор проб в заповеднике проводился в рамках совместной экспедиции Университета ИТМО и Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема в период с 19 июня 2023 по 26 июня 2023 года. На данном этапе отбирали образцы почв из прикопок глубиной 15–50 см. У растений отбирали листья, хвою и корку. За время экспедиции было отобрано 16 проб почв и 56 проб растений.

Дальнейшая работа с отобранными пробами проводилась в лаборатории Университета ИТМО. На этом этапе все пробы были высушены и измельчены. Для определения валового содержания тяжелых металлов был выбран метод рентгенофлоуресцентного анализа (РФА). РФА широко используется в различных сферах, помогает быстро получить результат и не требует сложной пробоподготовки.

Перед РФА высушенные пробы растений измельчали в ступке до однородного состояния, затем из гомогенизированного материала спрессовывали таблетки. [3] Для получения более точных результатов были использованы стандартные образцы. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1

Среднее содержание химических элементов в пробах растений (мг/кг сухого вещества)

Вид	Орган	Содержание х.э. мг/кг сухого вещества							
		Mn	Ni	Cu	Zn	Sr	Ti	Fe	Cr
Берёза жёлтая	Кора	1102	-	10	103,5	10,48	31,242	343,5	4,636
Берёза плосколистная	Кора	774,8	-	10,8	79	2,16	18,988	242,8	4,556
Василисник нитчатый	Листья	66	-	-	10	55,28	18,068	193	5,104
Голубика	Листья	338	-	8	32	5,36	17,61	189	4,789
Ива Шверина	Кора	461	-	6,33	276	78,67	32,924	329	4,895
Ива Шверина	Листья	408,5	1	7	99,5	65,97	27,256	231,5	4,953
Кедр корейский	Кора	51,5	-	7	21,75	9,19	13,02	179,5	4,694
Кедр корейский	Хвоя	124	1	6,5	44	12,76	18,44	226	4,806
Лабазник дланевидный	Листья	286	1,5	8	42	57,35	33,38	294,5	5,051
Лиственница Каяндера	Кора	235	-	6,67	22,83	46,98	23,00	253,5	4,775
Лиственница Каяндера	Хвоя	923,5	-	6	47	50,38	36,29	410,25	4,816
Мох зеленый	Листья	243,33	2,83	8,17	35,67	49,41	145,09	3212,33	4,776
Папоротник	Листья	73	1	7	21	33,058	24,046	231	4,985
Пихта белокора	Кора	863,67	-	6,67	37,33	59,63	29,18	252,67	4,813
Пихта белокорая	Хвоя	190,33	0,67	6,33	24,67	26,95	24,07	262,67	4,794
Элеутерококк	Листья	138	1	9	24	201,37	25,805	246	5,193

В сравнении с остальными растениями, наибольшую аккумулятивную способность относительно Fe и Ti имеет мох зеленый. Данные элементы могли накапливаться за счет влаги и оседания атмосферных взвесей на поверхности мха, т. к. корневая система отсутствует и получение веществ из почвы не является возможным. Для древесных пород более характерным является накопление биогенных элементов Mn (кора березы и пихты) и Zn (кора березы), что может быть связано с особенностями региона.

Пробы почв высушивали до воздушно-сухого состояния, затем измельчали в ступке и просеивали через сито для получения гомогенизированной массы. Полученные образцы спрессовывали в таблетки для РФА. В образцах почв определялось содержание следующих химических элементов: Sr, Pb, As, Zn, Cu, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti. Содержание меди в пробах было вне диапазона измерения, поэтому эти результаты не были включены в итоговую таблицу (табл. 2).

Полученные значения сравнивались с аналогичными исследованиями, проведенными на Дальнем Востоке ранее и региональными кларками [1]. В почвах были выявлены превышения региональных кларков следующих элементов: Zn, Cr, As.

Таким образом, на данном этапе исследования было выявлено повышенное содержание некоторых химических элементов. Но для полной оценки необходим более продолжительный мониторинг территории заповедника, а также сравнение полученных результатов с данными других авторов, изучающих этот регион.

Таблица 2

Содержание химических элементов в почвах заповедника «Бастак» (мг/кг; Fe,Ti г/кг)

Химический элемент	Среднее,$\overline{x_i}$	Пределы, min-max	σ	*c.v.*
Sr	214,4	98-360	70,9	0,3
Pb	19,8	12-29	4,9	0,2
As	9,9	8-15	2,2	0,2
Zn	82,5	33-127	29,1	0,4
Ni	19,4	10-27	4,8	0,2
Co	9,8	6-14	2,5	0,3
Fe	37,6	27,7-51,1	6,2	0,2
Mn	525,1	135,9-1315,7	305,9	0,6
Cr	73,9	48-112	14,1	0,2
V	105,1	68-147	19,4	0,2
Ti	4,7	3,4-6,6	0,9	0,2

Список использованных источников

1. Вертинский А.П. Проблемы загрязнения окружающей природной среды Российской Федерации тяжелыми металлами // Инновации и инвестиции. – 2020. – №. 1. – С. 232–237.
2. Голов В.И. Содержание микроэлементов и тяжелых металлов в пахотных почвах Дальнего Востока / В.И. Голов// Агрохимия и почвоведение. – 2010. – №. 4. – С. 16–19.
3. Терехина Н.В. Методические указания к проведению фитогеохимических исследований: учебно-методическое пособие. - СПб, 2010. – 25 с.
4. Характеристика агроземов Приморья / А. А. Бессарабова, С. А. Боровая, В. И. Голов [и др.]. – Уссурийск: ПГСХА, 2002. – 170 с.
5. Бастак // Большая российская энциклопедия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://bigenc.ru/c/bastak-d1f7be?ysclid=ltr5m0bsdy748090707 (дата обращения: 14.03.2024).

УДК 502.04

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА БИОРАЗЛАГАЕМОЙ ПОСУДЫ В ОБРАТНОМ ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ

Давлятшина Д.Р. [1] *(студент),* ***Молодкина Н.Р.*** [1]*,* ***Николаев Е.М.*** [1] *(аспирант),*
Миниахметова А.В. [1] *(аспирант)*

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сергиенко О.И. [1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: 379daniya973@gmail.com

Работа выполнена в рамках темы НИРМА № 625115 «Экобиотехнологии для предотвращения промышленного загрязнения».

Рассматривается применение рисовой шелухи для получения биоразлагаемой одноразовой посуды. Аргументируется, что экологические аспекты технологии производства биоразлагаемой посуды следует анализировать как обратный жизненный цикл переработки отходов производства риса.

Ключевые слова
Биоразлагаемая посуда, биополимер, сырье, компостирование, обратный жизненный цикл.

Согласно данным продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединённых Наций (ФАО) рис является важной растительной культурой для обеспечения продовольствия населения всего мира и уступает лишь пшенице по производству продуктов питания. Несмотря на то, что в России производство риса среди зерновых культур не является передовым, однако входит в первые десять показателей по количеству урожайности и по занимаемой площади.

Известно, что рис содержит в себе питательные вещества и микроэлементы. Химический состав риса изменяется в зависимости от сорта, района произрастания, почвенно-климатических условий и условий созревания. Рисовые зерна состоят примерно на 20% из рисовой шелухи, на 11% из рисовых отрубей и на 69% из крахмалистого эндосперма (измельченного риса) [1].

В ходе выращивания и получения шлифованного риса, он подвергается обработке и измельчению, от зерна отделяется шелуха и отруби. В зависимости от сорта и технологии в процессе помола может теряться до 40% массы рисовых зерен, из-за выбрасывания побочных продуктов. К ним относят мелко измельченный рис, зародыши риса, шелуху и отруби [2]. Отходы производства риса при шлифовании являются доступным сырьем, которому можно найти применение в промышленности и биотехнологиях.

Целью исследований является определение потенциала применения органических отходов производства риса в качестве вторичного сырья для создания биоразлагаемой посуды. Использование отходов в обратном жизненном цикле способствует снижению образования органических отходов и способствует развитию промышленного симбиоза в сельскохозяйственном секторе.

Для достижения цели были изучены особенности химического состава рисовой шелухи и проведен патентный анализ существующих рецептур и технологий получения биоразлагаемой одноразовой посуды.

Было обнаружено, что в основном используют для извлечения, содержащиеся в составе шелухи целлюлозу (50%), лигнин (30%) и другие неорганических веществ. Лигноцеллюлозный остаток действует как потенциальный источник целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина и пектина, которые можно экстрагировать и подвергать дальнейшей обработке. В последние годы лигноцеллюлозные биомассы из сельскохозяйственных отходов, такие как побочные продукты агропродовольственной промышленности и не только, были предметом многочисленных исследований с целью получения из них соединений с высокой добавленной стоимостью (табл. 1) [3].

Таблица 1

Содержание лигноцеллюлозного остатка в различных агроотходах

Агроотходы	Гемицеллюлоза (%)	Целлюлоза (%)	Лигнин (%)
Рисовая шелуха	22.48	31.12	22.34
Рисовая солома	21.64	39.04	16.2
Пшеничная солома	24.5	32.7	16.8
Пшеничная шелуха	18	36	16
Кукурузная солома	31.12	48	16
Кукурузная шелуха	43.96	47	4.13

Особенностью химического состава рисовой шелухи по сравнению с другими злаковыми культурами является низкое содержание белков и высокое содержание целлюлозы и лигнина, что позволяет его применение для армирующей составляющей биокомпозитного материала, в частности и для производства биоразлагаемой посуды. Согласно анализу из возможных и наиболее доступных источников сырья, которые меньше всего задействованы в других процессах производства, для создания полностью биоразлагаемого биополимерного изделия являются оптимальными источники крахмала и целлюлозы.

При создании биоразлагаемой посуды важно правильно выбрать биоразлагаемый полимер. Такие полимеры как полигликолиевая кислота (PHA) и полимолочная кислота (PLA) являются полностью биоразлагаемыми и обладают компостируемыми свойствами. PHA полностью биоразлагается в течение 4 месяцев, в то время как для полного биоразложения PLA требуется 10 месяцев. Другие полимеры в составе биокомпозитов без свойства компостирования, считаются биоразлагаемыми, но не полностью, и оставляют после разложения частицы микропластика.

Известны несколько патентов по способам приготовления биоразлагаемой посуды. Они охватывают различный состав сырья, технологию изготовления, способность к биоразложению и компостируемость. Анализ патентного поиска проводился по следующим критериям: используемое сырье (К1), вид применяемого в составе полимера (К2), термостойкость (К3), влагостойкость изделия (К4), компостируемость (К5). Патенты были разделены на три группы: первая группа в составе не содержит синтетических полимеров, вторая группа содержит синтетические полимеры, которые не имеют свойства компостируемости, например полиэтилен, и третья группа в составе содержит синтетические биополимеры, такие как PHA и PLA, которые являются биоразлагаемыми и компостируемыми. В таблице 2 приведены патенты, в которых в составе сырья присутствует шелуха или солома [4].

Таблица 2

Сравнительный анализ патентов биоразлагаемой посуды

Группа патентов	№ Патента	К1	К2	К3	К4	К5
1	RU 2710151 2019	продукты шелушения злаковых культур	–	–	–	+
	RU 2725974 2020	солома или жмых семечек подсолнечника	–	+	–	+
2	RU 2473578 2013	костра льняная, лузга подсолнечника, листва, солома	полиэтилен	+	+	–
	RU0002724249 2020	рисовая лузга	полипропилен	+	+	–
	CN1256905 2000	рисовая шелуха	полиалкилбутират	+	+	–
3	IN202211046668 2022	рисовая шелуха и другие отходы сельского хозяйства	биополимеры	+	+	+

Для анализа биоразлагаемой посуды по критерию К1 учитывались патенты, в которых в составе сырья отходы растительного происхождения составляют не менее 10% по массе. В качестве термоустойчивых и влагоустойчивых рассматривались изделия, не изменяющие форму и свойства под воздействием жидкости и температур в диапазоне от - 20 до +100 °С. Для биоразлагаемой посуды критерий компостируемости является более приоритетным, чем биоразлагаемость, поскольку не каждое биоразлагаемое изделие может быть компостируемым. Благодаря этому биокомпозиты можно использовать в обратном жизненном цикле с получением новых продуктов.

Сравнительный анализ показывает, что на российском рынке преобладает биоразлагаемая посуда, в составе которой используются синтетические полимеры без свойств компостируемости. В то время, как на мировом рынке уже существует производство биоразлагаемой посуды, пригодной для компостирования и многократного использования благодаря своим свойствам влагостойкости и термостойкости. Также анализ патентов указывает на то, что на в России отсутствуют рецептуры и технологии, сохраняющие все свойства изделия. Следует отметить, что первая группа патентов, в составе которых не содержатся полимеры, пригодны для утилизации в компост, однако большинство из них теряет форму или деформируется при воздействии на них жидкостью или низкими температурами. Следовательно, данная группа не является конкурентоспособной. Наиболее конкурентоспособной по своим свойствам является третья группа, в составе которой применяется биополимеры, такие как PHA и PLA.

Переработка органических отходов является обратным жизненным циклом процессов выращивания, сбора и переработки риса. Таким образом, при реализации технологии производства биоразлагаемой и компостируемой посуды рисовая шелуха превращается в натуральные растительные материалы и возвращается к жизни как сырье из отходов растительного происхождения. В конце своего жизненного цикла новый материал может получить применение в натуральном компосте, в качестве удобрения для почвы, или может быть реализован в кормопроизводстве, такая схема жизненного цикла представлена на рисунке.

При этом посуде из полимеров требуется до тысячи лет, чтобы пройти процесс разложения в естественной среде, и при этом, она окажет негативное воздействие на почву. Использование биоразлагаемой посуды должно заканчиваться утилизацией с переработкой отходов для получения новых материалов или компоста, что будет являться обратным жизненным циклом для этой продукции, полученной в результате первого цикла переработки отходов. Таким образом, требуется рассмотрение жизненного цикла биоразлагаемой посуды от колыбели до колыбели в обратном жизненном цикле.

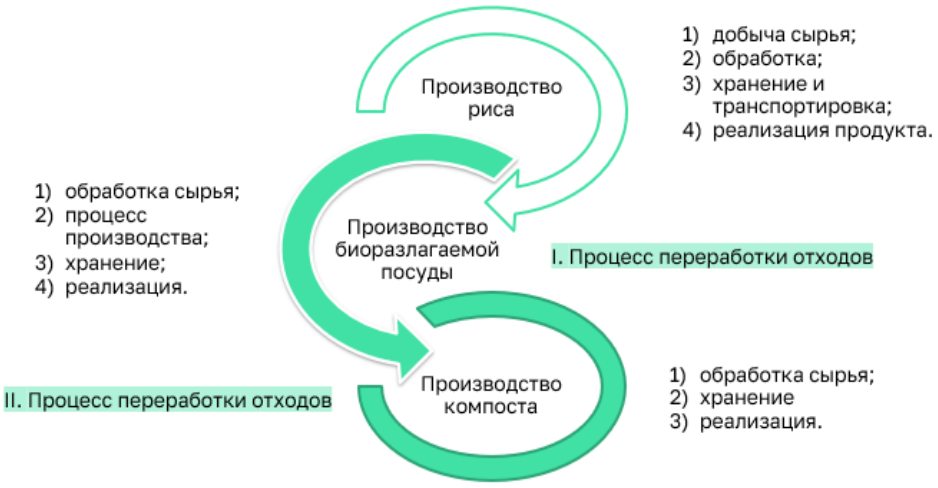


Рисунок. Схема жизненного цикла

Для того, чтобы биоразлагаемая посуда считалась пригодной для компостирования, она должна быть полностью биоразлагаемой в процессе промышленного компостирования в течение определенного периода времени. Также свойство компостируемости подтверждается

сертификацией в аккредитованной лаборатории, которая проводит исследования в соответствии со стандартом о компостируемости упаковки (EN 13432). Европейский стандарт требует, помимо четкого и подробного описания продукта, проведения четырех тестов:

- тест на биологическое разложение (химическое разрушение полимера волокон);
- тест на дезинтеграцию (физическое разложение продукта на мелкие фрагменты);
- тест на экотоксичность (тест на отсутствие негативного воздействия компостируемого продукта на растения);
- тест на содержание тяжелых металлов [5].

Дальнейшая работа исследования будет связана с разработкой биоразлагаемой посуды, содержащей биополимеры, которая удовлетворяет свойствам компостируемости, для дальнейшей реализации в обратном жизненном цикле. Технология производства будет ориентирована на общую схему оценки жизненного цикла относительно существующих запатентованных технологий. На следующем этапе планируется проведение анализа жизненного цикла существующих конкурентов на рынке по производству биоразлагаемой посуды пригодной для компостирования.

Список использованных источников:

1. Bodie A.R., Micciche A.C., Atungulu G.G., Rothrock M.J. Jr., Ricke S.C. Current trends of rice milling byproducts for agricultural applications and alternative food production systems // Frontiers in Sustainable Food Systems. – 2019. – V. 3. – №. 47. DOI: 10.3389/fsufs.2019.00047.
2. Dhankhar P. Rice milling // IOSR J Eng. – 2014. – №.4. – Pp. 34–42.
3. Mohite A.S., Jagtap A.R., Avhad M.S., More A.P. Recycling of major agriculture crop residues and its application in polymer industry: A review in the context of waste to energy nexus // Energy Nexus. – 2022. – Vol. 7. – P. 100134.
4. PATENTSCOPE. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=CN82449971&_cid=P12-LRTAUY-23753-1 (дата обращения: 15.01.2024).
5. TÜV AUSTRIA Certification Scheme: OK compost INDUSTRIAL. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.tuv.at/ok-compost-industrial-en/ (дата обращения: 20.01.2024).

УДК 504.064

ДЕПОНИРОВАНИЕ УГЛЕРОДА В ТАЕЖНЫХ ПОЧВАХ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Динкелакер Н.Ф.Й. [1] *(аспирант),* ***Динкелакер Н.В.***[1]***, Агаханянц П.Ф.***[1]
Научный руководитель – к.т.н., доцент Агаханянц П.Ф. [1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: pfagakhaniantc@itmo.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №623116 «Накопление тяжелых металлов и депонирование углерода в эталонных и нарушенных экосистемах».

В исследовании установлены характеристики пулов углерода органического вещества в почвах таежных лесных экосистемах северо-востока Европейской части России на примере лесов Удорского района Республики Коми. Проведен анализ изменений содержания углерода в лесной подстилке и гумусовом горизонте почвы в наиболее распространенных типах леса и разных возрастных когортах.

Ключевые слова
Углерод органического вещества почвы, гумус, подстилка, лесовосстановление, экосистемы средней тайги, возрастные когорты леса.

Оценка углерода является одной из неотъемлемых частей исследования при анализе влияния рубок леса на лесные и прибрежные экосистемы. Нарушения, такие как рубки, пожары, ветровалы и т. д. ведут к сокращению депонирования углерода в лесных экосистемах и дополнительному поступлению CO_2 в атмосферу. Прогнозирование стока и эмиссии парниковых газов базируется на оценке основных пулов углерода, содержащихся в живой и отмершей фитомассе [1].

В процессе лесовосстановления на вырубках происходит замещение коренных хвойных пород мелколиственными, в первую очередь березняками, что на начальных стадиях приводит к резкому сокращению депонирования углерода в лесной подстилке [2, 3, 4]. В процессе развития вторичных березняков происходит изменение состава подстилки и следующее за ним изменение процесса почвообразования, сопровождающееся сначала резким снижением, а затем, после 40 лет, восстановлением уровня поступления углерода в подстилку с опадом [3, 5]. Лиственный опад, в отличие от хвойного, преимущественно содержит углерод гидрофильных фракциях, что приводит к легкому вымыванию и снижению количества депонированного в почвах углерода, несмотря на высоких уровень его поступления с опадом, иногда даже превышающий таковой в естественных хвойных лесах [6, 7]. Таким образом, к настоящему времени известно, что состояние подстилки и гумусового слоя изменяется в процессе лесовосстановления, что значительно влияет на депонирование углерода почвами. В то же время, для лесов средней европейской тайги эти процессы преимущественно изучены для ранних стадий лесовосстановления. В связи с этим, настоящее исследование было посвящено вопросу оценки резервуаров углерода подстилки и почвы в биогеоценозах различного сукцессионного состояния, от молодняков до старовозрастных лесов.

Для проведения исследования был выбраны малонарушенные лесные территории Удорского района Республики Коми, среди которых представлены лесные участки, восстанавливающиеся после нарушений леса различной давности.

Определение возраста нарушения леса проводилось на основе материалов лесоустройства и путем анализа космических снимков. Отбор почвенных образцов проводился в 2021 и 2022 году с учетом объемно-размерных характеристик почвенных образцов (10х10 см) и включал подстилку и гумусовый горизонт почвы, мощность которого учитывалась. В лабораторных

условиях было проведено разделение горизонтов и высушивание материала до состояния воздушно-сухого веса [8]. Определение содержания органического вещества проводилось отдельно для подстилки и гумусового горизонта почв, с использованием метода Тюрина [9]. Полученные результаты были пересчитаны на единицу площади леса (гектар), с учетом мощности биогенных горизонтов.

Исследованные образцы почвы и подстилки относились к разным условиям почвообразования по типу леса и преобладающей породе (табл. 1).

Таблица 1

Варианты условий почвообразования в местах отбора проб

Группа типов леса	Главная порода
лишайниковые	сосна
брусничные	сосна
	береза
черничные	сосна
	береза
	ель
	осина
травяные	сосна
	береза
	ель
долгомошные	сосна
	береза
	ель
сфагновые	сосна
	береза

Рассмотренные варианты были проанализированы в возрастных группах, соответствующих стадиям сукцессии (табл. 2).

Таблица 2

Возрастные когорты леса, в которых были взяты пробы почвы

Возрастные когорты, лет от нарушения
0-40
40-80
80-140
140-180
более 180

Таким образом, исследованный материал представлял из себя 80 вариантов (16 вариантов лесорастительных условий в 5 возрастных когортах).

Почвы были преимущественно представлены суглинками с размой степенью отофованности, в сосняках встречались супесчаные почвы.

По результатам анализа содержания углерода органического вещества в подстилке и гумусовом слое почвы, с учетом их объемно-весовых характеристик, было вычислено общее содержание углерода в биогенных горизонтах почвы (рис. 2). Наблюдается увеличение накопления углерода в почвах лесов после возраста 80 лет и стабилизация данного уровня у старших насаждений, а также снижение при старении лесов за счет его медленного поступления в почву из древесины.

На следующем этапе исследования был проведен анализ депонирования углерода в подстилке и гумусовом горизонте отдельно. Показано, что для гумусового горизонта характерно увеличение содержания углерода в лесах 40–80-летнего возраста, далее наблюдается стабилизация уровня содержания углерода (рис. 3).

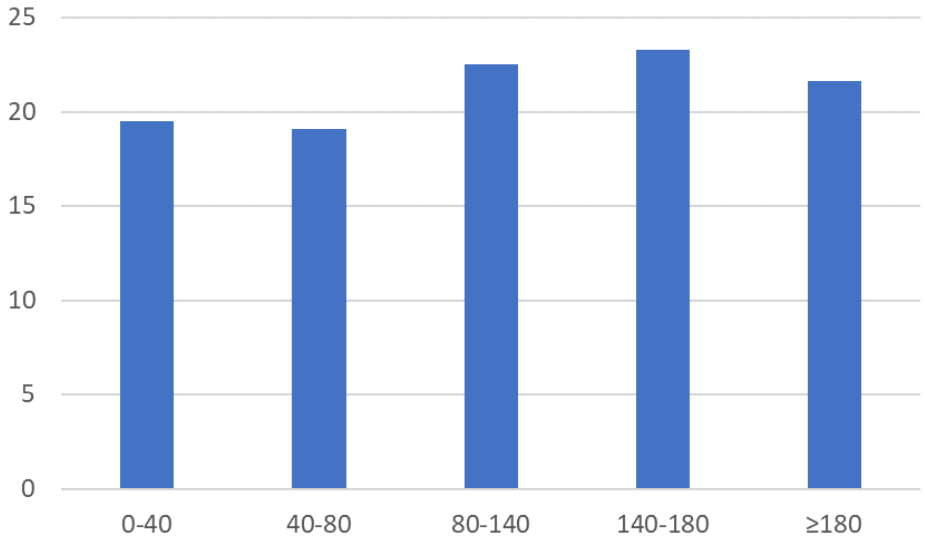


Рис. 1. Накопление углерода органического вещества в биогенных горизонтах почв лесов разных возрастных групп, т/га

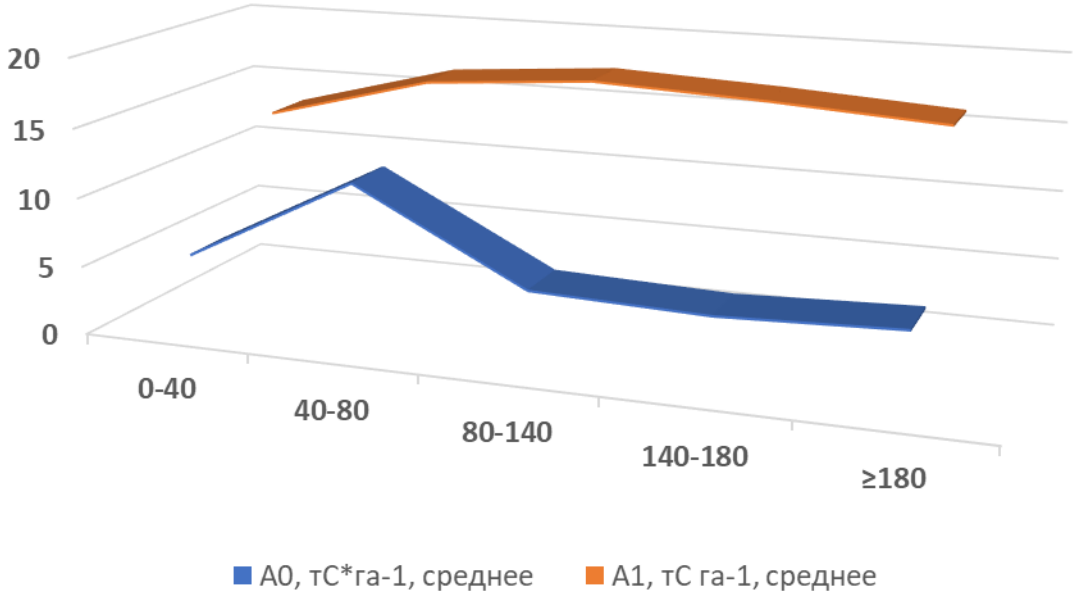


Рис. 2. Накопление углерода в подстилке и гумусовом слое почвы в лесах разных возрастных групп

Процессы накопления органического углерода в подстилке в лесах разных возрастных групп отличаются от таковых в гумусовом слое: здесь характерно резкое увеличение содержания углерода в 40–80-летнем возрасте, затем наблюдается снижение и стабилизация. Выявленный максимум соответствует периоду наибольшего развития березового подлеска, дающего обильный опад. В более старших возрастных группах леса береза вытесняется основной породой, имеющей меньший ежегодный опад.

Суммарное накопление углерода различается в биогенных горизонтах почв (A0+A1) на этапах лесовосстановления, увеличивается с возрастом экосистемы и снижается в стареющих экосистемах.

Разница в накоплении углерода наблюдалась между горизонтами: во всех вариантах почвы лесных почв накопление в гумусовом горизонте в 2–3 раза выше, чем в подстилке.

Динамика накопления углерода в изученных горизонтах различна: в гумусовом горизонте он выходит на плато к 40–80 годам, в подстилке максимальное накопление наблюдается в молодых экосистемах до 80-летнего возраста, более старые экосистемы всех возрастных групп

имеют более низкий уровень накопления углерода. накопление. Предполагается, что снижение накопления углерода в подстилке спелых и старческих лесов связано со сменой доминирующих пород деревьев с пляжных на хвойные.

Суммарное накопление углерода органического вещества в биогенных горизонтах почв среднетаежных экосистем различается разных этапах лесовосстановления, увеличивается с возрастом экосистемы и снижается в стареющих экосистемах.

Разница в накоплении углерода наблюдается между горизонтами почвы: во всех вариантах лесных почв накопление в гумусовом горизонте в 2–3 раза выше, чем в подстилке.

Динамика накопления углерода в изученных почвенных горизонтах различна: в гумусовом горизонте содержание органического углерода выходит на плато к 40–80 годам, в подстилке максимальное накопление наблюдается в молодых экосистемах до 80-летнего возраста, более старые экосистемы всех возрастных групп имеют более низкий уровень накопления углерода. Можно предположить, что снижение накопления углерода в подстилке спелых и старческих лесов связано со сменой доминирующих пород деревьев с пляжных на хвойные.

Список использованных источников

1. Методические указания по количественному определению объема поглощения парниковых газов. Утв. Приказом Минпроды РФ от 29.06.2017 №. 330.
2. Уткин А.И. Углеродный цикл и лесоводство // Лесоведение. – 1995. – №. 5. – С. 3–20.
3. Дымов А.А., Бобкова К.С., Тужилкина В.В., Ракина Д.А. Растительный опад в коренном ельнике и лиственно-хвойных насаждениях / Лесной журнал. – 2012. – №. 3. – С. 7–18.
4. Бобкова В.В. Тужилкина Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах Севера // Экология. – 2001. – №. 1. –С. 69–71.
5. Осипов М.А. Кузнецов Содержание органического углерода в болотно-подзолистых почвах хвойных лесов средней тайги / Лесоведение. – 2010. –№. 6. – С. 65–70.
6. Дымов К.С. Сукцессии почв в бореальных лесах Республики Коми. – М.: ГЕОС. – 2020. – 336 с.
7. Наквасина Е.Н., Шумилова Ю.Н. Динамика запасов углерода при формировании лесов на постагрогенных землях // Изв. вузов. Лесн. журн. – 2021. – №. 1. – С. 46–59.
8. ГОСТ Р ИСО 11465-2011 «Определение массовой доли сухого вещества и массового отношения влаги гравиметрическим методом».
9. ГОСТ 26213— 2021 «Почва. Методы определения органического вещества».

УДК 504.06

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОИЗВОДСТВА БИОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ МИЦЕЛИЯ

Дмух Н.С. [1] *(аспирант)*
Научный руководитель – доцент, к.т.н. Овсюк Е.А. [1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: dmuh.nadezhda@yandex.ru, ovsuk@mail.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №623115 «Экобиотехнологии для предотвращения промышленного загрязнения».

Биокомпозиты на основе мицелия являются альтернативным материалом и могут служить заменой пластика. Для оценки экологичности материала и сравнения результатов с традиционным материалов должна быть проведена оценка жизненного цикла. В целях подготовки к инвентаризационному анализу была смоделирована обобщенная модель жизненного цикла производства биокомпозитов на основе мицелия. За основу были взяты запатентованные технологии компании-конкурентов и промежуточные лабораторные результаты.

Ключевые слова
Биокомпозитный материал, оценка жизненного цикла, мицелий, альтернативный материал, модель жизненного цикла.

Проблема загрязнение планеты пластиком известна и обсуждается не первый год. В 2020 году исследователи из университета Лидса провели анализ пяти сценариев достижения нулевого уровня загрязнения пластиком [1]. При сохранении такой же экологической политики, которая принята сейчас, оценка сценария показала, что к 2040 году ежегодный объем макро- и микропластика, попадающего в водные системы, возрастёт в 2,6 раза. Последствия при этом будут устрашающие, произойдет изменение климата, потеря биоразнообразия. Одним из сценариев, который был оценён в исследование, является вариант изменение системы потребления, то есть переход на альтернативные материалы и внедрение максимальной переработки используемых материалов. Такие изменение теоретически приведут к уменьшению производства первичного пластика к 2040 году на 55%. Вследствие этого вопрос создания биоразлагаемой и доступной альтернативы синтетическим материалам остается чрезвычайно актуальным, и создание биокомпозитов из мицелия частично решает эту проблему.

Мицелиальные биокомпозиты — это инновационная разработка, способная сделать более экологичными сразу несколько крупных отраслей и заменить привычные материалы, производимые из ископаемого топлива. Например, исследования показали, что панели из мицелия грибов имеют прекрасные звуко- и теплоизолирующие способности. Такие панели можно использовать в строительстве, как это делает компания Grown bio. Мицелиальные композиты также активно используются в модной индустрии. Например, такие гиганты как Adidas и Balenciaga официально представили обувь и одежду, созданную из материалов на основе мицелия. Также существуют бренды, производящие альтернативные мясо и мясные деликатесы из мицелия. Например, компании Meati, Prime Roots, MyForest Foods и многие другие стартапы доказывают перспективность рынка экологичных микопротеинов, который может конкурировать с традиционным животноводством.

Биокомпозитный материал представляет собой плотную сеть нитей мицелия, образующих комплекс с растительным субстратом. Традиционно в качестве субстратов используются различные лигноцеллюлозные основы, которые могут также являться отходами аграрной и древесной промышленностей. Например, волокна (кокосовые, конопляные), опилки разных

видов деревьев, шелуха семян (рисовая, конопляная), жмых (фруктовый, кофейный), солома, щепа и другие.

Цель данного исследования подразумевает моделирование жизненного цикла производства биокомпозитов на основе мицелия. Для ее достижение необходимо было выполнить несколько основные задачи: сбор информации, поиск запатентованных технологии иностранных компании-производителей материалов на основе мицелия и обобщение технологии производства биокомпозитных материалов разных видов на основе мицелия и составление модели жизненного цикла для подготовки ко второму этапу оценки жизненного цикла - инвентаризационному анализу.

На 2022 год в мире было зарегистрировано 11 компании, которые производят продукцию из мицелия или разрабатывают технологии: 4 из них в США. В России такие компании или материалов пока нет. Для разработки и внедрения таких материалов на российский рынок, необходимо создать собственную технологию и убедиться в ее экологичности. Ниже будут прицельно рассмотрены 3 компании и их запатентованные технологии.

Ecovative design являются ведущим экспертом в области исследований и разработок материалов на основе мицелия. Компания стремится к изменению производства материалов и продуктов, используя природные свойства мицелия. Они разрабатывает технологии для 5 секторов рынка: пищевые продукты, экокожа, строительные пенопласты, упаковочные материалы, косметологические изделия. Следующая компания – это бренд Mylo, который производит искусственную, экологичную кожу на основе мицелия, компания сотрудничает с крупными корпорациями для создания совместных коллекции. Технология для бренда была разработана исследователями из Both Threads. Третья компания MycoWorks также занимается разработкой различных альтернатив натуральной коже и дереву. В 2023 год ими было опубликовано исследование по оценке жизненного цикла их искусственной кожи, углеродный след для продукции без использования дополнительных наполнителей составил 2,76 кг CO_2-экв на $м^2$, что составляет всего 8% от воздействия производства обычной бычей кожи [2]. В исследовании границы были «от колыбели до ворот», ими было смоделировано полномасштабное производство 1 $м^2$ обработанной и готовой к эксплуатации альтернативной кожи.

Найденные запатентованные технологии будут рассмотрены дедуктивным методов, то есть от общего к частному. Исследователям из Both Threads удалось смоделировать наиболее общую технологию получения биокомпозитного материала на основе мицелия [3]. Технология включает всего четыре основных этапа:

1. Инокуляция источника питательных веществ на твердой опоре.
2. Инкубация смеси для выращивания биомассы мицелия.
3. Сбор выращенной биомассы мицелия.
4. Формирование биомассы мицелия.

Дополнительные этапы могут включать добавление наполнителей, связующих или армирующих материалов, волокон. Также возможно образование и запутывание ветвей гифа.

Компания Ecovative Design специализируется скорее на разработке самих технологии, чем на реализации продукции. В списке запатентованных технологии есть разработки и по созданию электропроводящей кожи, и по материалам, пригодным для использования в индустрии красоты. Для анализа была выбрана наиболее общая технология получения биоматериала на основе мицелия [4]. Она включает в себя следующие стадии:

1. Смешивание инокулята и субстрата.
2. Дозирование в ёмкости.
3. Инокуляция до достижения низкого содержания питательных веществ.
4. Извлечение смеси из ёмкости.
5. Добавление питательных веществ и смешивание.
6. Дозирование в ёмкости.
7. Инокуляция до достижения высокого содержания питательных веществ.
8. Высушивание в ёмкостях.

9. Извлечение, нарезка.
10. Постобработка и высушивание.

Последняя найденная и рассмотренная запатентованная технология у компании MycoWorks является наиболее специфичной, так как технология адаптирована для производства искусственной кожи на основе мицелия [5]. Отличие заключается в использовании дополнительных слоёв. Модификации применяемых слоев и режимов позволяет получать материалы с изменяемой формой, размером, толщиной, плотностью, гибкостью и другими заранее определенными качествами посредством направленного и контролируемого развития тканей. Общая схема технологии включает в себя следующие стадии:

1. Получение инокулята гриба, содержащего желаемый штамм гриба.
2. Размещение питательный среды в ёмкости.
3. Инокуляция.
4. Размещение промежуточного слоя на верхней поверхности питательной среды внутри ёмкости.
5. Размещение необязательного дополнительного материала поверх промежуточного слоя и/или мицелиального слоя.
6. Управление ростом грибкового материала для выращивания грибкового материала с желаемыми характеристиками.
7. Отслаивание промежуточного слоя от питательного средства для получения структуры грибкового материала.
8. Физическое и/или химическое изменение грибкового материала для желаемых характеристик.

На основе найденных запатентованных технологий была составлена общая модель жизненного цикла, которая приведена на рисунке 1 и включает в себя три основных стадии: 1 стадия включает подготовку питательной среды, инкубация в термостате, измельчение субстрата и их смешивание, 2 стадия включает инокуляцию, 3 стадия подразумевает сбор выращенной биомассы, ее формовка с последующей сушкой и обезвоживанием.

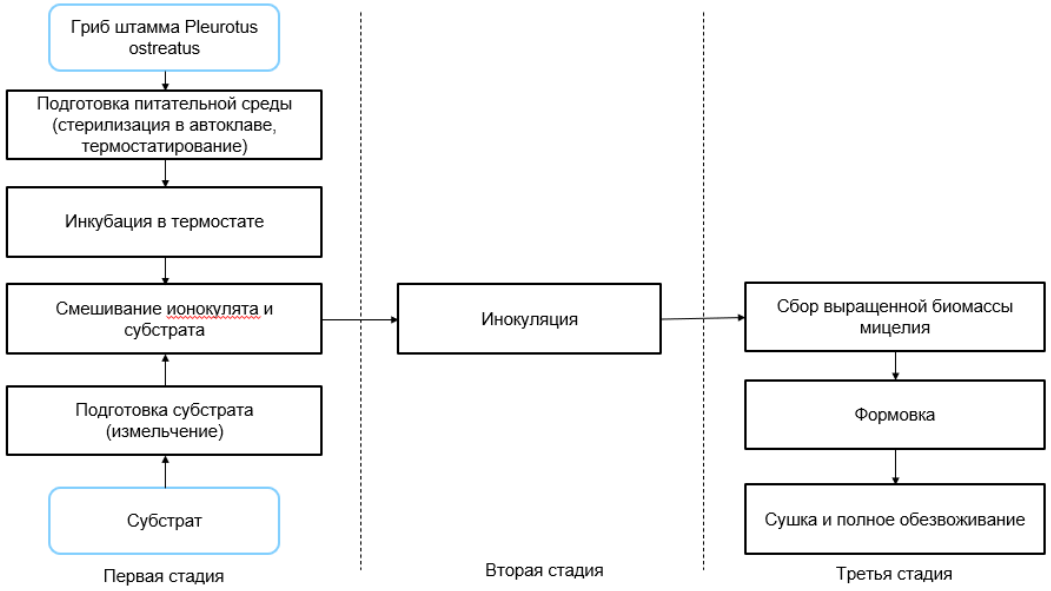


Рис. 1. Модель жизненного цикла производства биокомпозитов на основе мицелия

На основе найденной информации и промежуточный результатов лабораторных исследований, были смоделирована обобщенная схема жизненного цикла производства биокомпозитов на основе мицелия. Следующим этапом исследования является сбор данных, проведение инвентаризационного анализа и сама экологическая оценка общей технологии производства биокомпозитов на основе мицелия грибов, включающая все соответствующие процессы, согласно типу исследования «от колыбели до ворот».

При проведении большого объема аналитической работы было замечено, что тема является актуальной и прогрессивно развивающейся, поэтому ее разработка является целесообразной. Найденные технологии были запатентованные в течение последних 5 лет, это указывает на их актуальность. Существующие компании активно сотрудничают с известными корпорациями и выпускают совместные коллекции, это говорит об интересе бизнеса в альтернативных материалах. Компанией MycoWorks в мае 2023 года была проведена оценка жизненного цикла их альтернативной кожи. Углеродный след составил 2,76 кг CO_2-экв на $м^2$. Данное исследование показывает преимущество использования оценки жизненного цикла в качестве наглядного доказательства экологичности и устойчивости продукции для покупателя.

Список использованных источников

1. Winnie W., Lau Y. et al. Evaluating scenarios toward zero plastic pollution // Science. – 2020. – Vol. 369. – №. 6510. – Pp. 1455–1461.
2. Williams E., Cenian K., Golsteijn L. et al. Life cycle assessment of MycoWorks' Reishi™: the first low-carbon and biodegradable alternative leather // Environmental Sciences Europe. – 2022. – Vol. 34. №. 120. DOI: 10.1186/s12302-022-00689-x.
3. Patent US 11015059 (B2), CPC CO8L 89/00, CO8L 33/06, C08L 23/08, CO8J 5/24, CO8L 31/04. Composite material, and methods for production thereof // Matthew J. (US), Smith J. (US) et al.; applicant and assignee Bolt Threads, Inc., Emeryville, CA (US). – No. 16/943,581; filed 30.07.2020; date of patent. 25.05.21. – 112 p.
4. Patent US 11343979 (B2), CPC A01G 18/22, C12N 1/14. Process and apparatus for producing mycelium biomaterial // Mueller P. (US), Winicki J. (US) et al.; applicant and assignee Ecovative Design LLC, Green Island (US). – No. 16/419,868; filed 22.05.2019; date of patent. 21.05.22. – 21 p.
5. Patent US 10687582 (B2), CPC C12N 1/14, C08 5/04, A01G 18/10, C05F 9/04, C05F 11/08, A01G 18/60, A01G 18/62. Method of producing fungal materials and objects made therefrom// Ross P. (US), Wenner N. (US) et al.; applicant and assignee Mycoworks, Inc., San Francisco, CA (US). – No. 15/650,779; filed 14.07.2017; date of patent. 23.06.20. – 39 p.

УДК 504.064

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТАЕЖНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРО–ЗАПАДА РОССИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

***Егорова В.В.*[1]** *(магистрант)*
***Научный руководитель – Динкелакер Н.В.*[1]**

1 – Университет ИТМО

e-mail: v1kaegorova@yandex.ru

В исследовании проведено изучение влияния лесозаготовок на ландшафтно–экологические характеристики малых рек северной тайги на примере р. Яреньга и р. Лопшеньга, находящихся на территории Онежского полуострова (Архангельская область). На основе анализа аэрокосмических снимков выявлены микроландшафтные изменения, возникающие в водосборном бассейне после проведения сплошных рубок леса.

Ключевые слова
Лесозаготовка, цифровая модель рельефа, индекс NDVI, индекс NDMI.

В последние годы одной из наиболее актуальных экологических проблем таежной зоны Северо–Запада России является лесозаготовка. Серьезнейшим негативным последствием рубки леса является значительное изменение гидрологического режима водных объектов. Это влечет за собой негативные изменения, такие как появление избыточного количества питательных веществ, ухудшение качества воды (мутность, накопление органических веществ, биогенных ионов и тяжелых металлов), зарастание водоемов. Для речных систем неизбежны изменения ландшафта, связанные с перемещением почвы, такие как изменение русла, замедление течения, зарастание и болотистость участков русла, усиление изгибов. В данной ситуации становится критически важным иметь эффективные методы и инструменты для анализа экологического состояния водоемов и оценки воздействия вырубки леса на их экосистемы, также для определения мер по их сохранению.

Цель данной работы состояла в анализе влияния лесозаготовок на природные ресурсы бассейнов малых рек северной тайги по материалам спутниковых съемок. В качестве объектов исследования были выбраны две реки на территории Онежского полуострова. Из низ р. Лопшеньга с ненарушенными рубками водосбором и р. Яреньга, водосборная территория которой нарушалась рубками разной давности.

Исследование территорий рек выполнялось по материалам дистанционного зондирования Земли. Использовались спутниковые снимки Sentinel–2 и цифровая модель рельефа Copernicus DEM (Digital Elevation Model), предоставленные облачным сервисом Sentinel Hub. Для обработки данных был выбран программный комплекс Quantum GIS. Проведено сравнение летних безоблачных космических снимков, полученных со спутника Sentinel–2 за последние шесть лет (2018–2023 года).

Для отслеживания изменений в рельефе таежной зоны при рубке леса были созданы цифровые модели рельефа за 2018–2023 года (рис. 1, 2), соответствующие периоду интенсивной лесозаготовки и несколько лет после нее. По данным составленным разновозрастным картам можно отследить изменения условий формирования элементов водного баланса территории.

По временным рядам р. Яреньга в первую очередь можно заметить, что свежие вырубки привели к иссушению и обмелению реки. Вследствие лесозаготовки произошло изменение береговой линии из-за эрозии почв и удаления растительности, данные изменения отслеживаются в виде изменения контуров русла реки. Нарушения стабильности почвы привели к смыву почвенных отложений в реку, чем обоснована мутность реки. Стоит предположить, что уровень

грунтовых вод на водосборе р. Яреньга понизился в результате концентрированных рубок и последующей смены коренных хвойных лесов вторичными лиственными. Для р. Лопшеньга сложно отследить динамику, так как река не подвергалась вырубкам.

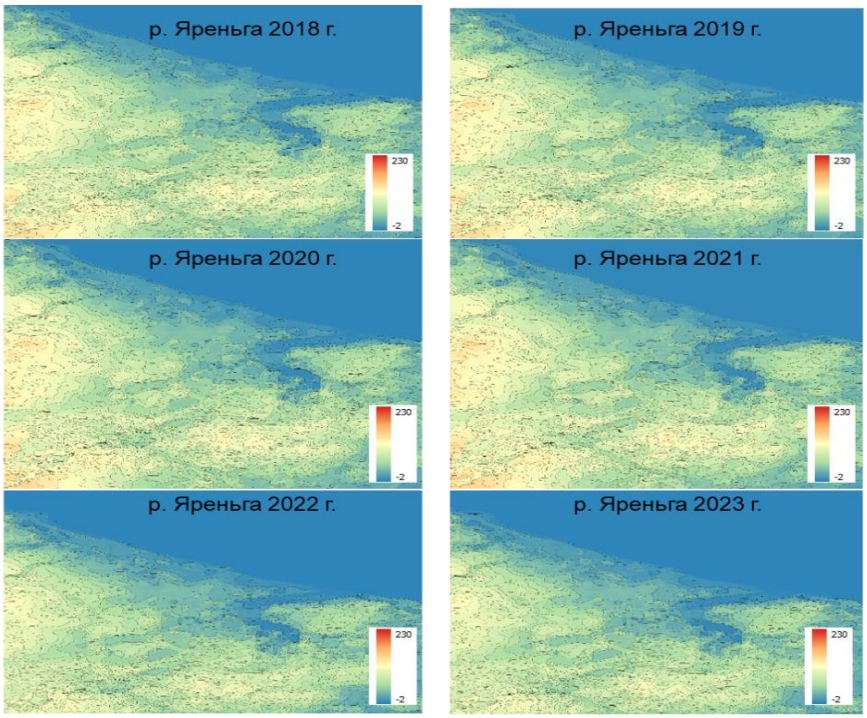


Рис. 1. Цифровая модель рельефа р. Яреньга за 2018–2023 года

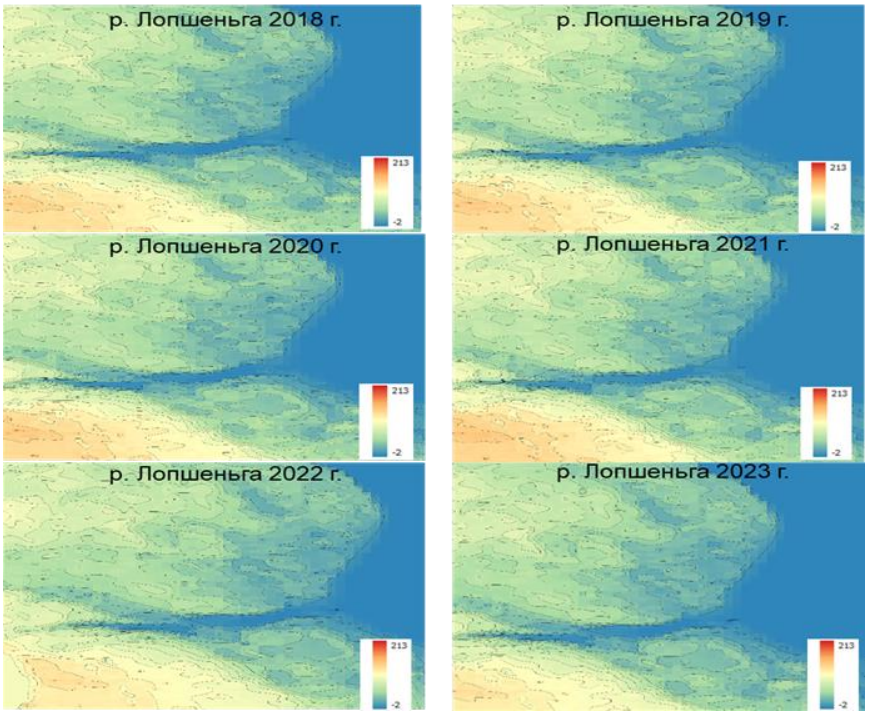


Рис. 2. Цифровая модель рельефа р. Лопшеньга за 2018–2023 года

В целях определения состояния растительности был найден индекс NDVI. NDVI (Normalized Difference Moisture Index) – нормализованный относительный индекс растительности, является простым показателем количества фотосинтетической активности биомассы. Благодаря особенности отражения в используемых вегетационным индексом областях спектра природные объекты, не связанные с растительностью, имеют фиксированное значение NDVI, что позволяет применять этот параметр для их идентификации [1].

Как видно на рисунках 3 и 4 пространственное распределение значений NDVI на территории водосборных площадей р. Яреньга и р. Лопшеньга неоднородно. Наблюдаются высокие значения NDVI в течение рассматриваемого периода на территории, где сосредоточены хвойные породы. Однако высокие показатели NDVI напрямую зависят от характера лесозаготовок. После проведения вырубок по временному ряду можно заметить появление на участках с высокими показателями NDVI значений менее 0,2, что свидетельствует об отсутствии растительности или ее крайнем слабом, угнетенном развитии. На месте вырубок возникают молодые лиственные древостои, которые в полной мере не могут регулировать гидрологический цикл, в связи с этим происходит заболачивание, тем самым замедляется лесовосстановление [2–6].

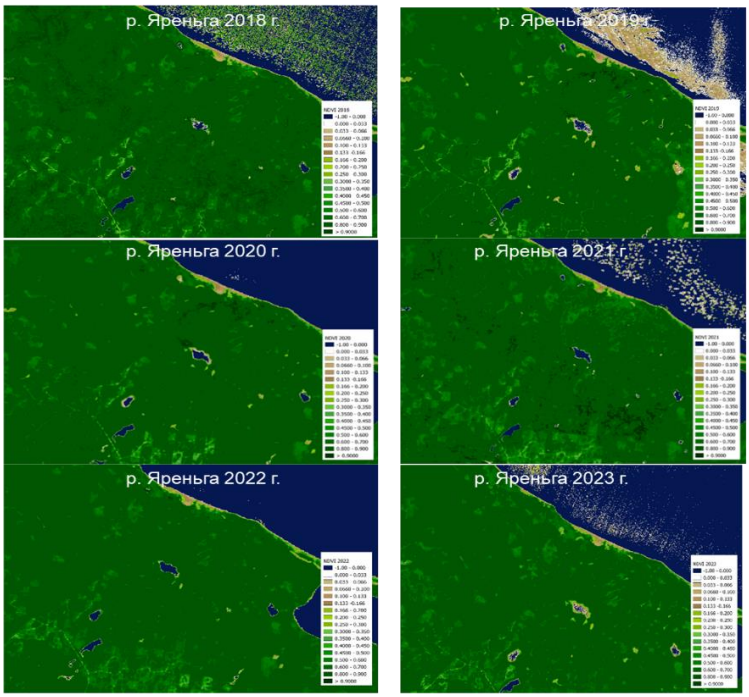


Рис. 3. Значения NDVI на территории р. Яреньга за 2018–2023 года

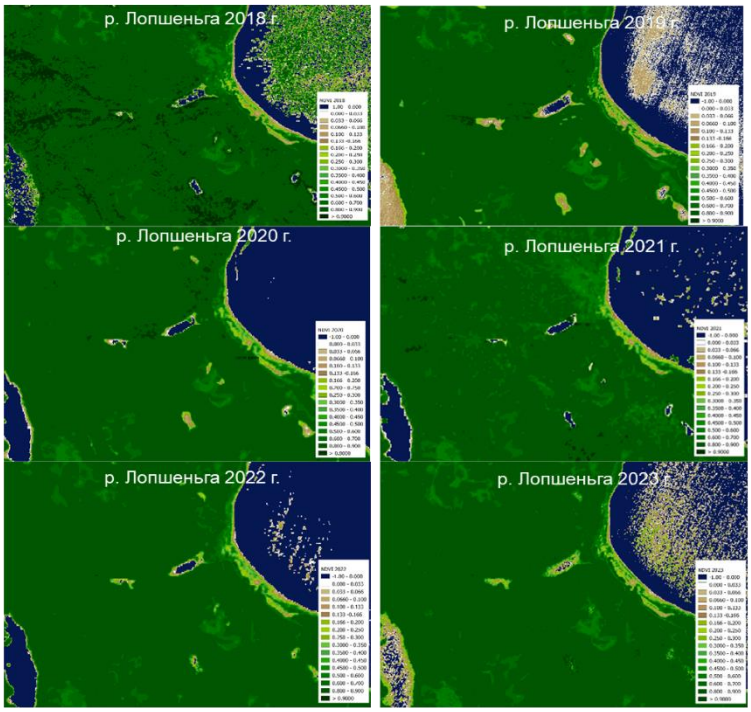


Рис. 4. Значения NDVI на территории р. Лопшеньга за 2018–2023 года

Для отслеживания состояния почвы после проведения вырубок был проведен анализ индекса NDMI. Индекс NDMI (Normalized Difference Moisture Index) — нормализованный разностный индекс влажности; показатель, характеризующий относительное содержание влаги в почве и листьях растений. Во многих исследованиях было обнаружено, что NDMI более чувствителен к изменению влажности подстилающей поверхности, чем NDVI, и этот факт позволил улучшить систему идентификации вырубки хвойных лесов [7]. Как видно на рисунка 5, низкие значения индекса NDMI, т. е. появление светлых пятен на территории водосборного бассейна р. Яреньга соответствует зонам недавних вырубок, где почва подвержена водному стрессу. Высокие положительные значения для р. Лопшеньга (рис. 6) свидетельствуют высокий растительный покров без водного стресса.

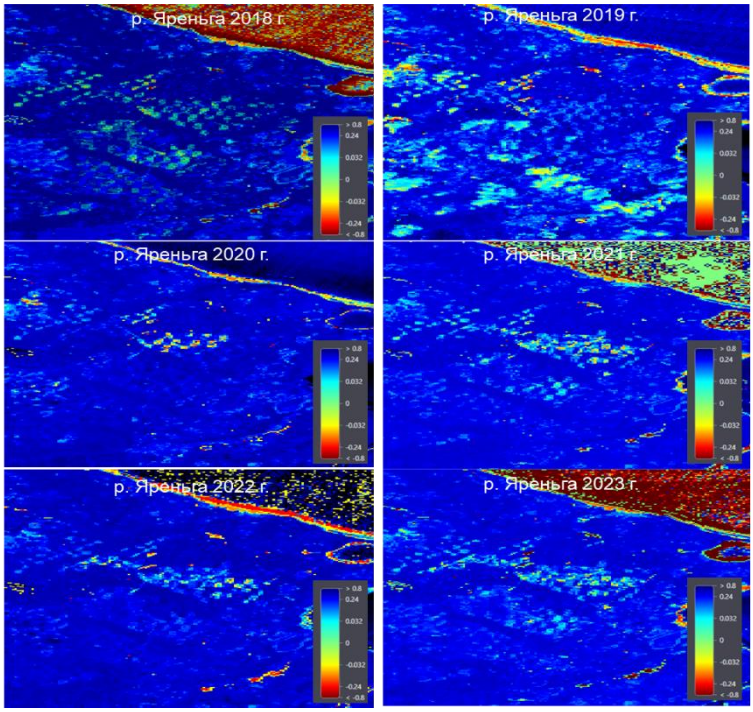


Рис. 5. Значения NDMI на территории р. Яреньга за 2018–2023 года

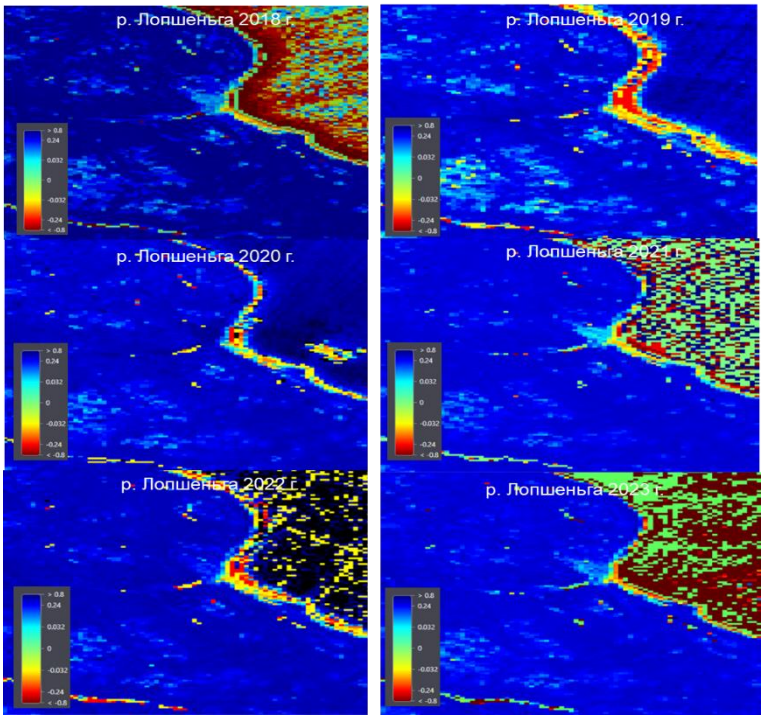


Рис. 6. Значения NDMI на территории р. Лопшеньга за 2018–2023 года

По результатам исследования космических снимков рек Лопшеньги и Яреньги показано, что основными негативными результатами лесозаготовки (на р. Яреньга) является заиление и эвтрофикация, изменение гидрологического режима, особенно в летней и осенний период (наиболее сильно влияющий на развитие прибрежной водной растительности), а под их влиянием – усыхание не затронутых рубками вторичных лесов и замедление лесовосстановления. Через три года после массовых вырубок данные негативные процессы в русле реки продолжаются, а также наблюдаются более долгосрочные процессы — микрорельефные изменения, которые отмечены в реке Яреньга и ее водосборном бассейне. Можно предположить, что данные процессы в дальнейшем приведут к русловым изменениям и могут вызвать меандрирование. Важно отметить, что негативное воздействия рубок уже через три года от момента проведения сплошных рубок перешло в стадию микроландшафтных изменений.

Список использованных источников

1. Asner G.P., Hicke J.A., Lobell D.B. Per–Pixel Analysis of Forest Structure. Vegetation Indices, Spectral Mixture Analysis and Canopy Reflectance Modeling // Remote Sensing of Forest Environments. Concepts and Case Studies. — NewYork, 2003. DOI: 10.1007/978-1-4615-0306-4_8.
2. Пунцукова С.Д. Эколого–экономическая оценка лесных ресурсов как основа устойчивого лесопользования // Вестник Бурятского государственного университета. Серия «Биология. География». – 2011. – Вып. 4. – С. 38–43.
3. Каракчиева И.В. Информационно–экономическое моделирование лесопользования как эффективный механизм экономического обоснования проекта освоения лесного участка // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2011. – №. 7. – С. 63–68.
4. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 N 200–ФЗ // Собр. законодательства Рос. Федерации. – 2006. – №. 50. – Ст. 5278.
5. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 27.02.2017 года №72 «Об утверждении состава лесохозяйственных регламентов, порядка их разработки, сроков их действия и порядка внесения в них изменений» // Собр. законодательства Рос. Федерации. – 2017. – №. 49. – Ст. 4552.
6. Приказ Агентства лесного хозяйства РФ от 29 февраля 2012 года № 69 «Об утверждении состава проекта освоения лесов и порядка его разработки» // Собр. законодательства Рос. Федерации. – 2012. – №. 65. – Ст. 6552.
7. Салмин А.С., Асауляк И.Ф. Оценка взаимосвязи между индексом влажности ndmi и дефицитом влажности воздуха // Доклады ТСХА: материалы конференции профессорско–преподавательского состава, посвященной 155–летию РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева Т. 293. – Москва: МСХА им. К.А. Тимирязева, 2021 – С. 8–10.

УДК 655.05

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕСУРСОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ ПОЛИГРАФИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Кисарова М.Ю. [1] *(студент),* ***Юльметова Р.Ф.*** [1]
Научный руководитель – доцент, к.х.н. Юльметова Р.Ф. [1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: kisarovam@yandex.ru

В работе рассмотрены технологический процесс предприятия полиграфической промышленности, количественные и экономические показатели производства полиграфической продукции. В ходе работы была проведена оценка возможности переработки бумажных отходов на предприятии полиграфической промышленности. На основании проведенного исследования делается вывод о том, что использование вторичных ресурсов, полученных в результате утилизации, поможет повысить экономическую эффективность сферы обращения с отходами.

Ключевые слова
Бумажные отходы, переработка отходов, полиграфическое производство, вторичные ресурсы, макулатурное сырье.

Вопросы экологичности и экологической безопасности затрагивают все отрасли промышленности, в том числе полиграфическую промышленность. Прежде всего, рассматривается проблема образования отходов и уменьшения негативного воздействия факторов производства на окружающую среду и человека. Предприятия используют различные инструменты и концепции для снижения воздействия своих продуктов на окружающую среду. В связи с этим, актуальным ставится вопрос переработки отходов, образующихся в процессе производства продукции.

Было рассмотрено предприятие полиграфической промышленности. Характеристика предприятия представлена в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика предприятия

Отрасль промышленности	**Основная выпускаемая продукция**	**Годовой товарооборот, ед.**
Деятельность полиграфическая и предоставление услуг в этой области	Журналы, книги (в твердом или мягком переплете), многостраничные каталоги, многотиражную листовую продукцию (картографическую, рекламную) и др.	3,3 млн

В ходе рассмотрения технологического процесса предприятия полиграфической промышленности было выявлено, что ежегодно образуется 413,4 тонн отходов в виде обрезов, бракованной продукции, бумажного срыва, остатков ролей, классифицируемых как «использованные книги, журналы, брошюры, проспекты, каталоги». Следует отметить, данный отход является потенциально пригодным к переработке и может применяться для производства прочной высококачественной бумаги со вторичными волокнами.

На рисунках 1 и 2 отражены количественные и экономические показатели производства полиграфической продукции.

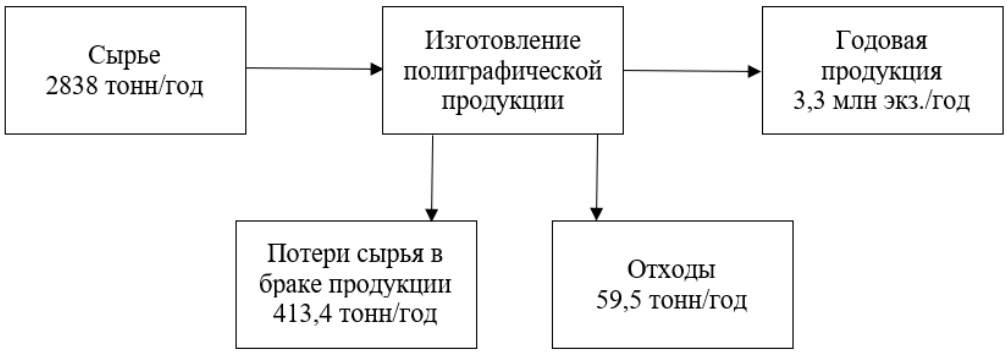


Рис. 1. Количественные показатели производства полиграфической продукции

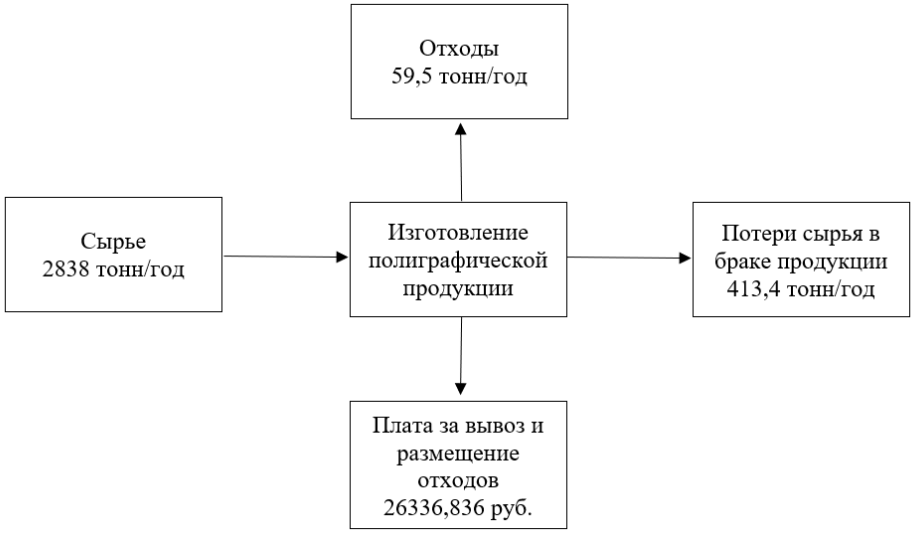


Рис. 2. Экономические показатели производства полиграфической продукции

Рассчитаем норматив образования отхода «использованные книги, журналы, брошюры, проспекты, каталоги». Для производства 1 книги на предприятии в среднем требуется 860 г бумаги, годовой оборот предприятия – 3,3 млн экз/год. Следовательно, количество бумаги, израсходованной за год – 2838000 кг = 2838 т.

Расчет выполняется по формуле:

$$M = Q*m*10^{-5},$$

где M – масса отходов бумаги и картона, т/год; Q – количество бумаги, израсходованной за год, кг.; Q= 2838000 кг; m – удельный норматив образования отхода, %; m=8%.

Плотность отхода, т/куб. м; ρ = 0.06 т/куб.м

$$M=227.04 \text{ т/год},$$

$$V = \frac{M}{\rho} = 3784 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Фактическое количество образующихся отходов превышает норматив образования данного отхода, следовательно, необходимо проведение мероприятий по решению проблемы образования отходов.

Для решения выбранной экологической проблемы предлагаются следующие мероприятия:

1. Провести обучение сотрудников с целью сокращения процента брака на предприятии.
2. Установить более эффективное оборудование, используемое на этапе печатных процессов и послепечатной обработки.

3. Установить оборудование для переработки отходов бумаги, образующихся при изготовлении печатной продукции, непосредственно на предприятии с целью дальнейшего использования вторичного сырья для производства продукции.
4. Организовать контроль качества на этапе поступления материалов на производство.

В результате изучения наилучших доступных технологий было принято решение выбрать в качестве приоритетного мероприятие по установке оборудования для переработки отходов, классифицируемых как «использованные книги, журналы, брошюры, проспекты, каталоги».

На данный момент, сбор, транспортировка, обработка, утилизация, обезвреживание, размещение отходов I–IV классов опасности рассматриваемого предприятия осуществляется сторонними организациями. На объекте отсутствует оборудование (в том числе специальное) и установки по обработке, утилизации, обезвреживанию отходов производства и потребления. В организации оборудованы места временного хранения (накопления) отходов. На рисунке 3 отражен план предприятия полиграфической промышленности.

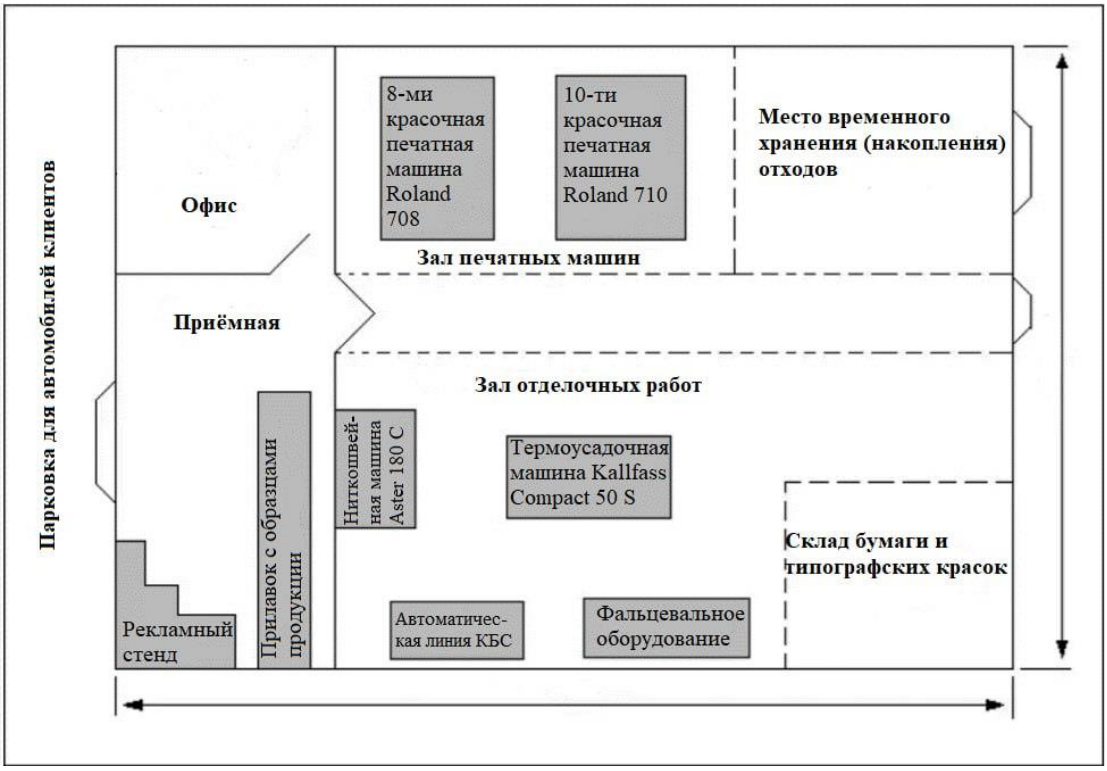


Рис. 3. План-схема предприятия полиграфической промышленности

Часть помещения для временного хранения можно оборудовать под технологическую линию для подготовки макулатурной массы. При этом, необходимо учитывать основные статьи расходов при производстве белых видов бумаги с учетом стадий переработки макулатурного сырья. В таблице 2 указан расход сырья, материалов и энергоресурсов на производство белых видов бумаги из макулатурного волокна.

На основе данных из таблицы рассчитаем количество бумаги, которое предприятие может произвести с помощью переработки макулатурного сырья. В связи с тем, что на предприятии образуется 413400 кг отходов, классифицируемых как «использованные книги, журналы, брошюры, проспекты, каталоги», то можно сделать вывод о том, что предприятие может производить 385,6 т/год вторичного сырья с целью использования для производства продукции.

В таком случае предприятие может закупать первичное сырье в меньшем количестве, что позволит снизить затраты на производство полиграфической продукции, сократить использование природных ресурсов, снизить потребность в утилизации отходов и энергопотреблении при производстве бумаги, а также снизить плату за вывоз и размещение отходов. Благодаря этому предприятие сможет рационально использовать имеющиеся ресурсы, а также увеличить количество вторичного сырья для производства продукции [2, 3].

Таблица 2

Расход сырья, материалов и энергоресурсов на производство белых видов бумаги из макулатурного волокна [1]

№	Наименование	Единицы измерения	Расход на 1 т
1 Сырье			
1.1	Макулатура	кг/т	1072
2 Химические реагенты			
2.1	Смачиватель	кг/т	0,02
2.2	Диспергатор	кг/т	0,05
2.3	Проклеивающие вещества	кг/т	0
2.4	Удерживающие вещества (в т. ч. флокулянты)	кг/т	0,5
2.5	Пеногаситель	кг/т	0,1
2.6	Химикаты для отбелки	%	
	NaOH		0,5
	H2O2		0,5
	Na2SiO3		2,0
2.7	Красители	кг/т	0
2.8	Биоцид	кг/т	0,14
3 Энергоресурсы			
3.1	Свежая вода	$м^3$/т	10
3.2	Пар	т/т	1,5
2.3	Электроэнергия	кВт·ч/т	350

Таким образом, была проведена оценка возможности переработки бумажных отходов на предприятии полиграфической промышленности. На основании проведенного исследования можно сделать вывод о том, что использование вторичных ресурсов, полученных в результате утилизации, поможет повысить экономическую эффективность сферы обращения с отходами.

Список использованных источников

1. Целлюлозно-бумажное производство. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. ИТС 1–2022. – М.: Бюро НДТ, 2022. – 418 с.
2. Ледницкий А.В., Куприян С.В. Экономическое обоснование использования отходов в полиграфическом производстве // Труды БГТУ. Серия 5: Экономика и управление. – 2016. – №. 7 (189). – С. 234–238.
3. Ледницкий А.В., Куприян С.В., Сильванович И.А. Рациональное использование ресурсов и вторичная переработка как фактор устойчивого развития предприятий полиграфической промышленности // Труды БГТУ. Серия 5: Экономика и управление. – 2017. – №. 1 (196). – С. 180–184.

УДК 504.062

ИСТОРИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ

Клементьева С.С. [1] *(студент)*
Научный руководитель – преподаватель Садоков Д.О. [1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: polygalowa.svet@yandex.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №623092 «Биосферный потенциал особо охраняемых природных территорий: климат, ландшафты, экосистемы».

В работе рассмотрены исторические предпосылки возникновения концепции экосистемных услуг, вопроса, который приобретает все большее значение в последние десятилетия и который требует тщательной исторической проработки, чтобы стать доступным и понятным для общества. В последние десятилетия все больше внимания уделяется значимости и ценности экосистемных услуг для общества. В работе проводится анализ различных источников и исторических данных, исследований, выявляется ряд важных событий и разработок, чтобы выявить факторы, способствующие развитию концепции экосистемных услуг.

Ключевые слова
Экосистемные услуги, устойчивое развитие, биоразнообразие, экономическая стоимость, экосистема.

Концепция экосистемных услуг имеет исторические предпосылки, которые связаны с развитием экологической мысли и понимания взаимосвязей между природой и человеком. Одними из ключевых моментов являются развитие экологии как науки, осознание ущерба окружающей среде, развитие экономической мысли, международные инициативы. Это привело к пониманию того, что экосистемы предоставляют человеку различные полезные услуги, такие как очистка воздуха и воды, регулирование климата и др.

Вторая половина XX века стала периодом роста осознания ущерба, который человек наносит окружающей среде своей деятельностью, таким образом привело к появлению концепции устойчивого развития и необходимости учитывать экологические аспекты при принятии решений. В экономической теории стало все более понятно, что окружающая среда не является неисчерпаемым ресурсом, и ее ценность должна быть учтена при оценке экономической деятельности, учете природных ресурсов.

В Стокгольме в 1972 году состоялась Конференция Организации Объединенных Наций по проблемам окружающей среды, стала первым крупным мероприятием, посвященным вопросам охраны окружающей среды и устойчивого развития. На конференции были обсуждены различные аспекты воздействия человеческой деятельности на окружающую среду, включая загрязнение воздуха, воды и почвы, деградацию экосистем, было введено понятие «экологическое развитие». Основной идеей экологического развития является стремление к устойчивому использованию природных ресурсов и сохранению экосистем для текущих и будущих поколений. Оно определялось как социально-экономическое направление развития, ориентированное на экологию.

Программа ЮНЕП является частью системы ООН. Программой ЮНЕП проводятся различные проекты, исследования, конференции и мероприятия по охране окружающей среды. Она также сотрудничает с разными странами, международными организациями, гражданским обществом и частным сектором для достижения целей. Ее основной задачей стала разработка научных рекомендаций по основным проблемам экологического кризиса.

Международная комиссия ООН по вопросам окружающей среды и развития была создана в 1983 году с целью изучения проблем, вызывающих экологические и социально-экономические опасения во всем мире.

Доклад «Наше общее будущее» был представлен в 1987 году и стал одним из ключевых документов, посвященных вопросам устойчивого развития. Этот доклад был подготовлен комиссией, также известной как Комиссия Брундтланд в честь ее председателя Гро Харлем Брундтланд.

Термин «устойчивое развитие» стал ключевым понятием в докладе «Наше общее будущее». Устойчивое развитие определяется как «развитие, удовлетворяющее потребности текущего поколения, не оказывая негативного воздействия на возможности будущих поколений удовлетворять свои потребности». Доклад призывает к балансу между социальными, экономическими и экологическими аспектами развития.

В докладе были предложены рекомендации по устойчивому использованию природных ресурсов, защите окружающей среды, борьбе с изменением климата, справедливому распределению ресурсов между странами и т. д. Документ стал отправной точкой для многих международных и национальных инициатив по устойчивому развитию.

Конференция ООН под названием «Рио + 20» прошла в 2012 году. Основными темами конференции были зеленая экономика и укрепление институциональной структуры для устойчивого развития [1]. Конференция «Рио +20» стала важным событием в области устойчивого развития и продолжила традицию международных конференций по охране окружающей среды, начатую в Рио-де-Жанейро в 1992 году.

Однако история современного понятия «экосистемные услуги» может быть прослежена с 1970-х годов. Оно началось с определения полезности функций экосистем в целях привлечения внимания общественности к проблеме сохранения биоразнообразия [1, 2].

Термин появился впервые в 1981 году в книге П. Эрлиха и А. Эрлих «Вымирание: причины и последствия исчезновения видов» и подчеркнул важность услуг, предоставляемых природой человечеству [2]. Термин был введен для описания выгод, которые человек получает от экосистем.

В 1990-е годы направление «энвайронментализм» в научных публикациях стало фокусироваться на экосистемных функциях, а также возрос интерес к методам оценки их экономической ценности. Энвайронментализм стремится к обеспечению устойчивого развития, сохранению биоразнообразия. Улучшению качества жизни людей.

Работа Р. Костанзы и соавторов, по оценке стоимости мирового природного капитала к экосистемным функциям, стала важным направлением развития, которое послужило началу новых исследований с экосистемными функциями.

Доклад «Оценка экосистем на пороге тысячелетия» (Millennium Ecosystem Assessment) был выпущен в 2005 году. Цель доклада - оценить состояние и тенденции изменения экосистем, а также выявить взаимосвязь между экосистемами, биоразнообразием и благосостоянием человечества. В результате были рассмотрены проблемы, связанные с деградацией экосистем из-за деятельности человека, загрязнение окружающей среды. Доклад обозначил важность сохранения биоразнообразия использования природных ресурсов рациональным подходом. Доклад «Оценка экосистем на пороге тысячелетия» стал важным документом для разработки стратегий по сохранению природных комплексов. Потребность в учете и оценке экосистемных услуг необходима в описании как «единый интерактивный динамичный комплекс сообществ растений, животных и микроорганизмов в сочетании с окружающей средой» [3].

Согласно докладу, устанавливаются границы экосистем там, где происходит *«резкое изменение в распределении организмов, характеристиках физической среды (тип почвы, границы водосборных площадей и глубина водоемов) и пространственном взаимодействии (ареал, характер миграции, поток веществ)»* [4]. Также границы экосистем ограничиваются территориальной границей субъекта. В докладе предлагаются выделение следующих экосистем: *«тропические леса, леса умеренной климатической зоны, пастбищные земли, пустыни и полупустыни, озера, болота, реки и их дельты, горы, острова, моря»* [4].

А.А. Тишков осуществил много исследований в выявлении экосистемных услуг и функций. В своих он разграничивает функции экосистем и экосистемными услугами. Функции экосистем — это деятельность, выполняемая органом или организмом в экосистеме. Они являются внутренними процессами, которые обеспечивают жизнедеятельность экосистемы. Примерами функций могут быть процессы фотосинтеза, циркуляции воды, разложения органических веществ, биопродуктивность растительности в и т. д. Экосистемные услуги — это действия, приносящие пользу человеку или другим организмам за пределами экосистемы. Экосистемные услуги обеспечивают благоприятные условия для жизни и деятельности человека. Примерами экосистемных услуг могут быть поставки питьевой воды, регулирование климата, предоставление мест для отдыха, преобразование солнечной энергии и т. д. Таким образом, функции экосистем являются основой для предоставления экосистемных услуг. Понимание разницы между этими двумя концепциями помогает более точно оценивать и понимать роль экосистем в поддержании жизни на Земле [5].

Оценка экосистемных услуг является важным инструментом для понимания ценности и значимости природных ресурсов для человека и общества в целом. Оценка экосистемных услуг формирует знания и опыт в управлении природными ресурсами и охране окружающей среды, т. е. понимая стоимость и важность ущерба и изъятия природной среды, можно и нужно разработать план сохранения биоразнообразия и рационального использования природных ресурсов [6].

Многие экосистемные услуги напрямую влияют на благополучие и здоровье людей, обеспечивая им питание, воду для питьевых и хозяйственных нужд, защиту от стихийных бедствий, заболеваний и другие необходимые ресурсы. Оценка экосистемных услуг помогает понять, какие риски могут возникнуть при нарушении равновесия в природной среде. Зная стоимость экосистемных услуг, можно спрогнозировать модель использования природных ресурсов настоящим и будущими поколениями.

Информирование граждан о стоимостной оценке позволяет осведомить граждан о проблемах охраны окружающей среды, ценности сохранения природных ресурсов. Таким образом, оценка экосистемных услуг играет ключевую роль в обеспечении устойчивого развития общества и сохранении природы для будущих поколений.

На основании исследования Института экономики природопользования, изложенного в «Экономике сохранения биоразнообразия» составлены методы оценки экосистемных услуг [7].

Существуют следующие методы оценки экосистемных услуг, основанные на затратных подходах, на оценке дифференциальной ренты, совмещение затратного подхода и ренты, расчет в баллах, совмещение баллов и ренты, нормативные методы [7].

Отсутствие нормативно-правовой базы, разъединённость подходов препятствует создать единую методическую основу оценки природных ресурсов. Специалисты, занимающиеся оценкой экосистемных услуг, не могут получить единую систему учета и оценки, тем самым не могут просчитать стоимость экосистемных услуг региона, страны, мира.

В современной Европе экосистемные услуги все чаще учитываются при принятии экономических решений, включая использование рынков экосистемных услуг и схем компенсации за них.

Международные организации осуществляют деятельность по определению ценности природного капитала. В Российской Федерации в настоящий момент только начинает вестись работа по устойчивому развитию. Экосистемные услуги играют ключевую роль в поддержании жизни на планете и благополучии человечества. Концепция экосистемных услуг стала важным инструментом для оценки ценности природных ресурсов и принятия устойчивых решений в области использования природы.

Список использованных источников

1. Розенберг А.Г. Оценка и прогнозные сценарии изменений экосистемных услуг для достижения устойчивого развития Самарской области. Автореф. дис. канд. биол. наук. – 2016. – С. 22.

2. Ehrlich P.R., Ehrlich A.H. Extinction: the Causes and Consequences of the Disappearance of Species. – N. Y.: Random House, 1981. – 305 p.
3. Солдатов В.Ю., Ильин С.А. Природные изменения и антропогенные воздействия на экосистемы // Экономика природопользования. – №. 22014. – С. 4–18.
4. Юрак В.В., Игнатьева М.Н., Душин А.В. Экономическая оценка ценности экосистемных услуг региона: обзор мирового опыта // Journal of New Economy. – 2020. – Т. 21. – №. 4. – С. 79–103.
5. Тишков А.А. Биосферные функции природных экосистем России. – М.: Наука, 2005. – 309 с.
6. Бобылев С.Н., Захаров В.М. Экология и экономика: «зелёная» экономика и экосистемные услуги // Вестник Самарского государственного экономического университета. Спецвыпуск. – 2014. – С. 15–24.
7. Тишков А.А. Экономика сохранения биоразнообразия // Проект ГЭФ «Сохранение биоразнообразия Российской Федерации». – 2002. – 604 с.

УДК 911.2

СОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ЛУГОВЫХ ЛАНДШАФТОВ ДАРВИНСКОГО ЗАПОВЕДНИКА (НА УЧАСТКЕ ВБЛИЗИ ОЗЕРА ХОТАВЕЦ)

***Коняева О.М.*[1]** *(студент)*
***Научный руководитель – к.г.н., преподаватель практики Садоков Д.О.*[1]**

1 – Университет ИТМО

e-mail: helgaquiniana@yandex.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №623092 «Биосферный потенциал особо охраняемых природных территорий: климат, ландшафт и экосистемы».

Работа посвящена изучению изменений луговых природно-территориальных комплексов в Дарвинском заповеднике, который является биосферным резерватом. Проанализирована динамика зарастания агроландшафтов, составлена общая схема восстановительных сукцессий, рассмотрена динамика биопродуктивности за последние годы.

Ключевые слова
Изменения климата, ландшафт, ООПТ, заповедник, сукцессия.

С каждым годом в мире всё больше территорий, которые относятся к антропогенно преобразованным, а площади коренных ландшафтов сокращаются. Примерами территорий, где возможно наблюдать сбалансированное взаимодействие природы и человека, являются особо охраняемые природные территории (ООПТ), куда входят и биосферные резерваты.

Одним из 36 биосферных резерватов, расположенных в России, является Дарвинский заповедник. Его особенность заключается в том, что он был создан после организации искусственного Рыбинского водохранилища в 1941–1947 гг., которое стало основным антропогенным региональным фактором трансформации природной среды. Эта трансформация продолжается и сейчас, ее испытывают большинство природно-территориальных комплексов (ПТК) Дарвинского заповедника.

Тема динамики природных процессов и отдельных компонентов ландшафтов Дарвинского заповедника рассматривается в ряде работ отечественных авторов. Большинство работ по теме описывают прежде всего динамику определенного вида или рода животных, реже растений, иногда более крупного таксона (например, мхов, рукокрылых), динамика ландшафтов исследуется значительно реже. Иногда рассматриваются основные динамические процессы в пределах одного ключевого участка небольшой площади, картографические произведения составлены также для него. Одни из наиболее полных работ по теме авторства Н.Н. Калуцковой, относятся к исследованиям 1995 года, когда было проведено ландшафтное картографирование трансформации природно-территориальных комплексов ранга урочищ Дарвинского заповедника за 50-летний период. С тех пор не проводились комплексные исследования динамики ландшафтов заповедника. Учитывая современные быстротекущие изменения климата, важно провести новые исследования и составить прогноз дальнейших изменений [3].

В рамках данной темы необходимо рассмотреть проблему повышенной динамичности территории за последние 30 лет на основе аэрофотоснимков и полевых исследований для выявления изменений границ луговых ПТК и их причин.

Ландшафтная структура территории Дарвинского заповедника, с одной стороны, обладает чертами, общими для Молого-Шекснинской низменности, подвергшейся влиянию множественных оледенений, а также особенностями, связанными с его расположением на северо-западе Рыбинского водохранилища. Водохранилище, созданное в 1941–1947 годах стало

основным антропогенным фактором трансформации природной среды в региональном масштабе [2].

Дарвинский государственный заповедник располагается в пределах двух субъектов России – Вологодской области (Череповецкий район) и Ярославской области (Брейтовский район). Он был учрежден 15 июля 1945 года на территории полуострова, находящегося на северо-западе Рыбинского водохранилища с целью охраны лесов, орнитофауны, ихтиофауны, а также изучения и постоянного учета изменений, вызываемых под влиянием затопления и подтопления за счет Рыбинского водохранилища, лесной, луговой, болотной и водной растительности [2].

Исторически территорию, на которой расположен заповедник, можно отнести к староосвоенным. До создания водохранилища и ООПТ в ее пределах находился ряд населенных пунктов, большая часть которых была переселена, вместе с чем прекратилась распашка пахотных угодий, что повлияло на процессы изменения ландшафтов, запустило восстановительные сукцессии, процессы заболачивания и привело к заметным изменениям ландшафтной структуры пахотных земель. Однако, несмотря на переселение и отсутствие пашен часть полей еще долгое время использовалась в качестве пастбищ и сенокосов.

Сельскохозяйственная трансформация ландшафта затрагивает все его компоненты, в том числе стабильные, влияет на его горизонтальную и вертикальную структуру, изменяет характер, состав и темпы круговоротов веществ, информации и энергии в ландшафте. В первую очередь, обработка земель приводит к глубоким преобразованиям активных (средообразующих) компонентов — биоценозов и почв [3].

Горизонтальная структура ландшафтов также изменяется под действием сельскохозяйственного освоения. На уровне фаций происходит конвергенция морфологического строения природных комплексов, на уровне урочищ и выше — его дивергенция.

Так, исключение земель из сельскохозяйственного оборота ведет к запуску процессов ренатурализации природных процессов в ландшафте, начинаются восстановительные постаграрные сукцессии. В зависимости от вида исходных сельскохозяйственных модификаций и генезиса вмещающих ландшафтов начинается первичная (на пашне) или вторичная (на пастбище, сенокосе) восстановительная сукцессия. Направление, скорость и количество сукцессионных смен зависят от множества природных и антропогенных факторов [4].

Модельный участок, для которого рассмотрена динамика луговых природно-территориальных комплексов, расположен вблизи озера Хотавец в западной части Дарвинского заповедника в урочище Хотавец, на месте бывшей одноименной деревни. Координаты местности – 58.577534, 37.605379.

Для анализа были динамики использованы аэрофотоснимки и спутниковые снимки 1951, 1981, 2009 и 2021 годов. С точки зрения ландшафтной структуры Дарвинского заповедника согласно карте Н.Н. Калуцковой, рассматриваемый участок расположен в Борокско-Хотавецкой местности и относится преимущественно к слабо дренированным равнинам, которые часто заболочены.

Поскольку скорость (длительность) восстановительной сукцессии зависит от продуктивности сообществ, для изучения распределения и динамики растительного покрова возможно применять расчеты вегетационного индекса (NDVI) (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованный относительный индекс растительности, который вычисляется по формуле:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED),$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра; RED – отражение в красной области спектра. Соответственно, плотность растительности (NDVI) в определенной точке изображения равна разнице интенсивностей отраженного света в красном и инфракрасном диапазоне, деленной на сумму их интенсивностей. Анализ данных вегетационного индекса NDVI за определенный временной период позволяет сделать вывод о деградации растительного покрова или, наоборот, о процессах его восстановления [3].

Расчеты проводились с помощью использования геинформационных систем QGIS и ArcGIS Pro и спектральных спутниковых снимков Landsat 8 2013–2023 гг. Изменчивость ландшафтов пахотных земель можно проследить на рисунке 1.

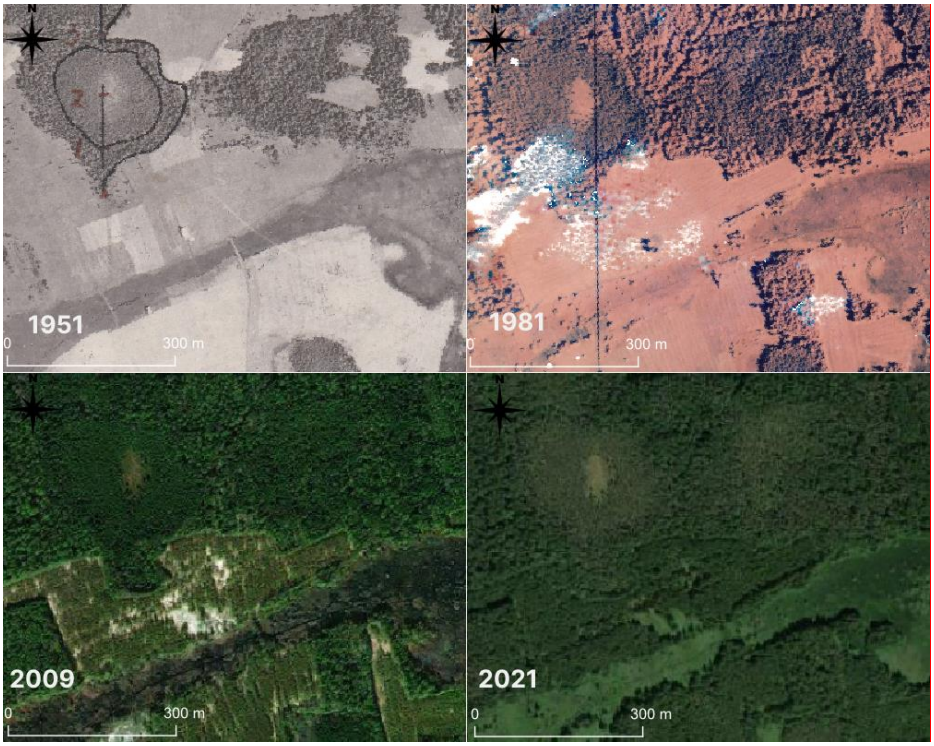


Рис. 1. Агроландшафты на аэрофотоснимках

Восстановительная сукцессия данного агроландшафта протекала медленно, в 1981 году пашня еще использовалась. По снимку 2009 года можно отметить, что часть деревьев на месте пашни – посаженные. На снимках 2009 и 2021 года заметен сохранившийся участок луга, который не затронули посадки и сукцессии леса, он представляет большой интерес для полевого исследования. Это связано в первую очередь с использованием части сенокосов до 2010 года. Общая схема восстановительных сукцессий агроландшафтов Дарвинского заповедника выглядит так: суходольный злаковый или разнотравный луг на залежи – пырейный – полевицевый – душистоколосковый – белоусовый. Другой вариант: пионерное растительное сообщество → рыхлокустовой луг → плотнокустовой луг, при усилении увлажнения — заболоченный луг с ивой → стадия «жердняка» — поросли мелколиственных и хвойных древесных пород [3].

Исходя из анализа динамики NDVI, была получена следующая карта, изображенная на рисунке 2. Темно-синий цвет соответствует наиболее незначительным изменениям, желтый цвет соответствует заметным изменениям. Большинство природно-территориальных комплексов на месте бывших агроландшафтов сегодня являются лесными и не показывают повышения продуктивности, и таким образом, находятся в стабильном состоянии. Рост продуктивности фитомассы отмечен на тех участках, которые подвержены заболачиванию. В результате выявлены следующие гипотезы, которые планируется проверить при полевых исследованиях:

1. Подверженные заболачиванию луговые ПТК являются наиболее продуктивными (по приросту фитомассы), а те, где образовались лесные ПТК, в настоящее время наблюдается стабильность по фитомассе.
2. Луговые ПТК в урочище Хотавец (не заболачиваемые) не подвержены зарастанию и приросту фитомассы в настоящее время.
3. В настоящий момент процесс сукцессии на территории замедлился. Для уточнения и дальнейшего изучения изменений необходимы полевые исследования и составление геоботанических описаний.
4. Площадь луговых урочищ в целом в Дарвинском заповеднике сокращается.

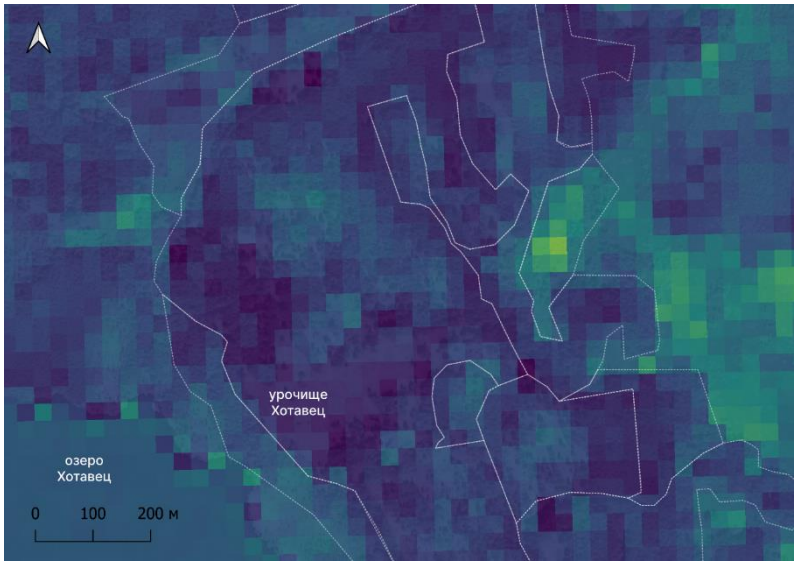


Рис. 2. Динамика NDVI в 2013–2023 гг.

Список использованных источников

1. Дарвинский заповедник. Под ред. А.М. Леонтьева // Областная книжная редакция. – Вологда, 1957. – 103 с.
2. Калецкая М.Л., Немцова С.Ф., Скокова Н.Н. Дарвинский заповедник. // Заповедники СССР. Заповедники европейской части РСФСР. I. – М., Мысль, 1988. – С. 152–184.
3. Калуцкова Н.Н., Ландшафтный кадастр заповедной территории: методика составления и использование при организации биосферных заповедников: (На примере Дарвинского гос. Заповедника): автореферат дис. … кандидата географических наук: 11.00.11 / МГУ им. М. В. Ломоносова. – Москва, 1995. – 24 с.
4. Романова Е.А., Виноградова О. Л. Современные ландшафты Калининградской области как отражение динамики землепользования // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. – 2015. – №. 1. – С. 35–43.

УДК 502.057

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЦИФРОВОГО МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Королёва Е.В.[1]*(студент),* ***Забелина А.В.[1], Сергиенко О.И.[1]***
Научный руководитель – к.т.н., доцент Сергиенко О.И.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: coroleva.caterina2000@yandex.ru

В работе рассматриваются современные тенденции развития мониторинга атмосферного воздуха в зоне влияния промышленных объектов, включая полигоны твердых коммунальных отходов (ТКО), с применением беспроводных сенсорных систем, приводится зарубежный опыт применения данной технологии, её достоинства и недостатки, перспективы развития.

Ключевые слова
Экологический мониторинг, методы контроля, газовые выбросы, беспроводная сеть, сенсор, полигон ТКО.

На сегодняшний день в Российской Федерации принимаются меры по уменьшению количества выбросов, которые влияют на состояние окружающей среды. В промежутке с 2020 по 2022 гг. (0,2%) количество выбросов составило 17,2 млн тонн. Этот показатель сигнализирует о том, что на промышленных объектах необходимо устанавливать более тщательный контроль за количеством выбросов [1].

Чтобы снизить представленные выше показатели, необходимо проводить инвентаризацию выбросов, а также установить систему отслеживания на статичных и мобильных источниках загрязнения. Также необходим контроль на неорганизованных и площадных территориях, к которым мы можем отнести золоотводы, шлакоотводы, парковки для автомобилей и полигоны ТКО. Особое внимание также стоит уделить выбросам свалочного газа на полигонах ТКО. Ведь они не только оказывают сильное влияние на окружающую среду, но и вызывают сильный дискомфорт населения.

Для борьбы с загрязнением воздушной среды на больших площадях, на которых также происходят выбросы горючих и токсичных газов, применяют сенсорные сети подходящего масштаба. Эти системы проводят мониторинг состояния степени загрязнения атмосферного воздуха. Собранные данные передаются на специальные носители, обрабатываются и анализируются. Затем, в случае обнаружения опасности, принимаются меры для предотвращения чрезвычайных ситуаций. Эта система применяется не только в России, но и во всем мире. Что говорит о ее действенности и необходимости.

Также применение беспроводных сенсорных систем выигрывает со стороны экономической эффективности, скорости установки. Одновременно с использованием этих систем появляется возможность оказаться от сетевого электрического питания.

Целью данной работы является определение состояния, направлений развития и возможности применения беспроводных сенсорных систем (БСС) для возможности отслеживания степени загрязнения воздуха на промышленных объектах и территориях полигонов ТКО.

Были поставлены следующие задачи исследования – изучение уже созданных проектов в изучаемой нами области; анализ проблематики и потенциала использования БСС; исследование вариантов эксплуатации БСС на промышленных объектах и полигонах ТКО в нашей стране.

Беспроводная сенсорная сеть представляет собой распределенную, самоорганизующуюся сеть, имеющая датчики и исполнительные устройства, которые объединены радиоканалами.

Покрытие БСС достигает нескольких километров, благодаря возможности ретранслировать сообщения от одного устройства к другому [2, 3].

БСС можно разделить на проводные беспроводные. Очевидно, что это зависит от способа передачи информации от сенсоров к устройствам. Проводные системы питаются от электросети и передают информацию, конечно, по проводам. Беспроводные с помощью радиоканалов, а питание происходит либо от электросети, либо с помощью химических реакций. Так, БСС может быть полностью автономной.

На данный момент наблюдение за состоянием атмосферного воздуха и контроль за чрезвычайными ситуациями, связанными с повышением ПДК, осуществляют проводные системы газового мониторинга. Контроль в этом случае осуществляется с помощью датчиков, установленных на необходимой территории. Очевидно, что недостатком проводной БСС является ее зависимость от электросети, то есть усложняется и замедляется процесс развертывания и установки системы, а также невозможность установить ее в местах, где электросети нет. Именно здесь применение беспроводных БСС является наилучшим решением проблемы. Беспроводные БСС позволят анализировать атмосферный воздух в местах возможных утечек токсичных и горючих газов в рабочих зона, и на селитебных территориях.

Уже сейчас мы можем исследовать положительный зарубежный опыт США, Канады и Китая, которые успешно применяют беспроводные БСС [4]. Так, при поддержке Университета Ватерлоо [5] в Канаде беспроводные сенсорные системы фиксируют количество оксида углерода, азота оксидов серы в воздухе, его запыленность. После получения данных информация передается сфере здравоохранения. Помимо сбора данных, в системе происходит их анализ, предлагаются способы улучшить состояние атмосферы. Эти данные также направляются в сферу здравоохранения. Подобные беспроводные системы существуют и в школах. Датчики расположены внутри и снаружи помещений. Это позволяет незамедлительно анализировать состояние атмосферного воздуха с целью ограждения людей от воздействия вредных веществ [5]. Датчики, собирающие информацию о состоянии атмосферного воздуха, применяются во многих городах Китая. В США такие датчики БСС устанавливают на автомобилях, что позволяет в режиме онлайн получать данные о количестве и составе выбросов. Данные собираются и отправляются на главный сервер, чтобы контролировать ситуацию и оперативно реагировать в случае угрозы [4, 5].

На данный момент существуют новые технологии БСС, базирующиеся на сквозных цифровых технологиях. Мы можем привести в пример онлайн–сервисы, которые собирают информацию с сенсоров, которые устанавливают на дронах, статичном или переносном оборудовании. Такие мобильные системы очень удобны, могут применяться в масштабах одного предприятия или отдельно взятой страны.

Сейчас для контроля содержания токсичных и горючих в атмосферном воздухе, а также недопущения чрезвычайных ситуаций, возникающих из-за превышения ПДК, используют газовые сенсоры, которые в силах давать информацию по целому предприятию. Их главная задача-регистрация и отслеживание состояния атмосферного воздуха. При показателе, выходящем за рамки нормы, сенсоры подают сигнал для дальнейшего принятия мер [2, 6].

В большинстве случаев сенсор представляет слой селективной чувствительности, который реагирует на конкретную составляющую, который подает сигнал, пропорциональный содержанию анализируемого компонента и слой преобразователя сигнала. От того, какой параметр установлен на сенсоре и каков принцип отклика, мы можем классифицировать газовые сенсоры (рисунок).

Чтобы разработать качественные и долговечные сенсоры, необходимо учитывать такие критерии, как малое энергопотребление, высокая чувствительность, селективность, быстрый отклик, стабильность функционирования, продолжительный срок службы, обратимость, небольшие размеры и, конечно, себестоимость.

Электрохимические датчики, в свою очередь, дают возможность измерять концентрацию газа в смеси по значению электрической проводимости раствора, вобравшего газ. Для более конкретных измерений в электрохимические датчики вживляют три электрода: рабочий, вспомогательный, электрод сравнения.

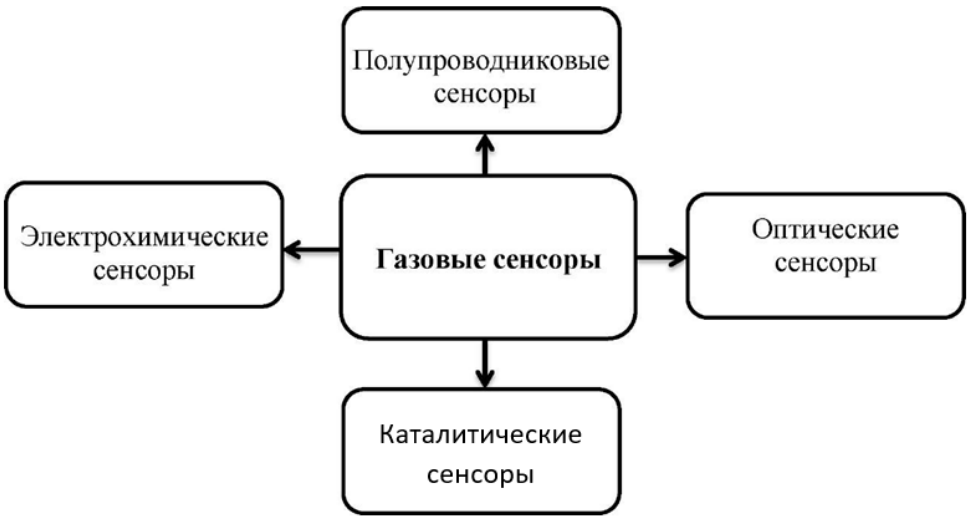


Рисунок. Классификация газовых сенсоров

Существуют также полупроводниковые и каталитические сенсоры – они высокочувствительны, малы в размерах, быстро и безотказно работают, и при этом экономически выгодны при использовании в больших объемах. Именно из-за этих факторов их широко применяют в газоаналитических приборах. Чаще всего эти сенсоры применяют для определения доли химически активных газовых примесей в малых концентрациях, для измерения фонового состава атмосферного воздуха во время отсутствия антропогенных факторов, для мониторинга состава воздуха на крупных предприятиях и в зонах жизни людей.

Теперь обратимся к оптическим датчикам. Это электронные устройства малого размера, которые с помощью электромагнитного излучения в инфракрасном и ультрафиолетовом спектрах способны подавать сигнал или систему сигналов на вход системы. Оптические датчики чувствительны к прозрачным и полупрозрачным предметам, которые человек различают с трудом или не различает – пар, дым, аэрозоли. Эти датчики всегда бесконтактные, так как физический контакт между сенсором и паром, например, невозможен. Эта возможность позволяет устанавливать оптически датчики в автоматизированных системах управления. Плюсом является и широкий радиус действия оптических датчиков по сравнению с другими сенсорами [7].

Преимущество оптических датчиков по сравнению с электрохимическими еще и в их мультиплексности – оптические датчики не подвержены электрическим помехам, поэтому измерения можно проводить при электролизе, в трансформаторах. Иными словами, там, где присутствует сильное электрическое поле, при этом оптическим датчикам не нужен электрод сравнения.

Однако, цена таких сенсоров выше, поскольку они сложны в сборке и требуют точной настройки и калибровки. Также на точность измерений при использовании этих сенсоров влияет качество освещения. При рассеянном свете точность измерений падает. Этот недостаток придется компенсировать установкой дополнительных точечных источников света. Обратимость отходов в жидких пробах зачастую плохого качества, в этом случае необходима систематическая регенерация сенсора. Невозможна долговременная работа сенсора из-за вымывания индикатора, равновесие между определяемым веществом в растворе и иммобилизированным реагентом ведет к сужению рабочего спектра, это, в свою очередь, не относится к ионно–селективным отходам с логарифмической зависимостью сигнал-концентрация [2, 8].

На сегодняшний день на производстве и в городах особое внимание уделяется непрерывному отслеживанию доли газообразных неорганических соединений SO_2, NO, NO_2, CO, а также и NH_3, H_2S и O_3. Очевидно, что контроль именно этих соединений ведется по причине их сильного влияния на окружающую среду и человека. Поэтому существует множество приборов, измеряющих наличие и количество вышеперечисленных соединений.

Кроме «обычных» неорганических соединений – как CO, CO_2, H_2S, NOx, NH_3, на окружающую среду и человека влияют и органические соединения, которые образуются в результате производства на нефтехимических, газовых и целлюлозно–бумажных производствах. Поэтому разработаны сенсоры органических загрязнителей – концерогенные, углеводороды (алканы, алкены, алкины, циклоалканы и др), ароматические углеводороды, предшественники озона, вредные органические соединения, серосодержащие соединения, хлор–органические соединения – C_xH_y Cl, амины [9].

Соответственно, с итогами учета выбросов свалочного газа на полигонах ТКО к критериям, контролируемым БСС мы можем отнести CH_4, NOx, CO_2, H_2S, NH_3 и SO_2. Мы можем перечислить следующие фирмы, производящие электрохимические сенсоры: Winsen (Китай), ООО «Промприбор-Р», ФГУП СПО «Аналит–прибор», АО «ГосНИИхиманаЛит» (Россия), ФАРМЭК (Беларусь) – эти компании представлены на российском рынке. Электрохимические инфракрасные датчики производят компании MRU GmbH (Германия), Ecotech (Австралия). По заявлению производителей, датчики этих компаний имеют большой срок службы.

Таким образом, внедрение и применение БСС для контроля состава атмосферы на предприятиях и полигонах ТКО необходимо, так как дает возможность давать совокупную оценку количества и качества газовых выбросов, не допустить чрезвычайных и аварийных ситуаций, снизить дискомфорт жителей из-за неприятных запахов. БСС дают возможность контролировать состав воздуха в реальном времени, что, в свою очередь, позволяет предупреждать угрозы жизни и здоровью работников и населения. Существует возможность настроить БСС на подачу сигнала при конкретном уровне выбросов, в этом случае оператор будет быстро и своевременно принимать необходимые меры, таким образом можно повысить уровень безопасности на полигонах ТКО. Применение беспроводных сенсорных систем на производстве и полигонах ТКО обеспечивает своевременное, оперативное выявление проблем, позволяет принимать меры их профилактики и предотвращения. Это, в свою очередь, помогает обезопасить окружающую среду и человека, снизить негативные воздействия и их последствия.

Беспроводные сенсорные системы имеют ряд преимуществ перед проводными, так как их можно перемещать по эксплуатируемой территории, устанавливать в необходимых местах, менять местоположение, анализировать состав атмосферного воздуха на большой площади. Многие БСС ниже по стоимости, чем проводные системы, требуют меньше времени и ресурсов на установку и обслуживание.

Все вышесказанное подтверждает, что использование БСС – современное, технологичное решение обеспечения экологической безопасности окружающей среды и человека.

Список использованных источников

1. Российские предприятия сократили в 2022 году выброс в атмосферу загрязняющих веществ объектах. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://tass.ru/obschestvo/18791145 (дата обращения: 10.12.2023).
2. Разработка беспроводной сенсорной системы мониторинга токсичных и горючих газов в воздушной среде на промышленных объектах. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.dissercat.com/content/razrabotka–besprovodnoi–sensornoi–sistemy–monitoringa–toksichnykh–i–goryuchikh–gazov–v–vozdu?ysclid=lrer4vgzb9369518976 (дата обращения: 10.12.2023).
3. Меркушев А.Д., Кувшинников Д.Н. Мониторинг загрязнения воздушной среды // Самарский государственный технический университет. – 2020. – №. 8. – С. 2–15.
4. Anand Jayakumar A., Praviss Yesyand T.K., Venkstesh Prashanth K.K., Ramkumar K. IoT Based Air Pollution Monitoring System // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). – 2021. – Vol. 08. – № 3. – Pp. 2458–2462.

5. Bublitz M., Oetomo F., Sahu K. S., Kuang A., Fadrique L. X., Velmovitsky P. E., Nobrega R. M., Morita P. P. Disruptive Technologies for Environment and Health Research // Int J Environ Res Public Health. – 2019. – Vol. 11. – Pp. 1013–1022.
6. Your Professional Air Data Expert. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://iaqtongdy.com/ambient–air–monitoring/ (дата обращения: 15.12.2023).
7. Устройство дистанционного контроля атмосферы [Текст]: пат 2226269 Рос. Федерация: МПК G01N 21/35 / Астапов В.Н.: заявитель и патентообладатель Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королева. – № 2002110036/28, заявл. 2002.04.16, опубл. 2004.03.27.
8. Классические загрязнители атмосферного воздуха (взвешенные вещества, диоксид серы, оксид азота, оксид углерода). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studfile.net/preview/8611940/page:3/ (дата обращения: 08.01.2024).
9. Автоматический мониторинг атмосферного воздуха и выбросов предприятий. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://meco.rk.gov.ru/file/19avtomaticheskiy_monitoring_atmosfernogo_vozduha__i_vibrosi_predpriyatiy.pdf (дата обращения: 08.01.2024).

УДК 504.064.3

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЫБРОСОВ ДУРНОПАХНУЩИХ ВЕЩЕСТВ

***Кострыкина А.А.*[1]** *(студент),* ***Сергиенко О.И.*[1]**
***Научный руководитель – к.т.н., доцент Сергиенко О.И.*[1]**

1 – Университет ИТМО

e-mail: anast.kostrykina@yandex.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №623113 «Экотехнологии для защиты окружающей среды».

В статье рассмотрены существующие инструментальные методы измерения дурнопахнущих веществ (ДПВ): газовая хроматография-ольфактометрия, динамическая ольфактометрия, электронный нос (E-Nose); выявлены слабые и сильные стороны каждого метода. Проанализированы результаты исследований по применению искусственного интеллекта для прогнозирования выбросов ДПВ и классификации запахов. Приводится оценка состояния развития данной научной области в зарубежной практике.

Ключевые слова
Дурнопахнущие вещества, искусственный интеллект, мониторинг, прогнозирование, ольфактометрия.

В загрязняющих атмосферный воздух выбросах могут находиться вещества, обладающие неприятным запахом. Эти вещества могут распространяться на значительные расстояния и способны вызывать различные проблемы для здоровья людей, включая раздражение дыхательных путей, аллергические реакции, проблемы с дыханием и другие серьезные заболевания. При соблюдении предельно допустимых концентраций (ПДК) эти вещества не являются смертельно опасными для человеческого организма, но вызывают раздражительность, тем самым доставляя дискомфорт и нарушая обычный ход жизни человека.

Дурнопахнущие вещества (ДПВ), такие как сероводород, аммиак, метантиол, этантиол, хлор, оксид серы и др., образуются в результате различных промышленных процессов, сжигания топлива и сельскохозяйственной деятельности. Поиск и создание оптимальных технологии по очистке выбросов от таких веществ в атмосферу являются актуальной задачей на сегодняшний день, так как качество жизни населения – один из важнейших факторов устойчивого развития.

Для детекции ДПВ принято использовать следующие инструментальные методы: газовая хроматография-ольфактометрия, динамическая ольфактометрия, электронный нос (E-Nose). Газохроматографический анализ с ольфактометрическим детектированием (GC-O) объединяет традиционный газовый хроматографический (ГХ) анализ с обонянием человека для обнаружения летучих органических соединений, элюирующих после ГХ-разделения [1]. В частности, GC-O включает в себя систему газовой хроматографии-масс-спектрометрии (ГХ-МС), оснащенную портом обонятельной детекции: в конце колонки ГХ элюируемый поток делится на равные порции между детектором МС и обонятельным портом. На рисунке 1 показана схема для проведения газохроматографического анализа с ольфактометрическим детектированием [7].

Главными достоинствами метода можно назвать высокую чувствительность, возможность идентификации соединений и способность «отсеивания» попутно извлеченных соединений. Основные недостатки: необходимость довольно продолжительного обучения дегустаторов, длительность проведения анализа.

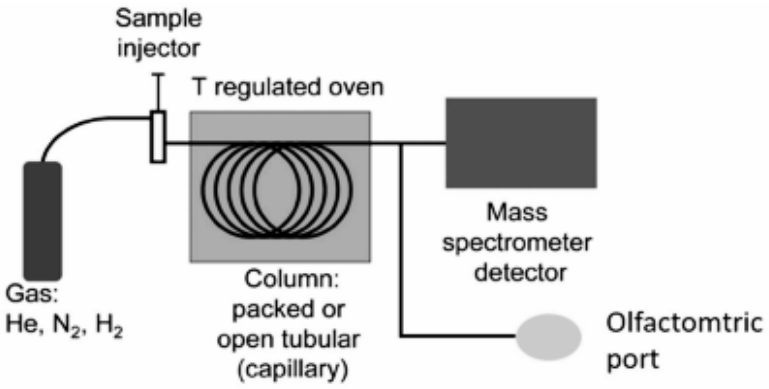


Рис. 1. Схематическое изображение оборудования для GC-O

Динамическая ольфактометрия – это сенсорный метод, соответствующий европейскому стандарту EN 13725:2003 [2] и позволяющий определить концентрацию запаха в образце, ссылаясь на ощущения, которые он вызывает у группы специально отобранных людей, непосредственно подвергшихся воздействию этого запаха. Достоинства метода заключаются в том, что он предоставляет объективную информацию об интенсивности запаха и исходные данные для оценки воздействия запахов на граждан. Это самый распространенный способ во многих странах [1]. Основные недостатки: прерывистость измерений, невозможность использования для постоянного мониторинга выбросов запахов; определение только количественной характеристики запахов, невозможность использования для идентификации запахов или различения их друг от друга.

E-Noses – это приборы, предназначенные для имитации обоняния при обнаружении и определении характеристик простых или сложных запахов. Эти приборы позволяют характеризовать смеси органических образцов как единое целое, предоставляя их обонятельный отпечаток, но не распознавая отдельные как это делает человеческий нос [3, 4]. На рисунке 2 изображена взаимосвязь человеческого и электронного носа [7].

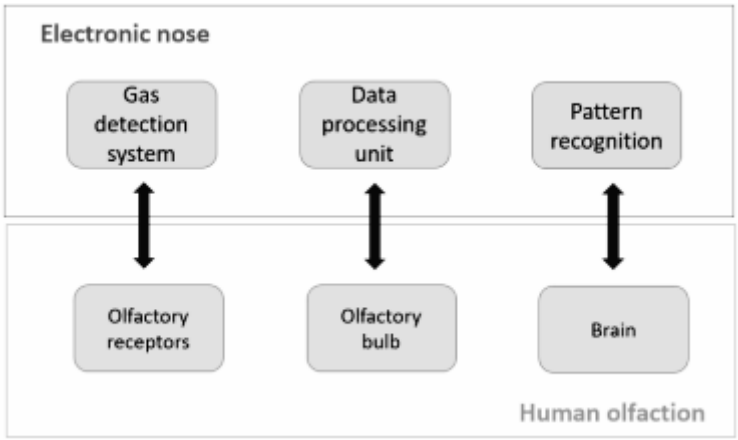


Рис. 2. Связь электронного носа и человеческого

Зачастую искусственный интеллект применяется для обработки результатов измерений инструментальными методами. Однако в последние годы ученые ставят перед собой цель обучить модели предсказывать выбросы дурнопахнущих веществ.

Google разработал искусственный интеллект для анализа запахов на основе графовой нейронной сети (GNN). По структуре химической молекулы он может описать запах. Такая модель превосходит людей (ольфактометрию) по распознаванию химических молекул на 53% и дескрипторов запахов – 55%.

В GNN структуры химических молекул анализируются и интегрируются для формирования графа, представляющего всю молекулу. Далее модель оценивает запах через слой прогнозирования и выводит соответствующие дескрипторы [8]. На рисунке 3 представлена схема работы GNN структуры [8].

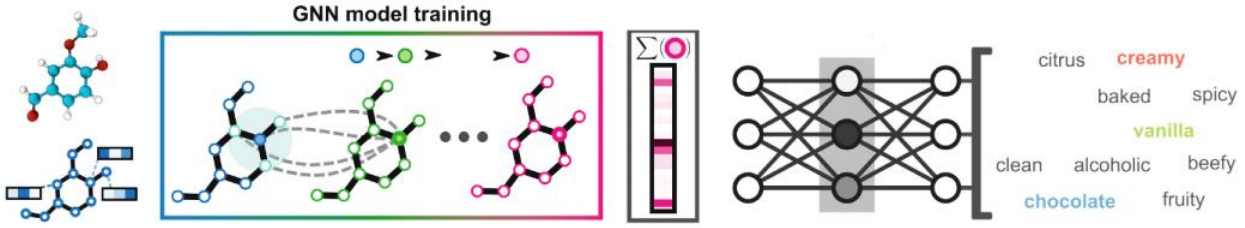


Рис. 3. Схема работы GNN структуры

В работе Бланко-Родригез [9] приводится применение ИИ для анализа выбросов на водоочистных сооружениях, где качество воды в стоке контролируется ежедневно с помощью хорошо отлаженной системы приборов. Параметры качества воды, включая биологическую потребность в кислороде, общее количество взвешенных веществ и окислительно-восстановительный потенциал, контролируются непрерывно. Эти параметры не связаны напрямую с выделением запаха, но они влияют на активность микроорганизмов и образование запаха. Поэтому невозможно предсказать концентрацию запаха на основе данных о качестве воды с помощью статистических оценок, таких как регрессионный анализ.

Помимо попыток прогнозирования выбросов, множество работ посвящено проблемам классификации запахов, т. е. определению источников выделения запахов. Применяемые модели не предсказывают интенсивность или концентрацию запаха, но обладают интересными возможностями для прогнозирования характеристик запаха на основе функциональных групп или лигандов [10] и восприятия человеком запахов по спектру газовой хроматографии [11], а также для определения единиц запаха на основе химического состава газов [12].

Таким образом, можно сделать вывод, что методы прогнозирования выбросов дурнопахнущих веществ с применением искусственного интеллекта сегодня находят достаточно широкое применение в зарубежной практике. Однако несмотря на научный интерес к данной области, существует недостаточно методов для прогнозирования концентрации ДПВ, что ограничивает применение искусственного интеллекта для управления процессами очистки газовых выбросов. Большинство исследований направлено на классификацию запахов и попытки прогнозирования по наблюдаемым экспериментальным путем зависимостям, что не всегда соответствует реальной картине, так как многие источники выбросов ДПВ выделяют смеси газов, которые не являются стационарными и воспринимаются каждым человеком индивидуально. Очевидно, что на данном этапе развития применения искусственного интеллекта для прогнозирования выбросов ДПВ, целесообразным решением будет определение источников запаха и принятие мер для их снижения.

Список использованных источников

1. Delahunty C.M., Eyres G., Dufour J.P. Gas chromatography-olfactometry // Journal of Separation Science. – 2006. – Vol. 29. – №. 14. – Pp. 2107–2125.
2. Standard EN 13725:2003. Air Quality-Determination of Odour Concentration by Dynamic Olfactometry – CEN: Brussels, Belgium, 2003. [Electronic resource]. – Access mode: https://s.siteapi.org/b1502e229a03ef7.ru/docs/djvkf84k1t4owwco0cwocco4oco8ww (date of access: 12.12.2023).
3. Ramgir N.S. Electronic nose based on nanomaterials: Issues, challenges, and prospects // International Scholarly Research Notices. – 2013. – Vol. 2013. DOI: 10.1155/2013/941581.
4. Hu W. et al. Electronic noses: from advanced materials to sensors aided with data processing // Advanced Materials Technologies. – 2019. – Vol. 4. – №. 2. – P. 1800488.
5. Lantto V., Rantala T.T., Rantala T.S. Atomistic understanding of semiconductor gas sensors // Journal of the European Ceramic Society. – 2001. – Vol. 21. – №. 10-11. – Pp. 1961–1965.
6. Elosua C. et al. Volatile organic compound optical fiber sensors: A review // Sensors. – 2006. – Vol. 6. – №. 11. – Pp. 1440–1465.
7. Bax C., Sironi S., Capelli L. How can odors be measured? An overview of methods and their applications // Atmosphere. – 2020. – V. 11. – №. 1. – P. 92.

8. Lee B.K. et al. A principal odor map unifies diverse tasks in olfactory perception // Science. – 2023. – V. 381. – №. 6661. – Pp. 999–1006.
9. Blanco-Rodríguez A. et al. Development of an electronic nose to characterize odours emitted from different stages in a wastewater treatment plant //Water research. – 2018. – V. 134. – Pp. 92–100.
10. Pelosi P., Zhu J., Knoll W. From gas sensors to biomimetic artificial noses // Chemosensors. – 2018. – V. 6. – №. 3. – P. 32.
11. Nozaki Y., Nakamoto T. Odor impression prediction from mass spectra // PLoS One. – 2016. – V. 11. – №. 6. – P. e0157030.
12. Shang L. et al. Machine-learning-based olfactometer: prediction of odor perception from physicochemical features of odorant molecules // Analytical chemistry. – 2017. – V. 89. – №. 22. – Pp. 11999–12005.

УДК 502.57

ПРОБЛЕМЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ В ЯМАЛО-НЕНЕЦКОМ АВТОНОМНОМ ОКРУГЕ

***Костяная Н.А.*[1]** *(студент)*
***Научный руководитель – к.т.н., доцент Молодкина Н.Р.*[1]**

1 – Университет ИТМО

e-mail: nina2000kos@mail.ru

Статья посвящена изучению и анализу проблем, препятствующих проведению эффективной микробиологической рекультивации в выбранном северном регионе Российской Федерации. Рассматриваются физико-географические особенности региона: климат, почвенный состав, вегетационный период, а также приводится статистика происходящих в регионе нефтеразливов. Проведен анализ применяемых методов рекультивации.

Ключевые слова
Рекультивация, нефтеразливы, почвенный покров, биотехнологии, загрязнение почвы.

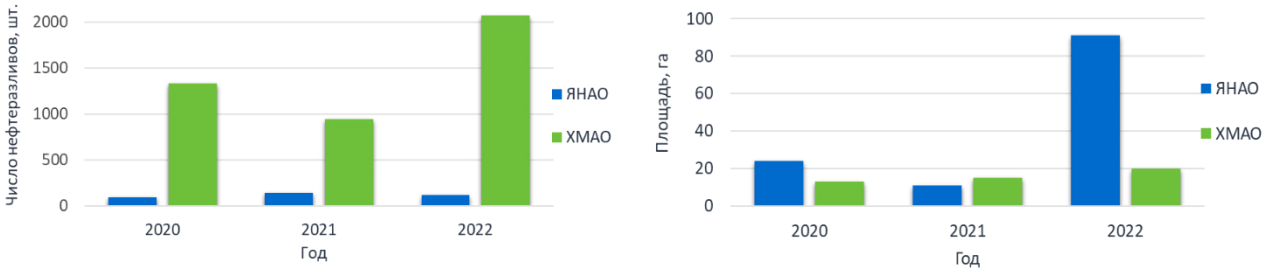
В настоящее время основной из отраслей экономики Российской Федерации является нефтегазодобывающая отрасль. По объемам добычи углеводородов лидирующее место в стране занимает Западная Сибирь. Одним из регионов с крупнейшими запасами углеводородного сырья является Ямало-Ненецкий автономный округ (далее ЯНАО) [1]. На данный момент в ЯНАО ежегодная доля добычи отечественного природного газа составляет 81% (что является 1/5 частью от мировой добычи газа), нефти – 6% и газового конденсата – 77%. Лидирующую позицию регион занимает по запасам и объемам добычи природного газа, что касается запаса жидких углеводородов (нефти и конденсата), то округ занимает второе место после Ханты-Мансийского автономного округа. В общей сложности в округе идет разработка 93-х месторождений из 234 [2].

Территория ЯНАО обладает суровыми климатическими условиями. Регион расположен в арктической зоне Западно-Сибирской равнины, более половины округа расположено за Полярным кругом. В целом, для округа характерна длительная зима (до 8 месяцев) и короткое лето (от 50 дней на севере и до 120 дней на юге). Средняя температура января в регионе колеблется: от –24°С в районе Нового Порта до –27°С на Тазовском и Гыданском полуостровах; в июле температура составляет: от +3,4°С (в северной части полуостровов Ямал, Гыданский и островов Карского моря) до +16°С (на юге округа). Среднегодовая температура — отрицательная, на Крайнем Севере достигает −10°С [3].

Актуальность проблемы восстановления нефтезагрязненных территорий в регионе возрастает в связи с происходящими ежегодно разливами нефтепродуктов. В большинстве случаев их причинами является коррозия элементов трубопровода.

По числу нефтеразливов ЯНАО занимает второе место, а по площади нефтезагрязненных территорий третье после Коми и Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО). На рисунке 1 представлены графики сравнения количества нефтеразливов и их площадей в ЯНАО и ХМАО. Из них видно, что, несмотря на большее количество нефтеразливов в ХМАО, наибольшую экологическую нагрузку оказывает ЯНАО в связи с большей площадью нефтеразливов, особенно в последние годы [4, 5, 6].

Следующий важный фактор, который необходимо учитывать при оценке возможности проведения биологической рекультивации, это вегетационный период территории. Вегетационного период – это оптимальный период для роста и активного развития растений в определенных климатических условиях, а также в это время микробиологическая рекультивации проходит наиболее эффективно [7].



а б

Рис. 1. Графики количества и площади нефтеразливов в ХМАО и ЯНАО:
а – число нефтеразливов, б – площадь нефтеразливов

На рисунке 2 приведен составленный нами график средней температуры в городе Надым в период с июня по сентябрь, из которого видно, что вегетационный период довольно короткий, и составляет около 44 суток [8]. Такого количества дней обычно недостаточно для проведения эффективной биорекультивации. Помимо этого, он не стабилен, так как во время него возможно понижение температуры, что осложняет проведение рекультивации, так как замедляется жизнедеятельность организмов.

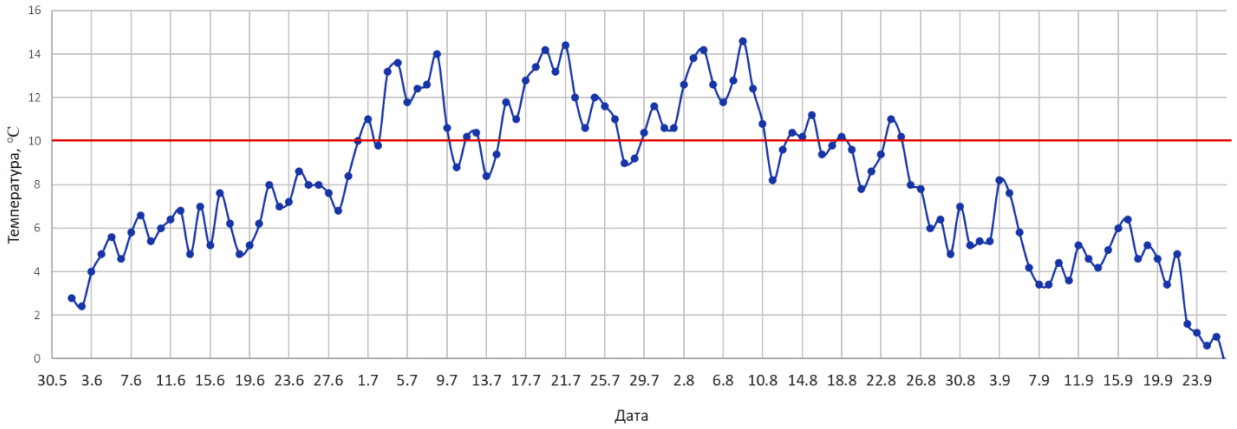


Рис. 2. График средней температуры в г. Надым за 2018–2023 гг.

Еще одним важным фактором для проведения рекультивации является тип рекультивируемой почвы. Самыми распространенными типами в регионе являются: тундровые глеевые торфянистые и торфяные, торфянисто и торфяно-глеевые болотные и почвы пятен, торфяные болотные переходные и торфяные болотные деградирующие (минерализующиеся), пойменные кислые и подзолы иллювиально-гумусовые. Такие почвы характеризуются неблагоприятными водным, воздушным, тепловым режимами и условиями снабжения питательными веществами, а также кислой реакцией среды. Они обладают низкой способностью к самовосстановлению, скудным содержанием основных биогенных элементов и крайне медленной трансформацией растительной органики, что обуславливает низкую продуктивность биоценозов [9].

Еще одной проблемой является ограниченное количество методов рекультивации, так как некоторые методы не рекомендовано применять в условиях северных регионов. Так, например, удаление нефтезагрязненного почвогрунта в условиях севера недопустимо из-за образования термокарстовых оттаек; срезка земель может вызвать искажение морфологической структуры обрабатываемого участка и изменение гидрологического режима территории, а засыпка и захоронение загрязненных грунтов – может вызвать поднятие загрязнения вместе с грунтовыми водами [10].

Суммируя все сказанное ранее, применение микробиологического метода ограничивается следующими аспектами:

- низкие температуры – приводят к промерзанию почвы, что осложняет выполнение технических работ, и сдвигает проведения биологического этапа на летний период;

- короткий и нестабильный вегетационный период – снижает способность к самоочищению почвы из-за низкой активности микроорганизмов;
- обедненные почвы и их высокая кислотность – обязывают к проведению мероприятий по раскислению и внесению удобрений;
- ограниченное количество методик – не все методики можно использовать в арктической зоне.

Нами были проанализированы существующие подходы к рекультивации в исследуемом регионе, а также проведен поиск осуществленных рекультиваций. В результате было определено, что в большинстве случаев нефтезагрязнений рекультивация не проводится, а если проводится, то с применением неподходящих методик. Были найдены примеры проведения рекультивации компанией «Ноябрьскнефтегаз». Например, один из используемых методов предполагал проведение рекультивации путем перемешивания нефтезагрязненного грунта с цементом и песком, а после наносился плодородный слой [11]. В другом случае проводилось снятие нефтезагрязненного слоя и укладка нового с посевом многолетних трав [12]. Из этого можно сделать вывод о том, что применяются экологически небезопасные методы, создающие риски повторного загрязнения грунта нефтепродуктами и компонентами цементной смеси, а также нарушается структура природных почв.

Таким образом, несмотря на существующие ограничения предлагается применение микробиологической рекультивации в условиях исследуемого региона, как наиболее щадящего метода. Однако для его применения необходимо научиться создавать условия, при которых он сможет эффективно осуществляться. Достичь этого можно применением штаммов, устойчивых к низким температурам и их колебаниям, или использованием более интенсивных методов для очистки почвы, например биореакторов.

Список использованных источников

1. Как добывают нефть в России. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rsm-mash.ru/kak-dobyivayut-neft-v-rossii.html/ (дата обращения: 23.01.2024).
2. ЯМАЛ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://yanao.neftegaz.ru/history/ (дата обращения: 23.01.2024).
3. Шеломенцев А.Г. Подходы к оценке ущерба экономике лесными пожарами, возникающими вследствие изменения климата (на примере ХМАО, ЯНАО) // Вестник Челябинского государственного университета. – 2022. – №. 12(470). – С. 45–54.
4. Доклад «Об экологической ситуации в Ямало-Ненецком автономном округе в 2022 году». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dprr.yanao.ru/documents/active/273069/ (дата обращения: 24.01.2024).
5. Доклад «Об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе в 2022 году». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://prirodnadzor.admhmao.ru/upload/iblock/307/7tkf0i8mn4w02cx3gv46iri6jujey37z/Doklad-KHMAO_YUGRA-2022..pdf/ (дата обращения: 24.01.2024).
6. Отчет по форме 2-ТП (рекультивация) за 2022 год. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/land-recultivation/ (дата обращения: 24.01.2024).
7. Максимова Н.Б. Динамика продолжительности вегетационного периода и ее влияние на хозяйственную деятельность человека за последние 50 лет (на примере Алтайского края) // Историческая география России: ретроспектива и современность комплексных региональных исследований (100-летие завершения издания томов серии "Россия. Полное географическое описание нашего Отечества): материалы V международной конференции по исторической географии. – 2015. – С. 172–175.
8. Архив погоды в Надыме. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://nadym.nuipogoda.ru/ (дата обращения: 24.01.2024).
9. Проект рекультивации нарушенных земель. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://yangpur.ru/upload-files/zayavki/z_2038.pdf/ (дата обращения: 24.01.2024).

10. Телеснина В.М. Проблемы устойчивости арктических почв и биоремедиации нефтезагрязнений // Арктика 2035: актуальные вопросы, проблемы, решения. – 2021. – №. 1(5). – С. 48–53.
11. Ноябрьскнефтегаз приступил к реализации очередного этапа рекультивации земель. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://noyabrsk.bezformata.com/listnews/noyabrskneftegaz-pristupil-k-realizatcii/11011068// (дата обращения: 12.02.2024).
12. Нефтяники провели первый этап рекультивации разлива на месторождении в ЯНАО. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pravdaurfo.ru/novost/396332-neftyaniki-proveli-pervyj-etap-rekultivaczii-razliva-na-mestorozhdenii-v-yanao/ (дата обращения: 12.02.2024).

УДК 62-529

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS IN THE SELECTION OF DRILLING FLUID FORMULATIONS AND MONITORING THE CONDITION OF THE WELL DURING DRILLING

Kutko D.[1] *(student),* ***Agafonov A.***[1] *(student),* ***Sergienko O.***[1]

1 – ITMO university

e-mail:kutkodanil1380@gmail.com

Typically, the composition of drilling fluid, its property determination, performance in the well, and its correlation with other wellbore drilling parameters involve a complex interplay of factors. Extracting valuable insights from data related to these parameters for establishing functional relationships demands sophisticated modeling techniques, along with human intuition and expertise. Artificial intelligence (AI) methods have demonstrated effectiveness in addressing challenges associated with collecting geological data and formulating drilling fluid compositions. This study aims to assess existing AI methods and their application in the development of drilling fluids. The planned analysis will focus on various AI methods, including artificial neural networks (ANN), fuzzy logic, support vector machines (SVM), hybrid intelligent systems (HIS), genetic algorithms (GA), case-based reasoning (CBR), and particle swarm algorithm (PSA).

Keywords

Drilling fluid, Artificial neural network, Fuzzy logic, Case based reasoning, Hybrid intelligent systems, Genetic algorithm, Particle swarm algorithm.

Within the oil and gas industry, drilling poses numerous challenges, encompassing issues like borehole instability, loss of circulation, impacts, emissions, and pipe entanglement. Drilling mud plays a crucial role, either directly or indirectly, in contributing to or mitigating these challenges.

An effective strategy to prevent drilling issues involves the judicious selection of drilling fluids, often based on data analysis derived from previous well-drilling experiences in relevant regions. However, the development of drilling fluids with optimal parameters, the resolution of wellbore problems, and the prevention of fluid loss necessitate thorough analysis and decision-making. In the current context, artificial intelligence (AI) methods offer numerous advantages. These include, but are not limited to:

1. *Preserving Institutional Knowledge:* AI facilitates the transfer of decision-making processes to a more reliable domain, as the accumulated knowledge remains within the company indefinitely.
2. *Enhanced Predictive Abilities:* AI aids in predicting situations with intricate relationships between input and output parameters, minimizing calculation errors and improving overall accuracy.
3. *Rapid Data Processing:* AI has the capability to process vast amounts of data within short time intervals, providing a distinct advantage over human capabilities. This rapid processing ability reduces decision-making time, fostering greater efficiency and increased earnings for oil companies.
4. *Labor Cost Savings:* AI has the potential to partially replace regular employees, leading to cost savings on salaries while maintaining or even improving operational efficiency.

The criteria for selecting artificial intelligence methods were as follows:

1. *Resistance to interference.*
2. *Self-organization* (i.e., the ability to automatically plan, configure, manage, optimize and restore oneself).
3. *The ability to generalize* (Generalization refers to the ability of a model to properly adapt to new, previously invisible data obtained from the same distribution as when creating models).
4. Requirements for *data volume.*

5. Requirements for *convergence rate* (to “converge” in machine learning means to have an error as close as possible to a minimum; when the model “converges", there is usually no significant error reduction/performance increase anymore).

The following are the methods of artificial intelligence that are most often used in drilling and development of drilling fluids, specific problems that can be solved by using these methods with links to studies of this method by other authors.

1. Artificial neural network (ANN).

Artificial neural networks (ANNs) represent a type of artificial intelligence that has demonstrated significant proficiency in addressing numerous intricate engineering challenges exceeding the computational capacity of conventional mathematics and established procedures. For a comprehensive understanding of the foundational aspects of ANNs, Petrus et al. (1995) offers an insightful read.

Key observations from the summary include:

1) approximately 90% of researchers undertook studies with multiple inputs and a single output, whose works involved 2, 7, and 4 outputs, respectively. This highlights the versatility of ANNs in modeling parameters with multiple outputs [1];
2) the most commonly used performance evaluation criterion is the R^2 value, with an average R^2 value across the reviewed research works approximately at 0.939, indicating a consistently strong model performance;
3) the predominant aspects of mud engineering where ANNs were applied are the prediction of stuck pipe and lost circulation, accounting for approximately 18% and 15% of the research efforts, respectively. Given that lost circulation is identified as the costliest mud-related problem and stuck pipe issues can constitute over 40% of total well costs in certain regions, this emphasizes the significance of prediction studies on these issues using ANN;
4) most authors utilized datasets extracted from open literature to construct their network models.

In addition to the aforementioned key areas, an aspect worthy of consideration is the AI software utilized by each researcher for tackling the specific drilling fluid-related challenges under investigation. Notably, there exists a plethora of ANN software options designed for industrial applications.

It is noteworthy that a majority of the researchers opted for the neural network toolbox within the MATLAB software for their studies. Furthermore, many of these researchers employed the backpropagation (BP) algorithm for training the networks.

Given that the researchers primarily used only two neural network software options in their studies, it may be somewhat premature to draw definitive conclusions regarding the recommended software for addressing the wellbore challenges outlined in this work. However, from the standpoint of popularity among the authors, the MATLAB software emerges as the top recommendation. While the reasons for this choice are not explicitly provided by the authors, it is worth noting Schultz's perspective, a researcher at Halliburton, who attests to the real benefits of using MATLAB software, citing ease of simulation, provision of accurate production-standard algorithms, and significant time savings (Mathworks, online).

2. Fuzzy logic.

Fuzzy Logic (FL) is a computational paradigm that relies on degrees of truth rather than rigid true or false values. Within this framework, the FL tool functions as a mechanism that takes inputs and produces outputs according to specified rules and membership functions. A review of existing literature highlights the successful application of fuzzy logic in tasks such as learning, prediction, and control.

3. Hybrid intelligent systems.

Hybrid intelligent systems are not a separate method in the strict sense but are a combination of two or more artificial learning methods at the same time. The combination of several methods allows you to combine their advantages and mitigate their disadvantages. For example, systems with confusing logic have a higher convergence rate and their combined use by artificial neural networks helps to increase the convergence rate of the entire system. This case will be described below.

4. Genetic algorithms (GA).

The GA operation commences with the establishment of an initial population, determined either randomly or through the use of heuristics. The fitness function assesses the members of the population,

and subsequent rankings are based on their performances. Once all population members are evaluated, lower-ranked chromosomes are excluded, and the remaining population is utilized for reproduction—a prevalent approach in GA. Alternatively, a pseudo-random selection scheme can be employed, allowing lower-ranked chromosomes a chance for reproduction.

The crossover step randomly selects two members of the remaining population (the fittest chromosomes), exchanging and mating them. The final step involves mutation, where a random mutation occurs on a gene of a chromosome. Mutation is crucial in GA as it ensures exploration of every region in the problem space. Elitism is employed to safeguard the best solution in the population from being lost during crossover and mutation operations. This ensures that the fitness of the new generation is at least as good as the current generation.

The process of evaluating and generating new populations continues until either the maximum number of generations is reached, or the optimum solution is found. GA is advantageous due to its limited parameter settings and its ability to initialize from a range of possible solutions rather than a single solution. However, a notable drawback is the lack of rapid convergence toward optimal values, given the random nature of the crossover and mutation processes.

GA finds applications in diverse fields such as scheduling, machine learning, robotics, signal processing, business, mathematics, manufacturing, routing, and various other domains.

The Genetic Algorithm (GA), introduced by John Holland in 1975, is an optimization algorithm inspired by the mechanisms of natural selection. The fundamental concept underlying GA is to emulate the principle of 'survival of the fittest,' simulating processes observed in natural systems where the strong adapt and survive, while the weak tend to perish. GA employs a population-based approach, ranking individuals within the population based on the fitness of their solutions [2].

In GA, a new population is created using specific genetic operators such as crossover, reproduction, and mutation. The population can be represented as a set of strings, referred to as chromosomes. In each generation, a new chromosome, or member of the population, is generated by drawing on information from the fittest chromosomes of the previous generation. GA initiates with an initial population of feasible solutions and combines them to guide the search towards more promising areas of the search space.

Each feasible solution is encoded as a chromosome, also known as genotype, and each chromosome is assigned a fitness value through a fitness function (evaluation or objective function). The fitness function value of a chromosome determines its ability to survive and reproduce. A higher fitness value indicates a better solution for maximization, whereas a lower fitness value indicates a better solution for minimization problems.

A standard GA comprises five main components: a random number generator, a fitness evaluation unit, a reproduction process, a crossover process, and a mutation operation. The reproduction process selects the fittest candidates from the population, while crossover involves combining the fittest chromosomes to pass superior genes to the next generation. Mutation introduces changes to some of the genes in a chromosome, contributing to the diversity of the population.

5. Support vector machines (SVMs).

A Support Vector Machine (SVM) is a machine learning algorithm that employs supervised learning models to address intricate classification, regression, and outlier detection challenges. It accomplishes this by executing optimal data transformations to establish boundaries between data points based on predefined classes, labels, or outputs. SVMs find extensive applications across various domains, including healthcare, natural language processing, signal processing, and speech and image recognition.

From a technical standpoint, the primary goal of the SVM algorithm is to identify a hyperplane that effectively separates data points belonging to different classes. The hyperplane is positioned to maximize the margin, ensuring the greatest possible distance between the classes in consideration. This margin is the gap between the closest data points of each class to the hyperplane, and SVM aims to find the hyperplane that maximizes this separation, making it a robust tool for classification tasks.

The margin denotes the maximum width of the slice running parallel to the hyperplane without encompassing any internal support vectors. While Support Vector Machines (SVMs) are inherently designed for binary classification problems, the escalating prevalence of computationally intensive

multiclass problems has led to the development of strategies where multiple binary classifiers are constructed and combined. This amalgamation enables SVMs to effectively address and implement multiclass classifications through a series of binary decisions. The combination of these binary classifiers enhances the versatility of SVMs, allowing them to handle complex and diverse classification scenarios.

6. Particle swarm algorithm.

Particle Swarm Optimization (PSO) is a population-based optimization technique that operates with multiple particles forming a swarm, where each particle represents a candidate solution. The swarm of particles collaborates simultaneously, with each particle navigating through a search area in search of the optimal solution. The search area encompasses the set of possible solutions, and the swarm of flying particles collectively represents the changing solutions.

Across generations or iterations, each particle keeps track of its personal best solution (optimum) and the best solution within the entire swarm. The particle then adjusts two key parameters: flying speed (velocity) and position. This adjustment is dynamic, with each particle adapting its flying speed based on its individual flying experience and that of its neighbors. Similarly, the particle attempts to change its position using information such as its current position, velocity, the distance between the current position and its personal optimum, and the distance between the current position and the swarm's optimum.

The swarm of particles continues to move through the search space until it converges towards a promising area, ultimately reaching the global optimum that solves the optimization problem. The PSO algorithm is mathematically defined by various parameters and equations that govern the behavior of the particles as they explore the solution space and converge towards the optimal solution. These mathematical models guide the iterative process of updating particle positions and velocities, allowing the swarm to efficiently search for and find optimal solutions.

Within the scope of the seven AI techniques explored in this study, the inquiry arises whether any of them can be deemed 100% flawless and universally suitable across all circumstances [3].

Table provides a summary of the strengths and weaknesses associated with some AI techniques. Specifically, the strengths and weaknesses of four techniques—ANN, fuzzy logic, SVM, and GA—are benchmarked across six criteria: robustness against noise, convergence speed, susceptibility to overfitting, data volume requirements, ability to self-organize, and generalization ability. Notably, ANN, fuzzy logic, SVM, and GA exhibit robustness against noise. Fuzzy logic outperforms ANN, SVM, and GA in convergence speed. Both ANN and SVM demonstrate generalization ability, with ANN possessing the additional capability to self-organize but requiring substantial data for predicting complex phenomena, while SVM performs well with smaller data volumes.

Table

Summary of the strengths and weaknesses of various AI techniques

Benchmark	ANN	FUZZY	SVM	GA
Robustness against noise	High	High	High	High
Speed of convergence	–	Fast	–	Slow
Prone to overfitting?	Yes, but depends on how the training is done	–	No	–
Data Requirements	Huge data required	–	Small data required	–
Self-organization	Yes	–	-	No
Ability to generalize	Yes	–	Yes	–

To assess the efficacy of various AI techniques, several researchers have undertaken comparisons involving one or two of these techniques.

The findings related to artificial intelligence applications in wellbore drilling fluid programs include:

1. The volume of research papers reflects the significance and growth of artificial intelligence in mud engineering. Based on the content analysis of available literature covering various AI applications in mud engineering, an approximate breakdown indicates that about 54% of papers are associated with Artificial Neural Networks (ANN), 22% with Support Vector Machines, around 6% with Hybrid Intelligent Systems, slightly over 8% dedicated to Fuzzy Logic, 3% to Genetic Algorithms, about 6% to Case-Based Reasoning (CBR), and around 1% to Particle Swarm Algorithms [4].
2. Lost circulation and downhole mud density predictions emerged as the most researched aspects of mud engineering in the reviewed literature, highlighting their critical importance in wellbore drilling.
3. Artificial intelligence techniques exhibit unique approaches in acquiring, representing, storing, applying, adapting to new problems, and handling variability. Consequently, selecting the most suitable technique for predicting different phenomena within the wellbore drilling fluid program is crucial.
4. Artificial Neural Networks with multiple inputs and single outputs are the most commonly employed AI technique in mud engineering. However, in scenarios involving multiple inputs and outputs, other architectures may be applicable.
5. Given the abundance of data, careful selection of the most crucial parameters is necessary to reduce dataset size, enhancing predictive model performance. Data pre-processing steps, such as normalization, play a pivotal role in boosting the effectiveness of AI models.
6. Some researchers propose hybrid systems as robust solutions to address and overcome limitations present in other AI techniques, showcasing their potential in enhancing overall performance.

References

1. Shadravan M. Tarrahi M. Amani. Intelligent tool to design fracturing, drilling, spacer and cement slurry fluids using machine learning algorithms // SPE Kuwait Oil and Gas Show and Conference, Kuwait. – 2015. – №. 189. – 20 p.
2. Elkatatny S., Tariq Z., Mahmoud M. Real time prediction of drilling fluid rheological properties using artificial neural networks visible mathematical model (white box) // J. Petroleum Sci. Eng. – 2016. – №. 146. – Pp. 1202–1210.
3. Rooki R., Ardejani F.D., Moradzadeh A., Kelessidis V.C., Nourozi M. Prediction of terminal velocity of solid spheres falling through Newtonian and non-Newtonian pseudoplastic power law fluid using artificial neural network // Int. J. Mineral Process. – 2012. – №. 110–111. – Pp. 53–61.
4. Bektas E., Miska S.Z., Ozbayoglu E.M., Yu M., Takach N., Velazquez-Cruz D., Shahri M.P. Application of Kalman filter to predictions of pore pressure while drilling // Annual Technical Conference and Exhibition, Houston, Texas, USA. – 2015. – №. 36. – Pp. 776–785.

УДК 504.06

АНАЛИЗ ОЦЕНКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА КОМПОСТИРУЕМОЙ ПОСУДЫ С СОДЕРЖАНИЕМ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ КУЛЬТУР

***Лебединская А.А.*[1]** *(студент),* ***Габидулина З.*[1]** *(студент)*
***Научный руководитель – преподаватель Данилюк М.А.*[1]**

1 – Университет ИТМО

e-mail: lebedinskaya@yandex.ru, zlatagabidulina08@gmail.com

На сегодняшний день оценка жизненного цикла крайне важна в развитии устойчивого бизнеса. Качественный анализ жизненного цикла продукта полезен как на этапе разработки товара, так и в маркетинге, а ещё в формировании политики бренда. В данной работе был проведён анализ влияния жизненного цикла тарелки из биоразлагаемого материала с содержанием продуктов переработки растительных культур на окружающую среду.

Ключевые слова
Оценка жизненного цикла, одноразовая посуда, одноразовая тарелка, биоразлагаемый материал, глобальное потепление, переработка.

На сегодняшний день оценка жизненного цикла крайне важна в развитии устойчивого бизнеса. Качественный анализ жизненного цикла продукта полезен как на этапе разработки товара, так и в маркетинге, а ещё в формировании политики бренда. Однако в научной литературе на данный момент описано недостаточно исследований, для составления однозначных выводов о влиянии жизненного цикла биоразлагаемой посуды на окружающую среду.

Целью является исследование влияния жизненного цикла тарелки из биоразлагаемого материала с содержанием продуктов переработки растительных культур на глобальное потепление. Для достижения данной цели необходимо решение следующих задач: выбор функциональной единицы, установка границ системы жизненного цикла, выбор методики для проведения оценки жизненного цикла; проведение инвентаризации; проведение оценки воздействия жизненного цикла тарелки из биоразлагаемого материала с содержанием продуктов переработки растительных культур; интерпретация жизненного цикла тарелки из биоразлагаемого материала с содержанием продуктов переработки растительных культур на окружающую среду.

Для проведения исследования в качестве основного показателя воздействия на окружающую среду был выбран Потенциал глобального потепления в кг CO_2 экв, который измеряется методом IPCC (*IPCC – The Intergovernmental Panel on Climate Change - Межправительственная группа экспертов по изменению климата* [1]).

Выбранная методика IPCC 2021 GWP 100 представляет собой потенциал глобального потепления на 100 лет. Она используется для измерения того, насколько парниковый газ способен удерживать тепло в атмосфере по сравнению с диоксидом углерода (CO_2) в течение 100 лет и является одной из ключевых метрик для оценки вклада различных парниковых газов в изменение климата.

Функциональная единица – тарелка из биоразлагаемого материала с содержанием продуктов переработки растительных культур диаметром 18 см.

В качестве границ жизненного цикла выбрано производство тарелки, как показано на рисунке.

При оценке жизненного цикла были сделаны следующие допущения: образование отходов смеси материала и PLA после формовки составляет 5% от общей массы пластины с учётом

потерь при уменьшении влажности, то есть 2,71 г. Значит масса отходов смеси материала и PLA совместно составит 0,136 г. Polylactic Acid – это биополимер полилактид, в составе которого преобладает молочная кислота. Для изготовления такого биополимера применяются органические материалы – сахарный тростник, кукуруза, соя.

Рисунок. Границы оценки жизненного цикла

Материальный баланс производства тарелки из биоразлагаемого материала с содержанием продуктов переработки растительных культур диаметром 18 см приведён в таблице 1 [2]. Масса одной тарелки диаметром 18 см составила 2,574 грамма с учетом потерь из-за уменьшения влажности материала.

Таблица 1

Материальный баланс производства тарелки из биоразлагаемого материала

№	Ресурс	Затраты на 1 тарелку, г
1	Рисовая шелуха	0,73
2	Крахмал кукурузный	0,38
3	Вода	1
4	PLA	0,6
5	Потери	0,136
	Итого:	2,574

Ежегодное мировое производство риса составляет более 750 миллионов тонн зерна и 150 миллионов тонн шелухи. Пропорции каждого компонента зависят в первую очередь от генотипа риса, химического состава почвы и климатических условий [3]. Но, исходя из этих данных, получается, что на 1 т риса приходится в среднем 20% шелухи.

При производстве биоразлагаемого материала применяются следующие процессы, приведённые в таблице 2 [2]: гидролиз крахмала и несколько этапов прессования.

Таблица 2

Энергозатраты на производство тарелки с содержанием продуктов переработки растительных культур

№	Процесс	Энергозатраты, кВт
1	Гидролиз крахмала с помощью СВЧ-печи в течение 30 сек	0,01
2	Прессование и формование материала при помощи пресса в течение 3 мин	0,045
3	Прессование и формование PLA при помощи пресса в течение 1,5 мин	0,0225
4	Прессование и формование PLA с материалом в течение 1 мин	0,015
	Итого:	0,096

В результате расчетов с использованием программы SimaPro было выявлено, что наибольшее влияние при производстве посуды с содержанием продуктов переработки растительных культур на потенциал глобального потепления оказывает электричество (табл. 3).

Таблица 3

Воздействие на глобальное потепление производства тарелки с содержанием продуктов переработки растительных культур

№	Ресурс	Воздействие, кг CO_2-экв
1	Электроэнергия	0,738
2	PLA	0,0018
3	Крахмал кукурузный	0,000439
4	Рисовая шелуха	0,0000518
5	Вода	0,000000413
	Итого:	0,740291213

При производстве посуды с содержанием продуктов переработки растительных культур основное воздействие на потенциал глобального потепления (>99%) оказывает электричество: более 99%. Общее воздействие составило 0,74 CO_2 эквивалента.

На основе результатов проведенного анализа влияния жизненного цикла тарелки из биоразлагаемого материала с содержанием продуктов переработки растительных культур, выполненного с помощью метода IPCC, можно сделать вывод о том, что электроэнергия оказывает наибольшее воздействие на потенциал глобального потепления.

Возможно сокращение воздействия, при потоковом производстве посуды, с содержанием продуктов переработки растительных культур, поскольку процесс эксплуатации СВЧ-печи и пресса для изготовления единичных экземпляров посуды в лабораторных условиях очень энергозатратный.

Данная работа имеет большое значение для компаний и стартапов, занимающихся производством и использованием компостируемой посуды с содержанием продуктов переработки растительных культур, а также для специалистов в области экологии, устойчивого развития и оценки жизненного цикла продуктов. Она позволит продвинуться вперед в изучении влияния биоразлагаемой посуды на окружающую среду на этапе её производства и выявить возможности для увеличения ее экологической эффективности.

Список использованных источников

1. Global Warming - an overview | ScienceDirect Topics. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/global-warming (дата обращения: 01.12.2023).
2. Васильева М.О. Разработка компостируемой посуды с содержанием продуктов переработки растительных культур // выпускная квалификационная работа Университет ИТМО. – 2022. – 60 с.
3. Rice Husk at a Glance: From Agro-Industrial to Modern Applications – ScienceDirect [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1672630823000963 (дата обращения: 01.12.2023).

УДК 504.75

АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

Лекомцева М.В.[1] *(студент),* ***Смирнов Е.С.***[2] *(студент),* ***Сергиенко О.И.***[1]
Научный руководитель – к.т.н., доцент Сергиенко О.И.[1]

1 – Университет ИТМО
2 – ПГУПС

e-mail: liekomtsieva1999@mail.ru

Железнодорожный транспорт занимает наибольшую долю по грузообороту из всех видов транспорта, используемых в России, и оказывает значительное негативное воздействие на окружающую среду. В статье проведена комплексная оценка экологического воздействия железнодорожного транспорта при перевозке железных руд. Рассмотрены основные стадии жизненного цикла железнодорожного транспорта – начиная от создания железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава до их утилизации.

Ключевые слова
Оценка жизненного цикла, экологическое воздействие, железнодорожный транспорт, транспортировка, железная руда.

Оценка жизненного цикла (ОЖЦ) продукции – это комплексная методика оценки воздействия продукции или услуги на окружающую среду, начиная от добычи сырья, производства, использования или эксплуатации, включая необходимые ремонты и обслуживание, транспортировку продукции на всех этапах и заканчивая утилизацией путем захоронения или переработки отходов. В настоящее время ОЖЦ рассматривается как одна из объективных возможностей для определения того, являются ли материалы, продукция или услуги действительно экологически безопасными или лишь кажутся таковыми [1].

В данной работе в качестве объекта исследования для проведения анализа экологического воздействия на окружающую среду был выбран железнодорожный транспорт при перевозке железных руд. Изучение этого вопроса актуально, так как до настоящего времени подобные исследования не проводились в России, при этом их достаточно мало во всем мире, хотя грузовой железнодорожный транспорт активно используется повсеместно.

Целью исследования является сбор информации для проведения инвентаризационного анализа жизненного цикла железнодорожного транспорта и информирования заинтересованных сторон – участников цепочек поставок для создания железнодорожной инфраструктуры, а также металлургических компаний.

Границы рассматриваемой продукционной системы процесса транспортировки железной руды железнодорожным транспортом включают следующие стадии жизненного цикла: создание железнодорожной инфраструктуры, строительство железной дороги и подвижного состава; эксплуатация железнодорожного полотна, локомотивов и вагонов для перевозки руды, включая необходимые ремонты и техническое обслуживание; стадию утилизации железнодорожного полотна и вагонов. В качестве функциональной единицы (ФЕ) выбран один тонно-километр перевозимой железной руды.

Для каждой из стадий жизненного цикла, входящей в границы продукционной системы, необходимо рассмотреть их экологические воздействия. Выделенные экологические аспекты представлены в таблице.

Строительство железнодорожных путей оказывает значительное воздействие на окружающую среду, так как включает в себя производство железнодорожных рельсов, шпал, балластного слоя, мостовых переходов, стрелочных переводов и их дальнейшую установку. На

электрифицированных железных дорогах также требуется установка контактной сети. Срок службы стальных рельсов, шпал, переходов, стрелочных переводов составляет до 30 лет. Срок эксплуатации деревянных шпал составляет 16–18 лет.

Таблица

Жизненный цикл железнодорожного транспорта с учетом стадии перевозки железной руды

Стадии ЖЦ	Экологические аспекты
Создание железнодорожной инфраструктуры, строительство железной дороги	Пыление; Разрушение природных ландшафтов; Выбросы отработанного топлива от специализированной техники
Строительство подвижного состава	Выбросы, сбросы и отходы машиностроительного производства
Эксплуатация железнодорожного полотна, включая необходимые ремонты и техническое обслуживание	Отходы при проведении ремонтных работ, демонтажа
Эксплуатация локомотивов и железнодорожных вагонов при перевозке руды, включая необходимые ремонты и техническое обслуживание	Пыль железной руды; Выбросы отработанного топлива; Загрязнение почв маслами и смазками
Утилизация железнодорожного полотна	Выделение токсичных веществ при переработке полотна
Утилизация подвижного состава	Отходы в виде металлической стружки и выбросы при ручной резке металла; Выбросы диоксида углерода, оксида серы, сероводорода и оксида азота при переработке металлолома; Окисление металлов и накопление их в почве при отсутствии утилизации

На этапе строительства железнодорожной инфраструктуры наблюдается загрязнение окружающей среды пылью, разрушение природных ландшафтов, загрязнение воздуха [2].

На этапе строительства подвижного состава важно учитывать материалы, которые используются при производстве локомотивов и вагонов. Выбор материала для различных элементов подвижного состава зависит от режима, условий их работы и требований по обеспечению надежности, экономичности конструкции и технологичности изготовления и ремонта. Основным материалом при производстве подвижного состава является сталь, также используются латунь, бронза, алюминий.

При создании подвижного состава на машиностроительных предприятиях в атмосферный воздух поступают такие вредные вещества, как шестивалентный хром, свинец, фенол, диоксид серы и оксид углерода, а также взвешенные вещества и оксиды азота. Горюче-смазочные материалы, взвешенные вещества и пластики могут попадать со сточными водами в водные объекты; свинец, ртуть и кадмий могут попадать в почву с отходами.

В ходе эксплуатации железнодорожной инфраструктуры регулярно проводятся планово-предупредительные работы (ППР). Как правило, в теплое время года ППР предусматривают следующее: замену стрелочных переводов, переводных брусьев; постановку стрелочных переводов на щебень; очистку щебня на стрелочных переводах; ремонт переездов, шпал, переводных и мостовых брусьев; сварку рельсов; наплавку рельсов и элементов стрелочных переводов; устройство вдоль железнодорожного пути постоянных ограждений и их ремонт; оборудование стрелочных переводов устройствами для очистки от снега.

Замена стрелочных переводов и переводных брусьев осуществляется один раз в 15 лет, если при проведении ежегодных планово-предупредительных работ дефекты не были обнаружены.

Очистка балласта осуществляется ежегодно. При очистке балласта в выемках загрязнитель надо вывозить за их пределы. Загрязнитель можно оставлять на обочинах выемок только временно, в течение 1–2 дней.

По мере наработки тоннажа в процессе эксплуатации железнодорожного пути на поверхности катания образуются различные дефекты рельсов (трещины, отслоения, выкрашивания, смятие, истирание, наплывы, коррозия металла, различные механические повреждения). Устранение указанных дефектов может быть осуществлено шлифованием или фрезерованием в пути рельсошлифовальными и рельсофрезерными поездами [3].

При проведении планово-предупредительных работ на железнодорожной инфраструктуре образуется металлическая пыль и шлам при шлифовании рельсов; пыление при очистке балласта; частицы пыли и окалина в процессе проведения сварочных работ.

На этапе эксплуатации железнодорожного транспорта при перевозке железной руды нужно учитывать следующие экологические аспекты: выбросы оксидов железа при пылении железной руды при перевозке в открытых вагонах; выбросы при сжигании дизельного топлива. Попадая в водные объекты и взаимодействуя с кислородом, оксиды железа образуют желтую окись, токсичную для водных экосистем. Выбросы от сжигания дизельного топлива по составу аналогичны выбросам автотранспортных средств. Количество выбросов зависит от технических характеристик подвижного состава, рельефа местности и расстояния от месторождения до металлургического предприятия, которое обычно превышает тысячу километров. Эксплуатация электровозов исключает выбросы в атмосферу и снижает загрязнение почв тяжелыми металлами.

Необходимые ремонты и техническое обслуживание локомотивов на стадии эксплуатации включают смазку гидродинамических передач локомотива и замену масла, очистку узлов и деталей, обточку бондажей и т. д. Предполагается, что срок службы поезда 40 лет, в результате чего его ресурс составляет 20 млн км [4].

На этапе утилизации железнодорожного полотна необходимо учитывать образование отходов тех материалов, которые используются при строительстве железнодорожных путей.

Утилизация объектов инфраструктуры включает в себя переработку шпал и рельсов. В течение года в железнодорожном хозяйстве полной замены с утилизацией требуют 300–500 тыс. железобетонных шпал [5].

Необходимость в замене и утилизации рельсов основывается на данных наработки тоннажа [3]. Железобетонный лом, полученный в результате переработки шпал, перерабатывают с получением щебня и используют в строительстве; переплавка металлической арматуры и рельсов позволяет использовать металл повторно.

Этап утилизации подвижного состава состоит из трех стадий: предварительная обработка, демонтаж, измельчение. Вначале рабочие жидкости сливаются в отдельные емкости, которые по мере накопления направляются на переработку на специализированные предприятия. Затем из подвижного состава демонтируют компоненты, которые можно использовать повторно, такие как колесные пары, тележки, рамы, буферы, пружины, муфты, двери, тормозные системы и др. Оставшаяся часть измельчается, дробится и отсортировывается для дальнейшей переработки с получением черных и цветных металлов.

При утилизации подвижного состава можно выделить следующие экологические аспекты: отходы в виде металлической стружки и выбросы при ручной резке металла; выбросы диоксида углерода, оксида серы, сероводорода и оксида азота при переработке металлолома; окисление металлов и накопление их в почве при отсутствии утилизации.

В ходе выполнения анализа экологического воздействия перевозки железной руды железнодорожным транспортом рассмотрены все стадии жизненного цикла от создания железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава до эксплуатации и утилизации в конце срока жизни. Дальнейшее исследование будет включать выполнение инвентаризационного анализа и оценки экологического воздействия на одну функциональную единицу услуги – один тонно-километр перевозки железной руды.

Результаты исследования ОЖЦ позволят получить наиболее полные и достоверные данные о фактическом воздействии грузового железнодорожного транспорта на окружающую среду.

Список использованных источников:

1. Furuholt E. Life cycle assessment of gasoline and diesel // Conservation and Recycling. – 1995. – Vol. 14. – Pp. 251–263.
2. Колоев К.В., Потапова С.О. Экологические аспекты железнодорожного транспорта // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2018. – №. 9-1. – С. 410–417.
3. Инструкция по применению старогодных материалов верхнего строения пути, утверждённая распоряжением ОАО "РЖД" № 2370р от 23.11.2016. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.tdesant.ru/info/item/269 (дата обращения: 21.01.2024).
4. Banar M., Özdemir A. An evaluation of railway passenger transport in Turkey using life cycle assessment and life cycle cost methods // Transportation Research Part D: Transport and Environment. –2015. – Vol. 41. – Pp. 88–105.
5. СП 238.1326000.2015 Железнодорожный путь. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/1200124323 (дата обращения: 21.01.2024).

УДК 628.47

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ КАК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ

Лёсин И.А.[1] *(студент)*
Научный руководитель – к.т.н., доцент Рахманов Ю.А.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: lesin20001@gmail.com

В работе рассматриваются твердые коммунальные отходы (ТКО), как возможный энергетический ресурс, который теряется бесследно при их захоронении. В свете нарастающих проблем с окружающей средой и необходимости устойчивого развития изучается возможность преобразования отходов в полезную энергию. Исследование включает анализ потенциала производства электроэнергии, тепла или других форм энергии из ТКО, а также оценку влияния данного процесса на окружающую среду.

Ключевые слова
Твердые коммунальные отходы, полигон, морфологический состав, Пензенская область, вторсырье, экологическая безопасность, накопление.

По официальным данным ежегодно в Российской Федерации образуется около 7 миллиардов тонн отходов, из которых используется (перерабатывается) лишь 2 миллиарда тонн или 28,6%. Примерный состав ТКО в России представлен на рисунке 1 [1].

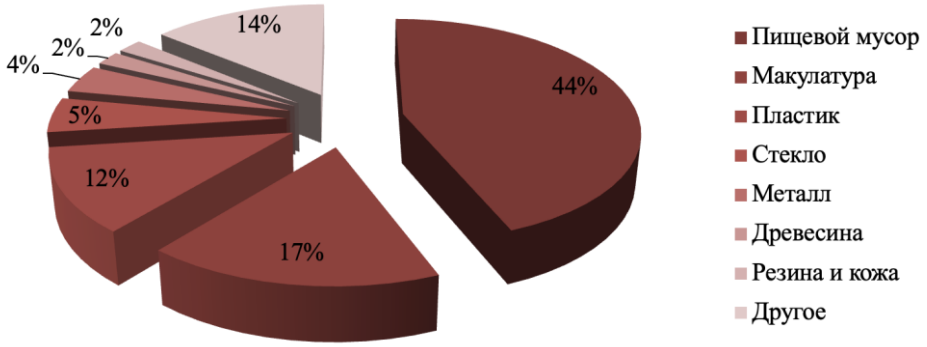


Рис. 1. Разбивка ТКО в России по видам [1] 44% – пищевой мусор; 17% – макулатура; 12% – пластик; 5% – стекло; 4% – металл; 2% – древесина; 2% – резина и кожа; 14% – другое

Создание эффективной системы обращения с отходами в Российской Федерации, включая сбор, переработку и утилизацию отходов, является важной задачей на уровне регионов, в том числе в Пензенской области.

В настоящее время в г. Пензе и Пензенской области существует значительное количество санкционированных и несанкционированных свалок. Наблюдаются серьезные нарушения в хранении, вывозе, обработке и сборе отходов как по городе, так и на территории области [3].

Одним из самых главных объектов в этом вопросе является полигон для отходов под селом Чемодановка. ТКО из г. Пензы вывозятся на данный полигон, его локация изображена на рисунке 2.

В таблице 1 в процентном содержании приведен морфологический состав ТКО полигона.

Данный полигон является одним из старейших в Европе, его начали использовать с конца 1950-х г. Изначально это была обычная свалка, площадью 150 гектар, куда привозили ТКО из г. Пензы и хаотично захоранивали [4].

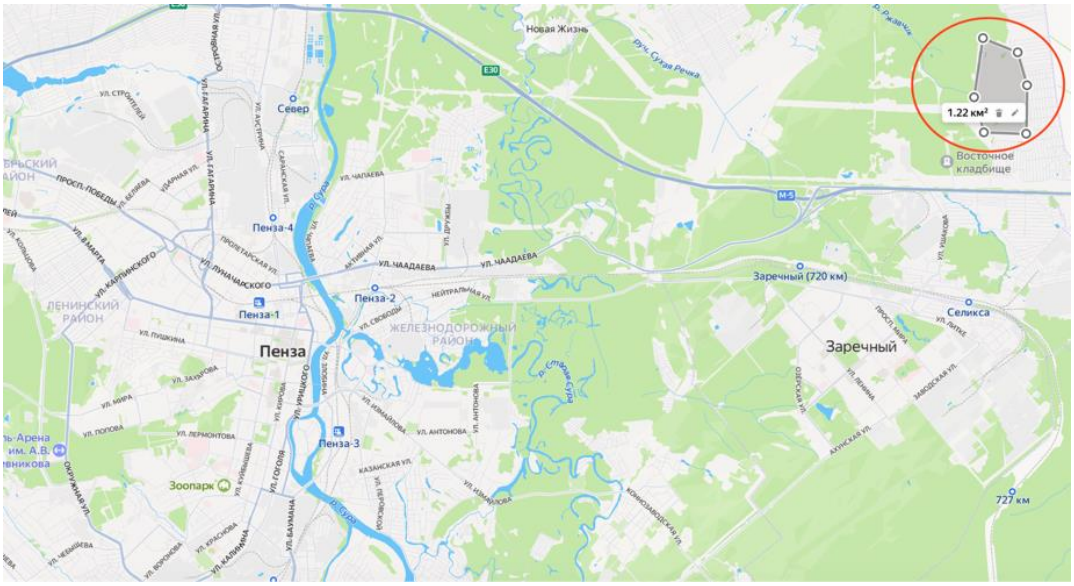


Рис. 2. Расположение полигона

Таблица 1

Морфологический состав твердых коммунальных отходов

Компонент ТКО	Содержание в массе ТКО, %
Бумага	20
Пищевые отходы	25
Текстиль	5
Древесина	6
Стекло	15
Пластик	8
Металл	15
Кожа, резина	3,5
Отходы парков	2,5
Всего	100

На момент февраля 2020 года заполненность полигона «Чемодановка» оценивалась на уровне 94%, что близко к его максимальной вместимости в 7 миллионов 425 тысяч тонн. Количество отходов, доставленных на полигон в 2021 году, составило 356 тысяч тонн, а среднегодовое количество отходов (исключая пищевые отходы) составляет 267 тысяч тонн [2, 3, 5].

На сегодняшний день полигон занимает площадь 82 гектара, фотографии полигона приведены на рисунке 3 [5]. Полигон работает круглосуточно (для приема отходов). Вторсырье сортируют вручную, обрабатывают и продают специализированным организациям и предприятиям.

Рис. 3. Фото полигона «Чемодановка»

В таблице 2 приведен морфологический состав ТКО в процентном содержании, без пищевых отходов.

Таблица 2

Морфологический состав твердых коммунальных отходов (без пищевых)

Компонент ТКО	Содержание в массе ТКО, %
Бумага	27
Текстиль	6,4
Древесина	8
Стекло	20
Пластик	10,6
Металл	20
Кожа, резина	4,7
Отходы парков	3,3
Всего	100

Таблица 3

Элементный состав сухой массы твердых коммунальных отходов (без пищевых), массовая доля (C_i), %

Компонент (Е)	Состав, %						
	Углерод (С)	Водород (Н)	Кислород (О)	Азот (N)	Сера (S)	Зола (А)	Влажность при сжигании (W)
1	2	3	4	5	6	7	8
Бумага	49,14	6,1	43,03	0,05	0,16	1,52	24,3
Текстиль	46,19	6,41	41,85	2,18	0,2	3,17	23,8
Древесина	50,46	5,97	41,2	2	0,05	1	15,4
Стекло	–	–	–	–	–	100	3
1	2	3	4	5	6	7	8
Пластик	85,7	14,3	–	–	–	–	13,8
Металл	-	-	–	–	–	100	6.6
Кожа, резина	42,01	5,32	22,83	5,98	1	22,86	13,8
Отходы парков	49,2	6,5	36,7	2,9	0,35	5	37,9

Проводим расчет по данным из таблицы 3 сухой массы компонентов ТКО (C_i), %. Для каждого химического элемента определяем его процентное содержание в сухой массе в ТКО, используя следующую формулу:

$$\mathrm{E}^c = 0{,}01 \cdot \sum(G_i \cdot C_i), \quad (1)$$

где E^c – процентное содержание компонента в сухой массе в ТКО, %; G_i – количество сжигаемых отходов, %; C_i – массовая доля компонента, %.

Таким образом, рассчитанное процентное содержание элементов по формуле 1 представлено в таблице 4.

Таблица 4

Процентное содержание элементов

Химический элемент	Содержание, %
Углерод	32,14
Водород	4,5
Кислород	20
Азот	1
Сера	0,12
Зола	42

Если выразить в процентах содержание каждого элемента в ТКО, то для элементарного состава рабочей массы ТКО будет справедливо равенство:

$$\mathrm{C^p} + \mathrm{H^p} + \mathrm{O^p} + \mathrm{N^p} + \mathrm{A^p} + \mathrm{S^p} + W^{\mathrm{p}} = 100\%, \quad (2)$$

где $\mathrm{C^p}, \mathrm{H^p}, \mathrm{O^p}, \mathrm{N^p}, \mathrm{S^p}$ – содержание в ТКО углерода, водорода, кислорода, азота и серы, %; $\mathrm{A^p}, W^{\mathrm{p}}$ – содержание в ТКО золы и влаги, %.

Удалив из равенства 2 влагу W^{p}, получим сухую массу топлива, состав которой в процентах по массе запишется равенством:

$$\mathrm{C}^c + \mathrm{H}^c + \mathrm{O}^c + \mathrm{N}^c + \mathrm{A}^c + \mathrm{S}^c = 100\%, \quad (3)$$

где $\mathrm{C}^c, \mathrm{H}^c, \mathrm{O}^c, \mathrm{N}^c, \mathrm{S}^c, \mathrm{A}^c$ – содержание в ТКО углерода, водорода, кислорода, азота, серы и золы в процентах, %.

Проверим равенство 3 с помощью полученных данных процентного содержания элементов:

$$32{,}14 + 4{,}5 + 20 + 1 + 0{,}12 + 42 = 99{,}76\% \approx 100\%.$$

Таким образом, условие выполняется.

Теперь определим состав рабочей смеси. Для этого рассчитаем содержание влаги в рабочей смеси по формуле:

$$W^{\mathrm{p}} = 0{,}01 \cdot \sum(G_i \cdot W_i), \quad (4)$$

где W^{p} – содержание влаги в рабочей смеси, %; G_i – количество сжигаемых отходов, %; W_i – количество влажности при сжигании, %.

По формуле 4 содержание влаги в рабочей смеси равно 15%.

Переход от процентного содержания элементов в одной массе к их содержанию в другой (от сухой к рабочей) производится с помощью формулы:

$$\mathrm{E^p} = \mathrm{E}^c \cdot \frac{100 - W^{\mathrm{p}}}{100}, \quad (5)$$

где $\mathrm{E^p}$ – процентное содержание от сухой массы к рабочей, %; E^c – процентное содержание компонента в сухой массе в ТКО, %; W^{p} – содержание влаги в рабочей смеси, %.

Таким образом, рассчитанное процентное содержание элементов в одной массе к их содержанию в другой (от сухой к рабочей) по формуле 5 представлено в таблице 5.

Таблица 5

Процентное содержание элементов

Химический элемент	Содержание, %
Углерод	27,3
Водород	3,8
Кислород	17
Азот	0,85
Сера	0,102
Зола	35,7

Для процентного состава рабочей массы топлива должно соблюдаться равенство 2. Проверим данное равенство с помощью полученных данных процентного содержания элементов:

$$27{,}3 + 3{,}8 + 17 + 0{,}85 + 0{,}102 + 35{,}7 + 15 = 99{,}8\% \approx 100\%.$$

Таким образом, условие выполняется.

Удельная низшая рабочая теплота сгорания вычисляется по формуле:

$$Q_{\mathrm{н}}^{\mathrm{p}} = 339{,}4 \cdot \mathrm{C^p} + 1257 \cdot \mathrm{H^p} - 108{,}9 \cdot (\mathrm{O^p} - \mathrm{S^p}) - 25{,}1 \cdot (9\mathrm{H^p} + W^{\mathrm{p}}), \quad (6)$$

где $Q_{\mathrm{н}}^{\mathrm{p}}$ – удельная низшая рабочая теплота сгорания, кДж/кг; $\mathrm{C^p}, \mathrm{H^p}, \mathrm{O^p}, \mathrm{S^p}, W^{\mathrm{p}}$ – содержание в ТКО углерода, водорода, кислорода, серы и влаги, %.

Удельная низшая рабочая теплота сгорания по формуле 6 равна 10976,1 кДж/кг.

Располагаемая мощность, получаемая при сжигании отходов в год, определяется по формуле:

$$Q = G_{\text{непищевые}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}}, \quad (7)$$

где Q – располагаемая мощность, получаемая при сжигании непищевых отходов в год, МДж/год; $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ – удельная низшая рабочая теплота сгорания, кДж/кг; $G_{\text{непищевые}}$ – количество сжигаемых отходов (без пищевых), кг/год.

Располагаемая мощность, получаемая при сжигании отходов в год по формуле 7:

$$Q = 267000000 \cdot 10976{,}1 = 2{,}93 \cdot 10^9 \text{ МДж/год}.$$

Количество располагаемой мощности при сгорании твердых коммунальных отходов (без пищевых) составит $2{,}93 \cdot 10^9$ МДж/год.

Среднее количество отходов (пищевых) $G_{\text{пищевых}}$ – 89 тыс. т/год = 89000000 кг/год.

Часовой расход пищевых отходов при t = 8000 ч/год будет определяться по формуле:

$$G_{\text{п.от}} = \frac{G_{\text{пищевых}}}{t}, \quad (8)$$

где $G_{\text{п.от}}$ – часовой расход пищевых отходов, кг/час; $G_{\text{пищевых}}$ – среднее количество отходов (пищевых), кг/год; t – время работы установки, ч/год.

Влажность пищевых отходов определяется в процентах и составляет $W_{\text{п.от}}^{\text{р}} = 45\%$.

Количество сухих пищевых отходов определим по формуле:

$$G_{\text{п.от}}^{\text{с}} = G_{\text{п.от}} \cdot \frac{(100 - W_{\text{п.от}}^{\text{р}})}{100}, \quad (9)$$

где $G_{\text{п.от}}^{\text{с}}$ – количество сухих пищевых отходов, кг/час; $G_{\text{п.от}}$ – часовой расход пищевых отходов, кг/час; $W_{\text{п.от}}^{\text{р}}$ – влажность пищевых отходов, %.

Объем биогаза определяется по формуле:

$$V_{\text{б.г.}} = G_{\text{п.от}}^{\text{с}} \cdot 0{,}6, \quad (10)$$

где $V_{\text{б.г.}}$ – объем биогаза, м^3/час; $G_{\text{п.от}}^{\text{с}}$ – количество сухих пищевых отходов, кг/час; 0,6 – масса биогаза получаемая из 1 кг сухого вещества, м^3/кг$_{\text{сух.вещ}}$.

Тепловая мощность биогаза (располагаемая) определяется по формуле:

$$Q_{\text{б.г.}} = Q_{\text{н.б.г.}}^{\text{р}} \cdot V_{\text{б.г.}}, \quad (11)$$

где $Q_{\text{б.г.}}$ – тепловая мощность биогаза, кДж/ч; $Q_{\text{н.б.г.}}^{\text{р}}$ – теплота сгорания биогаза, кДж/м^3; $V_{\text{б.г.}}$ – объем биогаза, м^3/час.

Электрическая мощность биогаза определяется по формуле:

$$\text{Э} = Q_{\text{б.г.}} \cdot \eta_{\text{эл.кпд}}, \quad (12)$$

где Э – электрическая мощность биогаза, кВт; $Q_{\text{б.г.}}$ – тепловая мощность биогаза, кДж/ч; $\eta_{\text{эл.кпд}}$ – электрический КПД.

Возможная тепловая мощность (отпуск теплоты), при коэффициенте использования $\eta_{\text{исп}} = 0{,}65$, $\eta_{\text{эл.кпд}} = 0{,}35$ и $\Delta\eta = 0{,}3$ определяется по формуле:

$$Q_{\text{теплоты}} = Q_{\text{б.г.}} \cdot 0{,}3, \quad (13)$$

где $Q_{\text{теплоты}}$ – возможная тепловая мощность, кВт; $Q_{\text{б.г.}}$ – тепловая мощность биогаза, кДж/ч.

Необходимо определить массу удобрений, для этого нужно знать массу биогаза, которая определяется по формуле:

$$m_{\text{б.г.}} = V_{\text{б.г.}} \cdot \rho_{\text{б.г.}}, \quad (14)$$

где $m_{\text{б.г.}}$ – масса биогаза, кг/час; $V_{\text{б.г.}}$ – объем биогаза, м^3/час; $\rho_{\text{б.г.}}$ – плотность биогаза, кг/м^3.

Масса разлагающихся (70% разлагаются) отходов находится по формуле:

$$m_{\text{разлаг.}} = G_{\text{п.от}} \cdot 0{,}7, \quad (15)$$

где $G_{\text{п.от}}$ – часовой расход пищевых отходов, кг/час; $m_{\text{разлаг.}}$ – масса разлагающихся отходов, кг/час.

Количество отходов в остатке (масса удобрений) определяется по формуле:

$$m_{\text{ост.}} = G_{\text{п.от}} - m_{\text{разлаг.}}, \quad (16)$$

где $m_{\text{ост.}}$ – количество отходов в остатке (масса удобрений), кг/час; $G_{\text{п.от}}$ – часовой расход пищевых отходов, кг/час; $m_{\text{разлаг.}}$ – масса разлагающихся отходов, кг/час.

Пищевые отходы полигона рассмотрены в определении характеристик, которые были рассчитаны по формулам 8–16 и представлены в таблице 6.

Таблица 6

Определение объема биогаза и других характеристик

Характеристика	Значение
1	2
$G_{\text{п.от}}$	11,125 т/час
$G^{\text{с}}_{\text{п.от}}$	6118,8 кг/час
$V_{\text{б.г.}}$	3671,25 м^3/час
$Q_{\text{б.г.}}$	21884 кВт
Э	7659,7 кВт
$Q_{\text{теплоты}}$	6565,2 кВт
$m_{\text{б.г.}}$	4746,2 кг/ч
$m_{\text{разлаг.}}$	7787,5 кг/час
$m_{\text{ост.}}$	3337,5 кг/час

Таким образом, на основании изложенного, представляется целесообразно организовать: сортировку отходов (выделить полезные отходы, которые можно использовать и переработать); переработку органических отходов для получения биогаза (оставшиеся фракции следует использовать как удобрения, так как в Пензенской области развито сельское хозяйство); прямо оставшиеся отходы, которые можно использовать для получения энергии.

Список использованных источников:

1. Казанцев С.Я., Саркисов О.Р., Любарский Е.Л. Правовые основы и перспективы развития отрасли в области отходов производства и твердых коммунальных отходов в Российской Федерации: эколого-правовой аспект // Вестник Московского университета МВД России. – 2023. – №. 1. – С. 134–138.
2. Аналитический отчёт за 2018 год: ПЕНЗЕНСКИЙ ОБЛАСТНОЙ ФОНД НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://fondntr.ru/osnovnyye-napravleniya/informatsionno-analiticheskaya deyatelnost/analiticheskij-otchet-za-2018-god.html (дата обращения: 08.12.2023).
3. Тюкленкова Е.П., Базин Д.С., Долотина Д.М. Мониторинг и управление территорий, занятых различными группами отходов в Пензенской области с применением методов дистанционного зондирования // Московский экономический журнал. – 2020. – №. 9. – С. 40–47.
4. Песков С.Н. Проблема утилизации твердых бытовых отходов на территории Пензенской области // Интеллектуальный потенциал XXI века: ступени познания. Экологические биотехнологии. – 2010. – №. 2. – С. 16–20.
5. Golobokov S.V., Lesin I.A., Tichomirova A.A., Chukareva M.M. The use of solid household waste as fuel in the housing and utilities sector // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 866. – №. 1. – Pp. 12–29.

УДК 504.75

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ РИСКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

Мевлидинова Д.[1] *(студент)*
Научный руководитель – к.т.н., доцент Сергиенко О.И.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: diane.2000@mail.ru

Открытая разработка полезных ископаемых занимает лидирующие позиции в мире и является основным направлением развития горнодобывающей отрасли в России. Буровзрывные работы относятся к ключевым технологическим процессам добычи полезных ископаемых, поэтому они в значительной степени оказывают воздействие на состояние окружающей среды. В статье рассмотрена перспектива применения промышленных взрывчатых веществ нового поколения – эмульсионных веществ, приводится анализ технологии их производства и возможных негативных воздействий на компоненты экосистем.

Ключевые слова
Открытый способ добычи, полезные ископаемые, буровзрывные работы, промышленные взрывчатые вещества, эмульсия, аммиачная селитра.

На сегодняшний день Россия занимает пятое место в мире по объемам добычи железорудного сырья. Полезное ископаемое залегает близко к поверхности, поэтому его разработку ведут преимущественно открытым способом. Согласно статистическим данным, в стране посредством открытых горных работ добывают около 75% угля [1], 85% руд черных и цветных металлов и все строительные материалы. Превосходство открытого способа над подземным обусловлено низкой стоимостью добычных работ, высоким уровнем безопасности и кратчайшими сроками реализации проектов.

В основе открытой разработки лежат буровзрывные работы, основная цель которых сводится к обеспечению доступа к полезному ископаемому и его дальнейшей экскавации. Процесс добычи можно описать следующим образом: на карьере в массиве горных пород с помощью специализированного оборудования бурят скважины, затем закладывают в них взрывчатое вещество и производят сам взрыв. На выходе получают разрыхленную и раздробленную породу, готовую к транспортировке. В зависимости от условий ведения работ при заряжаниях скважин используют различные по свойствам и составу взрывчатые вещества. Долгое время рынок России был представлен только гранулированными и порошкообразными материалами. Однако в связи с последующим ростом цен на тротил, который является ключевым компонентом перечисленных веществ, появилась необходимость в создании и производстве более дешевых материалов. Так, на смену устоявшимся и зарекомендовавшим себя на рынке тротилсодержащим пришли эмульсионные взрывчатые вещества.

Современное эмульсионное вещество представляет собой дисперсную систему, в которой горючая среда полностью обволакивает диспергированный до мельчайших частиц водный раствор окислителя. Процесс эмульгирования включает в себя создание мелких капель топливной фазы, обычно из нефти или других углеводородов, внутри водной фазы окислителя – аммиачной селитры. В результате получают однородный и стабильный взрывчатый материал с неизменными свойствами.

Несмотря на многообразие технологий производства в основе любого эмульсионного взрывчатого вещества лежат следующие компоненты: окислительная фаза, горючее, вода, сенсибилизатор и специальные добавки.

Типовая схема процесса приготовления компонентов взрывчатых веществ, применяемых на карьерах, показана на рисунке 1. В отличие от традиционных материалов, технология производства эмульсии базируется на гидромеханических процессах.

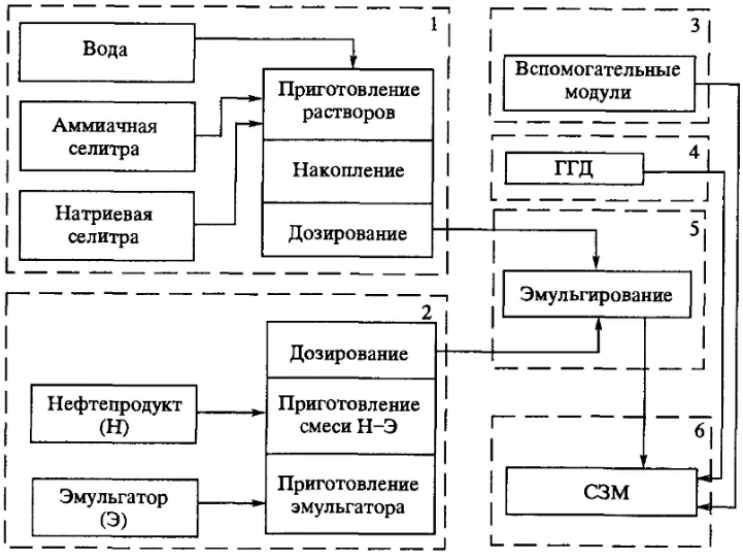


Рис. 1. Схема производства эмульсионных взрывчатых веществ [2]

На первой стадии происходит приготовление горячего раствора окислителя. Он представляет собой нагретый до 60–90°С концентрированный раствор аммиачной селитры с водой. Дозирование компонентов осуществляется в специальных аппаратах, оснащенных мешалками и нагревательными элементами. Помимо основных компонентов в приготовленный раствор, в зависимости от требуемых свойств, могут добавлять кислородсодержащие соли, однако их массовая доля незначительна – как правило, они не превышают 20% от массы раствора. После полного растворения компонентов лаборант отбирает пробы для определения температуры, плотности, точки кристаллизации и pH раствора. Готовый и полностью соответствующий технологическим требованиям раствор перекачивают в специальную емкость хранения.

На втором этапе готовится топливный раствор. Технология приготовления аналогична предыдущей, однако в роли основного компонента здесь выступают жидкие нефтепродукты разных видов. В силу своей дешевизны и доступности на практике наибольшее распространение получили дизельное топливо и индустриальное масло. Для стабилизации в полученный раствор в небольшом количестве добавляют эмульгатор.

На третьем этапе полученные ранее окислительная и топливная фазы смешиваются и превращаются в эмульсионную матрицу. В промышленных масштабах процесс перемешивания компонентов может происходить в специальных аппаратах – гомогенизаторах, мельницах или смесителях различных типов. В готовой эмульсии массовая доля окислителя составляет около 80–95%, оставшаяся часть – топливный раствор.

Приготовленная эмульсия по своей природе невзрывчатая, детонационные свойства она приобретает после сенсибилизации. Сенсибилизирующие вещества вводятся в эмульсию для создания областей сильного нагрева. Например, для активации эмульсии добавляют газогенерирующую добавку, основными компоненты которой являются вода, нитрат натрия, моноэтиленгликоль и краситель [3].

Производственный процесс завершается перекачкой приготовленных компонентов в смесительно-зарядные машины с помощью насосов. Заправленные машины направляются к месту проведения буровзрывных работ, контроль качества приготовленного взрывчатого вещества осуществляется оператором. Таким образом, детонационные свойства эмульсия приобретает уже в процессе заряжания скважины.

Благодаря ряду преимуществ, в числе которых безопасность, эффективность и доступность, водоэмульсионные вещества получили широкое распространение как в России,

так и за рубежом. Взрывчатые вещества производятся специализированными заводами-изготовителями или сразу на местах производства работ. Однако на сегодняшний день крупнейшие отечественные горнодобывающие предприятия ориентированы на собственное производство вблизи мест применения. Например, согласно данным из годового отчета Ростехнадзора на 2022 год [4], из общего объема израсходованных взрывчатых веществ 89% изготовлено на местах применения из невзрывчатых компонентов, из них 67% составили наиболее безопасные эмульсионные взрывчатые вещества (рис. 2).

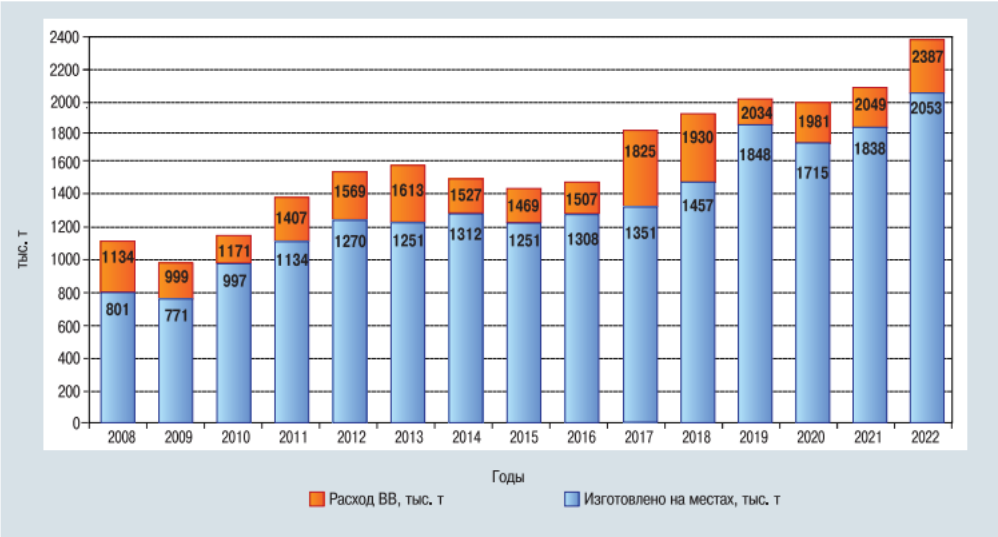


Рис. 2. Динамика объемов производства и потребления взрывчатых веществ в 2008–2022 годах [4]

Несмотря на значительное превосходство водоэмульсионных веществ над традиционными, нельзя недооценивать их воздействие на окружающую среду. Рассмотрим основные экологические риски в процессе обращения с промышленными взрывчатыми веществами на этапах производства, использования и утилизации.

Процесс приготовления эмульсионных взрывчатых веществ включает в себя перемешивание жидких и сыпучих компонентов в специальных агрегатах для создания эмульсионной матрицы. Хотя на современных предприятиях используют передовые технологии, направленные на минимизацию негативного воздействия, потребление ресурсов и выбросы химических веществ как в атмосферный воздух, так и в воздух рабочей зоны нередко могут стать причиной повышенной экологической и социальной нагрузки.

При детонации эмульсионных веществ в атмосферный воздух попадают оксиды азота, угарный газ и водяной пар, которые приводят к образованию смога. Однако, как показывает практика и данные инструментальных исследований, количество вредных примесей при взрыве эмульсионных веществ в девять раз ниже по сравнению с традиционными.

Использование водоэмульсионных веществ при разработке карьеров может привести к нарушению и фрагментации среды обитания, что негативно скажется на местном биоразнообразии. Вибрации и шумовое загрязнение, вызванные взрывами, могут нарушить миграционные процессы диких животных.

Эмульсионные взрывчатые вещества устойчивы к воздействию воды, поэтому часто используются в обводненных условиях. Но их неправильном хранении, обращении или утилизации возможны риски загрязнения водоемов или почвы остаточными взрывчатыми соединениями или тяжелыми металлами. Поэтому для минимизации неблагоприятного воздействия необходимо соблюдать меры безопасности при утилизации.

В целом, несмотря на то что эмульсионные вещества обладают рядом экологических преимуществ по сравнению с тротилсодержащими, неправильное обращение может создать риски как для окружающей среды, так и для общества. Чтобы снизить потенциальное негативное воздействие, горнодобывающим компаниям и производителям вспомогательных

материалов следует тщательно контролировать производственный процесс, прибегая к современным методам анализа и оценки. Приверженность к экологическим ценностям позволит компаниям рассмотреть возможности для минимизации потребления ресурсов, что, в свою очередь, повысит эффективность производства и будет способствовать формированию положительной репутации на рынке.

Список использованных источников

1. Петренко И.Е. Итоги работы угольной промышленности России за 2021 год // Уголь. – 2022. – №. 3(1152). – С. 9–23.
2. Генералов М.Б. Основные процессы и аппараты технологии промышленных взрывчатых веществ. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 397 с.
3. Скворцов М.В. Опыт применения эмульсионных взрывчатых веществ при отработке глубоких горизонтов подземного рудника ПАО «Гайский ГОК» // Сборник материалов 15-ой Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетик. – 2019. – Т. 3. – С. 153–157.
4. Годовой отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2022 году. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2023. – 380 с.

УДК 504.06

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF PRODUCTION AND UTILIZATION OF ENERGY ACCUMULATORS

Medvedeva I.A.[1] *(student)*
Scientific Supervisor – PhD, Associate Professor Sergienko O.I.[1]

1 – ITMO university

e-mail: 371368@niuitmo.ru

The article examines the impact of battery energy storage systems on the environment at different stages of the life cycle, including the end-of-life. The analysis of the existing works on life cycle assessment of energy storage systems is performed, the system boundaries and indicators are determined. In addition, the Russian market of energy storage systems is analysed, and a forecast of further development of the energy storage sector in the country is conducted.

Keywords
Battery energy storage system (BESS), lithium ion battery (LIB), environmental product declaration (EPD), life cycle analysis (LCA), system boundaries.

Battery energy storage system (BESS) is a fundamental technology in renewable energy. In general, battery storage enables energy from renewable energy sources, such as solar and wind, to be stored and then released when the power is needed most. Battery energy storage systems are actively used as an innovative and sustainable energy solution; however, few studies have been conducted to assess the environmental impact of the production and utilization of such systems.

Studies have highlighted the technological advancements in energy storage systems, particularly lithium-ion batteries, for electric vehicle applications. Comparative analyses are generally conducted to evaluate the challenges, applications, and limitations of alternative energy storage systems in the context of electric transportation. Within several studies the choice between lithium-ion and lead-acid batteries for battery energy storage systems is analyzed.

The Strategic Research Agenda for batteries 2020 in the short term (2020–2025) includes the development of battery ecolabels, the use of life cycle assessment (LCA) in the initial stages of design, and LCA for next generation batteries as sustainability requirements.

Regarding the field of energy storage, only a few declarations for Solar String Optimiser and inverters by AB Ferroamp and GoodWe Technologies Co., Ltd. are currently published in the International Environmental Product Declaration (EPD) database. At the same time, a separate declaration is developed for DEEPAL S07 Battery Electric Vehicle by Changan Automobile [1]. LCA is the basis for the development of Type III environmental declaration and category rules for any product. Published regulations and declarations provide a valuable information base for research and life cycle assessment of lithium-ion batteries and energy storage systems.

Recent studies on LCA of energy storage systems have paid little attention to the end of product life [2, 3]. Therefore, a more in-depth study of the environmental impact of the disposal of batteries and other BESS components is required.

This research aims to investigate the factors affecting the environmental footprint of BESS covering the different stages from raw material extraction to disposal or end-of-life recycling, to define system boundaries, objectives and criteria for battery life cycle assessment. By analysing the life cycle of a BESS, relevant environmental impacts such as resource depletion, greenhouse gas emissions and other potential environmental effects can be accessed.

The PEST analysis (contextual analysis) was conducted to investigate the current position, potential and direction of development of the Russian BESS market. PEST is an acronym for political, economic, social and technological factors that are used to evaluate a market. In this study, PEST

analysis has been conducted in relation to the Russian BESS market based on published statistics and reports from stakeholders.

The estimation of probable change for each factor under consideration, reflecting the real significance of the factor and the need for its monitoring, was determined using the following formula:

$$C = \frac{I_i}{\sum_i^n I} \times L_i,$$

where C – the factor under consideration; I_i – level of influence of the factor i (1-3 scale): 1 – the impact is insignificant and has almost no effect on performance; 2 – it is only significant if there is a major change; 3 – the slightest fluctuation will strongly affect the object of analysis; $\sum_i^n I$ – sum of the levels of influence of all factors; L_i – likelihood of changing for the factor i (1-5 scale).

The results of the PEST analysis are presented in the table 1. Import substitution and legislation have the biggest impact on the battery energy storage systems market from a policy perspective.

Table 1

The weighted results of the PEST analysis of Russian BESS market

	Factor	Weight		Factor	Weight
Political	Import substitution	0,31	**Economic**	Price of lithium-ion batteries	0,31
	Regulation	0,25		Energy costs	0,25
	Customs duties and trade agreements	0,08		State of the BESS market	0,13
	National and strategic initiatives	0,06		Financing and investment	0,13
	Stability of the political environment	0,04		Stability of currency exchange rate	0,08
Social	Increased demand for electric vehicles	0,25	**Technological**	Electronic waste recycling possibilities	0,21
	Human resources and competence development	0,13		Transition to renewable energy sources	0,19
	Consumer expectations	0,13		Implementation of Smart Grid and other Internet-of-Things products	0,17
	Environmental agenda	0,04		Raw materials extraction	0,17
	Social responsibility of manufacturers	0,02		Manufacturing innovation	0,13

At the moment, the market uses raw materials and products from foreign manufacturers, but projects for domestic production and extraction of the necessary raw materials in Russia are also being rapidly developed. Planned changes in legislation, such as the enactment of the law on energy storage systems, will help to solve many problems that stand in the way of development of the energy storage market.

From an economic point of view, the development of the market for battery energy storage systems will be fuelled primarily by changes in electricity prices, but also due to lower prices for lithium-ion batteries. Rising electricity prices for private households and small entrepreneurs will favour the spread of energy storage technologies. At the same time, lithium mining prices have been steadily decreasing, which has an impact on lower battery prices; this will also be fuelled by own production and extraction of raw materials. The use of energy storage systems may soon be much more favourable.

Some of the social factors that can influence the market include increasing demand for electric vehicles, consumer expectations, and developing competencies in energy storage. According to expert forecasts, batteries for electric transport will hold a large market share in the coming years, as it has developed rapidly. However, the emergence of a large number of batteries on the market will contribute to the development of stationary storage systems. At the same time, the demand for energy storage technology in the industrial sector is gradually growing, and the government is supporting relevant educational and scientific and technical projects.

In terms of technology development, the possibilities of recycling e-waste, especially lithium-ion batteries, as well as the transition to renewable energy play a major role. Along with the increase in the production of lithium-ion batteries, large-scale recycling is planned and efficient technologies

in this field are being explored. Interest in renewable energy is low but continues to grow with the cheaper cost of renewable energy.

A product life cycle assessment (LCA) is the consideration of a product's environmental impact throughout its life span, including production, transportation, operation and disposal. The LCA can be applied as a decision-making tool from the product conceptualization or design process, as it identifies the points which are critical from an environmental point of view, and should be changed, improved or replaced before production begins.

BESS are mentioned in the Product Category Rules (PCR) 2019:14-c-PCR-024 PV Components: Invertors, Battery Energy Storage Systems, Combiner Boxed and Tracker Systems (2023-01-02) [1]. However, EPD China has developed the EPDCN-PCR-202205 for Energy Storage Battery to ensure different LCA practitioners generate consistent results while developing an EPD or carbon footprint report.

The stages of LCA described in the document include: Production stage A1-A3 (raw materials production, transportation, product manufacturing); Distribution stage – product transportation (A4); Installation and construction (A5); Use stage B1-B7 (product use, maintenance and repair, replacement and refurbishment, operation energy and water use); End-of-life stage C1-C4 (de-construction, waste transportation, sorting or disposal, incineration or landfill). The final stage (D) implies reuse, refurbishment or recycling burdens and potential benefits within the principles of circular economy.

The system boundaries are defined by default – "cradle to grave" and production stages A1-A3 are mandatory for disclosure. The developed product category rules battery energy storage systems include guidance for establishing system boundaries in life cycle assessment and include production, transport, installation, use and end-of-life stages, and highlight reuse, recycling and recovery as a separate stage.

J. Porzio and Corin D.S. in their study provide recommendations for LCA studies for rechargeable batteries produced for grid- and vehicle-based applications based on a review of common practices [2]. Priority is given to processes and materials predominant in environmental impacts due to the complexity of the overall analysis and in an attempt to obtain more reliable and interpretable results. Three scales of facilities in GWh per year of battery capacity can be chosen to better interpret the results. In addition, market reports can be used to estimate the average energy consumption in Russia for battery production, based on which potential trends can be predicted, to provide valuable information for future research.

A lithium ion battery cell is a type of rechargeable electro-chemical battery in which lithium ions move between the negative electrode through an electrolyte to the positive electrode and vice versa. Lithium-ion battery cells are a family of cells that consist of an anode (negative terminal) and a variety of different types of cathodes (positive terminal) and electrolytes. The anode and cathode serve as host for lithium ions.

About 40 percent of the carbon footprint of the battery comes from the mining, conversion and refining step of the active materials of the cells where nickel, manganese, cobalt and lithium are processed into cathode powder. Aluminum is important for the pack component because of its light weight but it is a very energy-intensive material, representing 17 percent of the battery’s carbon footprint. The majority of today's commercial lithium production involves salt flat brines. Brine extraction drains drinking water from natural underground reserves, it requires toxic chemicals, which have a negative environmental impact, to process lithium.

Battery manufacturing comprises around two thirds of the cradle-to-gate energy demand for LIBs, although this ratio can vary considerably depending on manufacturing facility scale and utilization. Unlike raw material extraction and processing, most environmental impacts during the battery manufacturing process are directly linked to energy use (onsite combustion and off-site electricity generation). Actual cell production is the second most energy-demanding activity and represents 20 percent of the carbon footprint due to the energy used during the manufacturing process. There are also direct emissions related specifically to production and assembly, among which researchers note the release of greenhouse and toxic gases (CO_2, CH_4, N_2O, etc.)

Although battery manufacturing involves many different processes, the majority of energy used in most battery manufacturing plants operating today is dominated by two key activities, namely evaporating the N-methyl-2-pyrrolidone solvent and maintaining the facility’s dry room. Each of these

processes represents around 40% of the total energy use associated with cell manufacturing, together consuming around 80% of the total energy consumed.

The study of Kuban State Technological University found that nickel-metal hydride batteries have the greatest environmental impact in all categories, lithium-ion and nickel-salt batteries have the lowest environmental impact, and their impact is negligible in a number of indicators, including Climate change and Oxidation [4]. Sodium ion batteries started gaining popularity as an analogue to lithium-ion batteries and as advantages manufacturers highlight the increased safety of use and greater availability of raw materials. A significant disadvantage is their larger size, however, for stationary energy storage systems this problem will not be so relevant.

As the production of Li-ion batteries (LIBs) increases, the issue of their utilisation and recycling becomes more and more important. The storage of waste batteries is potentially unsafe and environmentally undesirable. During the storage of spent batteries, volatile electrolytes and other additives from spent batteries can form toxic corrosive substances (including volatiles) that are hazardous to human health and, if the spent batteries are disposed of, can contaminate soil and water.

In different countries, many companies are testing the possibilities of LIB recycling. LIBs cannot be reused directly; they must undergo complex regrouping processes. Reuse is preferable to minimise environmental impact, but it too requires energy, labour and material consumption such as sheet metal sheathing. In addition, recycling leads to weaker energy efficiency, batteries.

Currently, most processing methods include hydrometallurgical, pyrometallurgical or pyrohydrometallurgical combined processing [5]. Pyrometallurgical process is the treatment with temperatures of 5000°C and above, without the involvement of aqueous media in order to purify metals. The final secondary products are the active anode compound metals (Mn, Ni, Co, Fe), Al, and Li are found as part of the slag, which is further used as an additive in concrete.

The hydrometallurgical method consists in pouring the entire volume of material into sulphuric acid, a salt solution is formed, which is evaporated, and crystalline sulphates are obtained, which are used as fertilisers in agriculture and as reagents in the chemical industry.

The reuse of metals and plastic has a positive effect on overall impact. The highest impact on health and environment is caused by the disposal of electronic waste, while for resource use the main impact is due to the pyrometallurgical and hydrometallurgical processes needed to recover lithium, cobalt, and nickel.

The figure shows the system boundaries determined within the LCA stages, including primary material extraction, production phase, utilisation phase and disposal phase. The utilisation phase includes the recycling and final disposal processes. It is assumed that materials recovered during the recycling process are fully utilised for the production of new BESS ('closed loop').

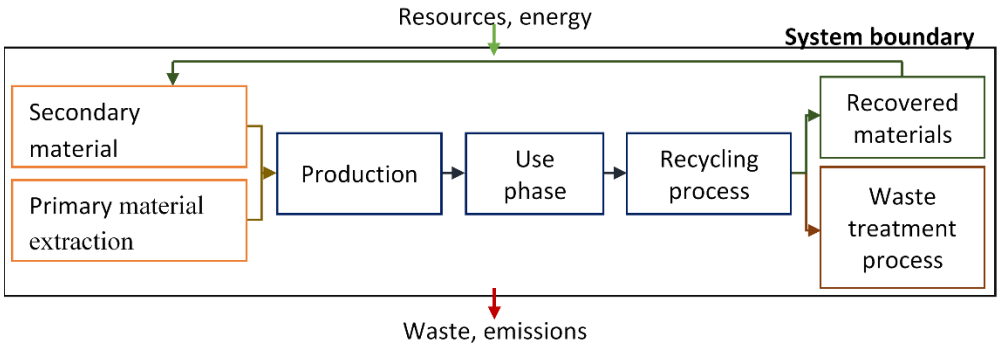


Figure. System boundaries of the reviewed LCA scope

Defined properties of the implemented LCA scheme are presented in the table 2.

Despite the lagging Russian market in energy storage, increasing use of renewable energy and development of electronic vehicles are favourably affecting the opportunities for deployment of battery energy systems. With the growing demand for lithium-ion batteries, an increase in the extraction of lithium, nickel, copper, aluminium and cobalt is expected, and, as a result, an accelerated depletion of natural resources. Domestic battery production and resource extraction in Russia will play a significant role in the spread of battery energy storage systems.

Table 2

Determined goals and scope for LCA of BESS

Criteria	Methodological choice
LCA goal	Comparison of lithium-iron-phosphate and lithium-nickel-manganese-cobalt-oxide batteries when applied as part of an energy storage system
Functional unit	The environmental impacts calculated per one kWh of energy delivered by the considered systems over their lifetime (the functional unit)
Indicators	Global warming potential with a 100-year time horizon (GWP)
	Mineral, fossil & renewable resource depletion (ResD)
	Freshwater ecotoxicity (ETox)
System boundaries	Cradle-to-grave
Region	Russia North-West Region
ISO	ISO 14040:2006, ISO 14044:2006, ISO 6469 series
PCR	EPDCN-PCR-202205; PCR 2019:14-c-PCR-024
LCA Software	SimaPro
Data Base	Provided data, results obtained during, tech project, research and senior internships; public databases on EPDs

The main processes contributing to energy consumption and environmental impacts at manufacturing stage are the N-methyl-2-pyrrolidone solvent evaporation and dry room conditioning. The use of acids in the recycling process has a negative impact on the environment and also results in waste containing toxic components. The storage and use of spent lithium-ion batteries is associated with toxic emissions. The highest impact on health and environment is caused by the disposal of electronic waste, in particular, the pyrometallurgical and hydrometallurgical processes needed to recover lithium, cobalt, and nickel.

The objective of the future work is to quantify the potential environmental impact of peripheral components in general for a typical battery energy system from a full life cycle perspective, based on primary data on system composition. In order to conduct a comparative life cycle assessment of Russian-made lithium-ion batteries, it is necessary to use the most reliable data provided by the company and borrowed from open databases. An important aspect of the analysis is the consideration of several product end-of-life options. The use of standards and specialised software can also contribute to the representativeness of the results.

References

1. The International EPD System Library official website. [Electronic resource]. – Access mode: https://www.environdec.com/library (access date: 21.01.2024).
2. Jason Porzio, Corinne D. Scown Life-Cycle Assessment Considerations for Batteries and Battery Materials // Advanced Energy Materials – 2021. – Vol. 11. – №. 33. – Access mode: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/aenm.202100771 (access date: 19.01.2024).
3. Matthew A. Pellow, Hanjiro A., Dustin M., Rick B., Stephanie S. Research gaps in environmental life cycle assessments of lithium ion batteries for grid-scale stationary energy storage systems: End-of-life options and other issues // Sustainable Materials and Technologies. – 2020. – Vol. 23. [Electronic resource]. – Access mode: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214993718302318 (access date: 18.01.2024).
4. Chuvyrova A.E., Iosifov V.V. Integration of product life cycle assessment into the methodology of management of regional energy system development // Drukerovsky vestnik. – 2019. – Vol. 71. – №. 3. – Pp. 292–303.
5. Paravian T.M. About the environmental assessment of the cycle of automotive lithium-ion batteries // In collection: Student Science – A Gaze into the Future. Materials of the XVIII All-Russian Student Scientific Conference / resp. for exec. Potapova S.O; Krasnoyarsk State Agricultural University. T. 1. – Krasnoyarsk: Publishing Centre of KSAU, 2023. – Pp. 253–256.

УДК 550.4.08

МЕТОДОЛОГИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ТАЕЖНЫХ ПОЧВ

***Мешечко М.И.*[1]** *(студент),* ***Динкелакер Н.В.*[1]**, ***Динкелакер Н.Й.*[1]** *(аспирант)*
***Научный руководитель – Динкелакер Н.В.*[1]**

1 – Университет ИТМО

e-mail: 336825@edu.itmo.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №623116 «Накопление тяжелых металлов и депонирование углерода в эталонных и нарушенных экосистемах».

В рамках исследования рассматриваются основные этапы проведения лабораторных анализов, включая подготовку образцов, методы экстракции и спектрофотометрического определения содержания органического вещества. Результаты исследования позволяют получить информацию о составе и свойствах почвенного материала, что имеет важное значение для понимания экологических процессов в таежной зоне.

Ключевые слова
Органический углерод, титриметрический метод определения, почвенный горизонт, калибровочный график, газовая хроматография, CNS анализатор.

Содержание органического вещества в почве является важным показателем ее плодородия, так как в нем содержится большая часть азота, фосфора, серы и микроэлементов. Почвы с высоким содержанием органического вещества в форме гумуса обладают хорошей структурой, способностью удерживать питательные вещества и высокой устойчивостью к изменениям в кислотности и основности. Гумусовые вещества также могут оказывать прямое влияние на растения, способствуя их росту и развитию.

Исследование органического вещества почв является актуальной и важной задачей современной экологии. Таежные почвы представляют собой уникальную систему, обладающую особыми свойствами и функциями. Органическое вещество в таких почвах играет ключевую роль в поддержании и улучшении их плодородия, а также в циклах углерода и других элементов [1].

Методология лабораторного исследования органического вещества таежных почв имеет свои особенности и требует специального подхода. В данной статье рассматривается методика проведения лабораторных исследований органического вещества в таежных почвах, анализируются основные этапы работы, используемые методы и приборы, сравниваются полученные различными методами результаты определения содержания углерода.

Существует три основных способа определения уровня углерода в почве: титриметрический метод, газовая хроматография и метод с использованием автоматических элементных анализаторов [2–4]. Достоинства первых двух методов: малая масса пробы (от 50 мг для титриметрического метода и от 2 мг для газохроматографического); низкую относительную погрешность (до 20% мг для титриметрического метода и до 26% для газохроматографического). Первый метод также не предъявляет высоких требований к пробоподготовке, в отличие от двух последних. К недостаткам первого метода можно отнести временные затраты на проведение опыта. Недостатком метода анализа с использованием анализатора является высокая масса пробы (от 200 мг для моделей автоматического элементного анализатора). Второй и третий методы дороги в реализации, так как требуют дорогостоящего оборудования и реактивов (гелий, чистый кислород).

Цель данной работы — систематизировать и обобщить указанные методы и приемы лабораторного анализа органического вещества таежных почв с учетом погрешностей и интервалов измерения, исследовать возможность их применения к разным видам таежных почв.

Анализ содержания органического вещества в почвах может проводиться различными методами, имеющими свои преимущества и недостатки. В связи с этим, при исследовании почв определенного региона, выбор метода имеет важнейшее значение. Данное исследование проводится в отношении почвенно-растительного комплекса европейской средней тайги, для которого возможно есть опыт применения различных методов определения углерода. Поэтому на первом этапе исследования был проведен анализ возможных методических подходов, на основе которого сделан выбор метода для исследования содержания органического углерода в единице веса почв старовозрастных лесов Республики Коми.

Метод, описанный в ГОСТ 26213–2021, имеет низкую себестоимость анализа, так как не требует применения дорогостоящих реактивов (газообразного кислорода и гелия), может быть осуществлён в любой химической лаборатории, имеющей в своем распоряжении спектрофотометр. Для работы со спектрофотометром также не требуется высокая квалификация лаборанта. Масса пробы не превышает 100 мг, пробоподготовка сводится к мелкому истиранию и взвешиванию на аналитических весах [3]. Использование стандартного графика, основанного на результатах измерения оптической плотности окисленного восстановителя (глюкоза либо соль Мора), позволяет добиться, с одной стороны, воспроизводимых результатов, с другой — дать поправку на реагенты различной квалификации. К недостаткам может быть отнесена работа с сильными окислителями (серная кислота и бихромат калия), нивелируемая низкой стоимостью реактивов.

Небольшой объем минимальной пробы, наименьший человеческий фактор являются безусловными достоинствами метода анализа с использованием **газовой хроматографии**. Элементный анализатор обеспечивает высокую точность определения элементов, входящих в состав. Метод газовой хроматографии также может быть применён при оценке концентрации других элементов в почве: азот, сера и т. д. Однако данный способ может учитывать также и неорганический углерод в форме угля, что может исказить результаты. Немаловажным фактором также является использование в методике в качестве газа-носителя гелия и кислорода для окисления углерода в составе пробы. Помимо высокой стоимости, использование кислорода может быть опасно по соображениям безопасности труда.

Метод с использованием элементного анализатора может обеспечить высокую точность и воспроизводимость, но может потребовать специфичных реактивов для проведения анализа, что может повлиять на его стоимость и доступность.

Автоматический элементный анализатор позволяет определять содержание не только углерода, но и прочих веществ, входящих в состав почвы. По причине высокой стоимости оборудования, невозможности использования данного метода в полевых условиях, высоким требованиям к чистоте пробы и высокой минимальной массе аналита (от 200 мг) не получил широкого распространения. Также недостатком указанного метода является низкая воспроизводимость результатов по причине разномастного парка анализаторов в организациях, имеющих к ним доступ.

Использование указанных методов зависит от оснащенности лаборатории; объема пробы почвы, находящейся в наличии; количества проб. Так, проведение анализа титриметрическим методом занимает не менее полутора часов, но позволяет обеспечить проведение анализа с использованием минимальных навесок в воспроизводимых условиях, с минимальными затратами на реактивы. Проведение анализов другими методами (методом газовой хроматографии и элементным анализом) требует меньшего времени, чем титриметрическим методом, но обходится дороже по причине использования дорогостоящих реактивов и высокой квалификации оператора.

Результаты сравнительного анализа почв с абсолютными погрешностями указанными методами представлены в таблице 1.

В настоящей работе проводилось исследование почв методом Тюрина, согласно ГОСТ 26213–2021 [3]. Реактивы: соль Мора (Аммоний-железо (II) сернокислый, согласно ГОСТ 4208); Калия гидроокись по ГОСТ 24363; Калий двухромовокислый по ГОСТ 4220; Калий марганцовокислый, стандарт-титр для приготовления раствора концентрации $c_{(1/5\ KMnO4)}$ = 0,1 моль/дм^3 (0,1 н.); Натрий сернистокислый по ГОСТ 195; Кислота серная по

ГОСТ 4204 концентрированная и раствор концентрации $c_{(½\ H2SO4)}$ = 1 моль/дм^3; Вода дистиллированная. Для проведения измерений оптической плотности был применен спектрофотометр ПЭ-5400УФ. Окисление углерода проводилось при нагревании на песчаной бане, в мерных пробирках емкостью 100 мл. Центрифугирование проводилось на центрифуге СМ-6М. Для титрования была использована бюретка вместимостью 50 см^3.

Таблица 1

Сравнение методик определения концентрации органического вещества в почве

Шифр почвы	Реальное значение	Метод		Расхождение	
		Тюрина в модификации ЦИНАО	Хроматографический		
	w_C	w_C	w_C	фактическое	допустимое
СП-2	0,55	0,61	0,57	0,04	0,21
СП-3	1,70	1,50	1,64	0,19	0,33
СП-1	3,60	3,50	3,70	0,20	0,57
№ 1	—	0,27	0,10	0,17	0,05
№ 2	—	0,90	0,82	0,09	0,26
№ 3	—	1,19	1,30	0,12	0,33
№ 4	—	1,75	1,92	0,17	0,26

Суть метода Тюрина состоит в окислении органического вещества почвы до углекислоты хромовой смесью. Содержание углерода в форме гумуса рассчитывается по количеству образующегося трехвалентного Cr, определяемого спектрофотометрическим методом.

Для расчета содержания углерода в пробе применяется калибровочный график, построенный на основе измерения оптической плотности растворов соли Мора (двойной сернокислой соли аммония и железа) (рис. 1).

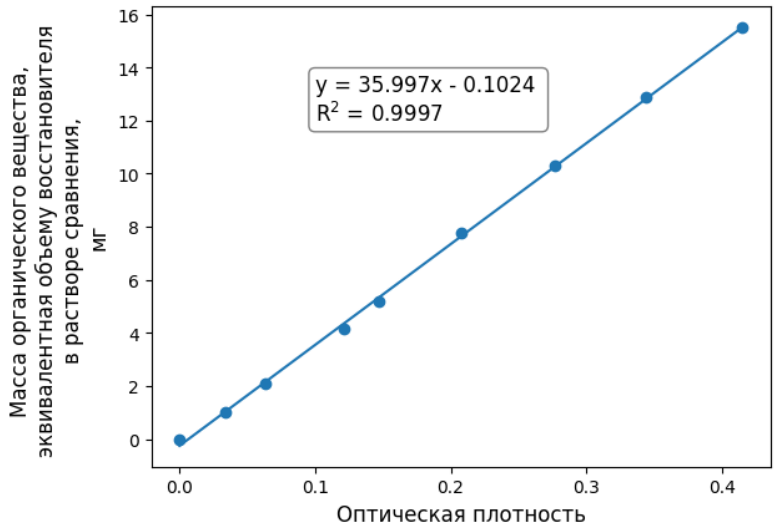


Рис. 1. Зависимость массы органического вещества, эквивалентной объему восстановителя в растворе сравнения от оптической плотности

В настоящем исследовании был проведен анализ содержания углерода органического вещества образцов среднетаежных почв из малонарушенных старовозрастных (более 180 лет) лесных массивов Республики Коми с использованием методом Тюрина. Почвы относились к суглинистым и, в отдельных случаях, супесчаным, но имели разные биотические условия почвоообразования. Несмотря на то, что в них сравнительно мало развиты биогенные горизонты (рис. 2), точное определение содержания углерода в их горизонтах имеет большое значение при оценке пулов углерода, так как они занимают большие площади. В качестве

экспериментальных образцов были выбраны образцы лесной подстилки и гумусового подгоризонта (А0 и А1) различных лесов (березняк, ельники, сосняки).

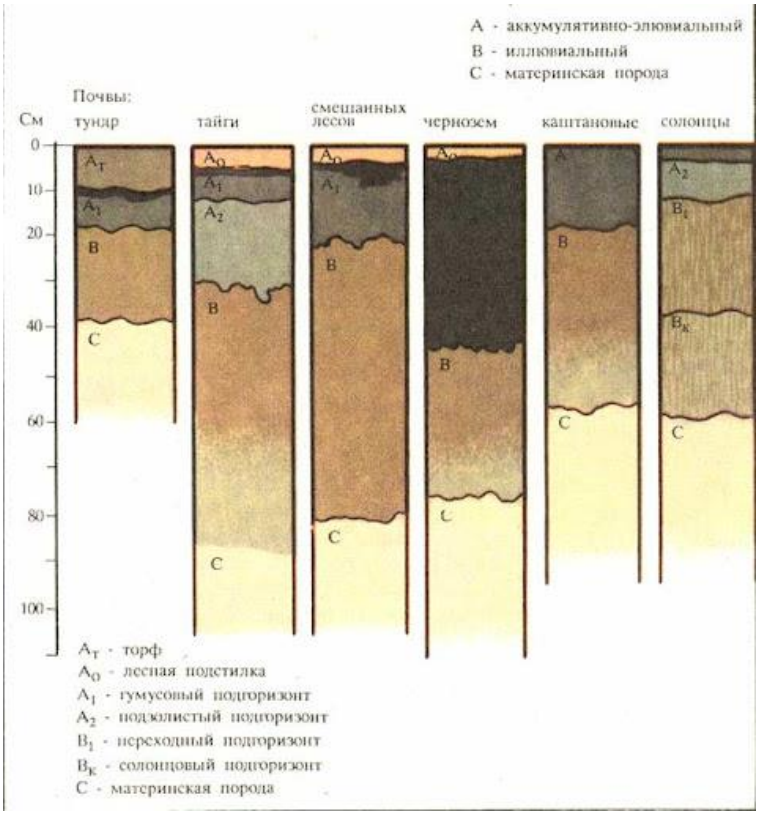


Рис. 2. Строение почвенных горизонтов [5]

В ходе исследования было проведено изучение содержания углерода органического вещества в 14 типах почвенных образцов методом Тюрина [4]. Они представляли из себя образцы лесной подстилки и гумусового подгоризонта (А0 и А1) из 7 типов лесов (березняки, ельники, сосняки). Результаты представлены в таблице 2 и на рисунке 3.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что содержание углерода в единице веса почвы зависит почвенного горизонта: так, подстилка является более богатой органическим углеродом, чем гумусовый горизонт по той причине, что состоит из листового опада, в отличие от гумусового горизонта, являющегося смесью гумуса и не содержащих углерода веществ (например, песок) (рис. 3) [5].

Таблица 2

Содержание органического углерода в образцах таежных почв

Лесорастительные условия	**горизонт**	**$C_{орг}$, %**
сосняки лишайниковые (более 180 лет)	подстилка (АО)	55,22
	гумусовый слой (А1)	21,17
сосняки брусничные (более 180 лет)	подстилка (АО)	59,87
	гумусовый слой (А1)	26,90
ельники черничные (более 180 лет)	подстилка (АО)	54,20
	гумусовый слой (А1)	23,30
ельники долгомошные (более 180 лет)	подстилка (АО)	56,87
	гумусовый слой (А1)	40,37
сосняки долгомошные (более 180 лет)	подстилка (АО)	60,83
	гумусовый слой (А1)	54,78
ельники сфагновые (более 180 лет)	подстилка (АО)	62,10
	гумусовый слой (А1)	54,70
березняки (40 -80 лет)	подстилка (АО)	46,11
	гумусовый слой (А1)	47,90

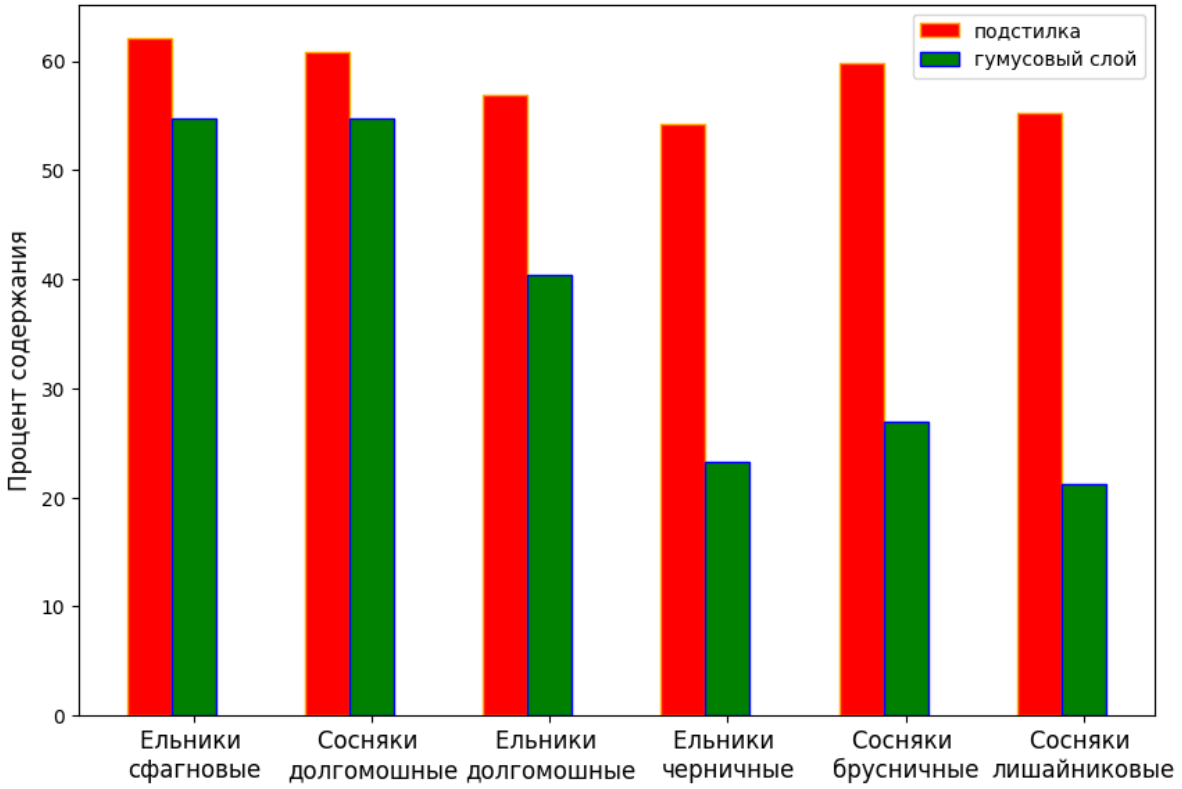


Рис. 3. Содержание органического углерода в образцах таежных почв

Различия в содержании углерода в единице веса почвы в разных лесорастительных условиях (ельник, березняк, либо сосняк; сфагновый, черничный или брусничный) зависит от продукционных особенностей растительного покрова: сфагновый ельник лидирует по причине большой биомассы сфагнума. При сравнении содержания углерода в единице веса почвы в ельнике и в сосняке долгомошных большее содержание углерода может быть обнаружено в ельнике, более увлажненном и имеющем более продуктивные нижние ярусы леса.

Список использованных источников

1. Бахмет О.Н., Преснухин Ю.В. Генезис и плодородие почв на коренных почвообразующих породах // Разнообразие почв и биоразнообразие в лесных экосистемах средней тайги. М.: Наука, 2006. С. 18–37.
2. Skjemstad J.O., Baldock J.A. Total and Organic Carbon / Soil Sampling and methods of Analysis. 2nd edition. — CRC Press. – 2008. – 836 p.
3. ГОСТ 26213–2021. Почвы. Методы определения органического вещества. — Введен 14.07.2021. — М.: Стандартинформ, 2021. – 11 с.
4. Сравнительная оценка методов определения органического углерода и общего азота в почвах. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ib.komisc.ru/add/old/t/ru/ir/vt/01-41/03.html (дата обращения: 14.03.2024).
5. Строение почвы (функциональные зоны и генетические горизонты) // StudFiles. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studfile.net/preview/6876957/ (дата обращения: 14.03.2024).

УДК 504.064

АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ВОД ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Мокеева О.Б.[1] *(студент)*
Научный руководитель – к.т.н., доцент Агаханянц П.Ф.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: olya_mokeeva@mail.ru

В работе рассмотрены и проанализированы исследования, посвященные определению направления распространения различных загрязняющих веществ (ЗВ), поступающих в окружающую среду с фильтрационными водами полигонов твердых коммунальных отходов (ТКО), а также исследования влияния сезонности и климатических параметров на состав фильтрационных вод. Особое внимание уделено последним в связи с невозможностью определения направления распространения загрязняющих веществ без учета климатических факторов.

Ключевые слова
Фильтрационные воды, состав фильтрата, полигон ТКО, загрязняющие вещества, сезонность, климатические факторы.

Размещение отходов ТКО на полигонах остается распространенным вариантом обращения с отходами во многих странах. С данным процессом связан целый комплекс серьезных экологических проблем. Основное негативное воздействие полигона ТКО на окружающую среду обусловлено влиянием фильтрационных вод [1].

Изучение химического состава фильтрата и факторов, влияющих на него, важно для определения уровня негативного воздействия этой трудно предсказуемой системы на окружающую среду.

На данный момент особый интерес представляют исследования, посвященные определению направления распространения различных ЗВ, а также исследования влияния сезонности и климатических параметров на состав фильтрационных вод полигонов ТКО.

Особенности фильтрационных вод. Экологическая значимость воздействия фильтрационных вод на окружающую среду обусловлена мобильностью жидкой компоненты: во-первых, она является средой для переноса большого количества различных загрязняющих веществ, во-вторых, результатом взаимодействия компонентов системы грунт — жидкое вещество — газ [1].

В этой среде создаются наиболее благоприятные условия для образования комплексных соединений с металлами, присутствующими в отходах, возможного перевода их в растворимые формы и миграции с водными потоками в окружающую среду.

Сложный химический состав ФВ зависит от множества факторов и имеет многолетнюю динамику, в частности существует зависимость от комплекса климатических условий местности, на которой расположен полигон [1].

Исследования, посвященные миграции ЗВ. Направление исследований, посвященных миграции ЗВ, имеют существенное ограничение. Оно точно описано в исследовании состояния территории несанкционированной свалки вблизи города Херцег-Нови в Черногории. Место сброса отходов представлено на рисунке 1 [2].

У объекта есть ряд особенностей: во-первых, он расположен в зоне естественного перепада высот. Расстояние от места сброса отходов до нижнего края основной массы отходов составляет примерно 20 м. Во-вторых, в данном регионе отмечается обилие осадков.

На основании данных о перепаде высот авторы выдвинули предположение об аккумуляции ЗВ в нижней части склона [2].

Рис. 1. Место сброса смешанных коммунальных отходов

Далее, путем расчета индекса загрязнения с учетом классов опасности загрязнителей, был получен результат: зависимость между высотой точки отбора проб и индексом загрязнения отсутствовала (рис. 2) [2]. Авторы объяснили это тем, что в условиях выпадения большого количества осадков, ЗВ могли быть смыты со склонов с дальнейшей аккумуляцией в долинах.

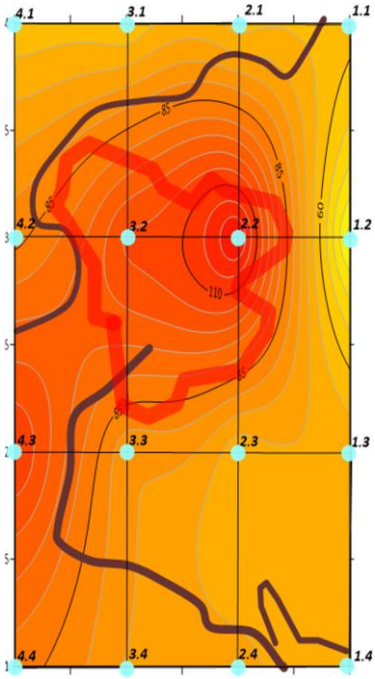


Рис. 2. Схема распределения значения $Z_{ст}$

Обозначения: – дорога, – граница полигона, 4.4 – точка пробоотбора

Таким образом, исследование распространения ЗВ невозможно без учета комплекса климатических факторов, так как влияние погодных условий на состав образующихся ФВ и направление распространения загрязнений является первостепенным.

Исследования влияния сезонности. Существует большое количество исследований, посвященных влиянию сезонности и различных климатических факторов на состав образующегося фильтрата. В исследованиях на местности с континентальным климатом авторы работ обнаруживают значительный кратный рост ЗВ в летний период. Предполагается, что снижение токсичности в зимний период связано со снижением количества испаряющейся влаги и вымыванием ЗВ [3].

Существуют также исследования сезонных колебаний характеристик фильтрата в тропиках. Тропический климат характеризуется наличием сезона дождей и сухого сезона. Периоды мониторинга состава фильтрата охватывали оба сезона во всех упомянутых далее исследованиях.

Наблюдения за составом фильтрата в Бангладеш и Индии показали, что наибольшая деградация ТКО происходила в сезон дождей, а наименьшая – в сухой сезон. Низкая степень выщелачивания в сухой сезон привела к меньшему объему, но высокому качеству фильтрата [4].

Результаты исследований, проведенных индонезийскими авторами, показали результаты строго противоположные упомянутым выше: в сухой сезон концентрации БПК, ХПК, N-органических веществ, аммиака, сульфатов были значительно выше (в 1,1–2,3 раза), чем в сезон дождей. Из чего был сделан интуитивно ясный вывод о том, что разбавление – основной естественный процесс ослабления (разбавления), воздействующий на фильтрат [5].

Данные работы, на мой взгляд, являются довольно противоречивыми. Во-первых, разбавление не является оптимальным процессом ослабления, поскольку не снижает абсолютную нагрузку ЗВ, во-вторых, коэффициент разбавления обязательно должен быть учтен при анализе гидрохимических показателей. Результаты анализа представлены в таблице.

Таблица

Исследования влияния климатических факторов на состав фильтрата

Полигон	Регион	Климат	Выводы авторов по исследованию
Карасайский полигон	Алматинская область	Умеренно-континентальный: сухой воздух, большое количество солнечных дней	Рост содержания ЗВ в летний период в связи с вымыванием и меньшим количеством испаряющейся влаги
Полигон ТКО Хметьево	Московская область	Влажный умеренно-континентальный	
–	Бангладеш	Тропический климат: выпадение большого количества осадков в летний сезон	Рост содержания ЗВ в сезон дождей вследствие большей деградации ТКО
Полигон г. Лудхиана	Индия		
Полигон г. Беново	Индонезия		Рост содержания ЗВ в сухой сезон вследствие разбавления фильтрационных вод
Полигон г. Джатибаранг	Индонезия		

Анализ состава и объема сточных вод является информативным материалом, позволяющим получить данные для подбора метода очистки, что является актуальной проблемой, учитывая объемы образующегося фильтрата.

Сложный химический состав фильтрационных вод зависит от различных факторов, в том числе от погодных условий. Эта многофакторная зависимость является причиной отсутствия единого методологического подхода к оценке объема фильтрата и его качества. Изучение динамики изменения состава сточных вод полигонов ТКО в зависимости от погодных условий является важным шагом в решении проблемы экологической безопасности.

Список использованных источников

1. Вайсман Я.И., Глушанкова И.С. Условия образования и очистка фильтрационных вод полигонов ТБО // Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь. – 2003. – 101 с.
2. Мирошкина А.Е. Оценка состояния территории полигона твердых коммунальных отходов города Херцег-Нови (республика Черногория) // Сборник статей Пятой Всероссийской Школы-семинара молодых ученых «Докучаевские чтения». – Смоленск: 2022. – С. 30–34.
3. Жаппарова Ж.М. Изучение сезонного изменения состава фильтрационных вод полигона захоронения ТБО // Современные проблемы науки и образования. – 2008. – №. 2 – С. 5–8.
4. Rafizul I.M., Alamgir M. Influence of Landfill Operation and Tropical Seasonal Variation on Leachate Characteristics: Results from Lysimeter Experiment // Iranica Journal of Energy & Environment. – 2012. – №. 3. – Pp. 50–59.
5. Mangimbulude J.C, Breukelen B.M., Krave A.S., Straalen N.M., Wilfred F.M. Seasonal dynamics in leachate hydrochemistry and natural attenuation in surface run –off water from a tropical landfill // Waste Management. – 2009. – №. 29. – Pp. 829–838.

УДК 504.064

НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ВБЛИЗИ ТЕРРИТОРИЙ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Мокеева О.Б.[1] *(студент)*
Научный руководитель – к.т.н., доцент Агаханянц П.Ф.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: olya_mokeeva@mail.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №623116 «Накопление тяжелых металлов и депонирование углерода в эталонных и нарушенных экосистемах».

В работе рассмотрены процессы миграции и накопления тяжелых металлов (ТМ) вблизи территорий полигонов твердых коммунальных отходов (ТКО). В связи с тем, что данный поллютант обладает особенностью – способностью к накоплению, представляет интерес процесс миграции и непосредственно накопления его в почве. Рассмотрены факторы, оказывающие влияние на данные процессы. Особое внимание уделено кислотности почвы, являющейся основой для исследования геохимических барьеров.

Ключевые слова
Тяжелые металлы, фильтрационные воды, состав фильтрата, миграция ЗВ, геохимические барьеры.

На данный момент размещение твердых коммунальных отходов (ТКО) на полигонах является наиболее распространенным методом обращения с ними. Кроме санкционированных мест размещения, существуют также нерекультивированные закрытые полигоны и несанкционированные свалки. Все перечисленные объекты оказывают определенное антропогенное влияние, и, несмотря на предупреждающие его мероприятия, происходит постоянный вынос загрязняющих веществ за границы участка размещения отходов. Данное явление обуславливает наличие ареалов загрязнения, различных по своему характеру и размеру [1].

Особенностью ТМ как загрязняющих веществ является их способность к накоплению, что приводит к постепенному изменению химического состава почв, нарушению единства геохимической среды и живых организмов [2]. Так, в рассмотренных работах, посвященных исследованию процессов накопления и миграции тяжелых металлов отмечается превышение ПДК в 1,5–100 раз, что делает актуальными исследования, посвященные механизмам распространения ТМ.

Процесс поступления ТМ в окружающую среду. Поступление тяжелых металлов в окружающую среду в основном происходит вместе с потоками фильтрационных вод. В их составе металлы и соединения, образованные ими (комплексные соединения с органическими лигандами, труднорастворимые гидроксиды и соли), являются основными неорганическими компонентами. Их содержание, как и значения подавляющего большинства других показателей, зависит от стадии деструкции отходов – стадии жизненного цикла полигона.

В течение ацетогенной фазы снижается значение pH фильтрационных вод, что связано с образованием карбоновых кислот, которые, в свою очередь, активно переводят металлы в растворимую форму с образованием комплексных соединений. Так, наиболее интенсивная миграция ТМ в окружающую среду происходит на стадии ацетогенеза (рис. 1). Далее, до гумусовой фазы значительно снижается, но не прекращается окончательно [1, 2].

Факторы, влияющие на процесс миграции. Среди основных факторов, влияющих на направление миграции ТМ и процесс их накопления, выделяют следующие: рельеф местности, направление ветра, влияние граничащих объектов, климатические факторы (количество осадков, средняя температура), кислотность, воздушный и водный режим почв, наличие геохимических барьеров [1-4].

Исходя из данных о рельефе местности, можно выдвигать предположения о направлении распространения ЗВ. Климатические факторы напрямую влияют на водный баланс полигона и изменяющийся в связи с ним состав фильтрата. Влияние граничащих объектов также может являться первостепенным. В работе [3], посвященной анализу миграции тяжелых металлов вокруг полигона в г. Тамбов, авторы пришли к выводу, что загрязнение почво-грунтов определялось воздействием не исследуемого объекта непосредственно, а влиянием граничащего уже закрытого полигона. Изначально выдвинутая гипотеза о распространении загрязнения, построенная исходя из условий рельефа и направления ветра, была отвергнута. Таким образом, рассмотрение влияния конкретных факторов возможно только в рамках комплексного подхода.

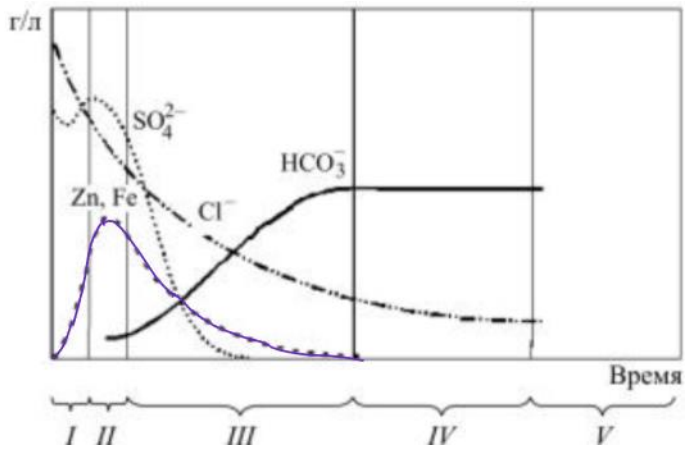


Рис. 1. Изменение химического состава фильтрационных вод на различных этапах деструкции ТКО: I – аэробная деструкция и гидролиз; II – ацетогенез; III – активный метаногенез; IV – стабильный метаногенез; V – ассимиляция [1]

Кислотность почв и геохимические барьеры. В последнее время интерес представляет исследование геохимических барьеров, которое невозможно без учета pH почв. Актуальность таких исследований обусловлена их практической значимостью: информация о расположении геохимических барьеров может быть применена в рекультивационных мероприятиях [4].

В работе [4] был проведен анализ двух зон, находящихся вблизи территории полигона ТКО: подстилающие свалочные грунты (50-метровая зона) и почвогрунты, расположенные за её пределами. Было определено, что в первой зоне за счет протекания метаногенеза в теле полигона, pH находился в области нейтральных и слабощелочных значений. Анализ содержания тяжелых металлов показал в зоне расположения отходов (подстилающих грунтах) значительно большую концентрацию Pb, чем во второй зоне.

Естественный природный уровень pH почвы в районе расположения исследуемых объектов находится в области кислых значений. Так, при удалении из 50-метровой зоны происходит резкое снижение снижения значения pH (с 7 до 5–3 усл. ед.). Анализ содержания ТМ показал снижение концентрации Cd, Zn, Ni, Cr, Cu, что авторы связывают с наличием буферной зоны, образованной вокруг свалочных масс в связи с резким перепадом кислотности почв.

Разность концентраций различных металлов в двух зонах позволила авторам сделать вывод о наличии на данной территории геохимического барьера, имеющего разную «пропускную способность» для различных тяжелых металлов: Pb осаждается на нем активно, в то время как Cd, Ni, Cr, Cu частично мигрируют. Полученные данные согласуются с теорией А.В. Глазовской о том, что свинец является малоподвижным металлом и осаждается на барьере, Cd, Zn, Ni, Cr, Cu обладают умеренной подвижностью и частично мигрируют, а мышьяк и селен мигрируют свободно. Авторы работы также отмечают повышенное содержание последних элементов за контурами предполагаемого барьера [4].

Так, по области нейтральных значений pH, можно провести условную границу, выступающую геохимическим барьером, отделяющим зону складирования (рис. 2).

Для сопоставления данных по распространению тяжелых металлов за пределы барьера и количественной оценки данного процесса, авторами были определены индексы суммарного загрязнения (Zст) для каждого металла с учетом их классов токсичности. Графическая интерпретация результатов показывает, что область с максимальными значениями Zст находится в пределах барьера, то есть в зоне подстилающих грунтов. Распространение загрязнения также происходит согласно контуру буферной зоны.

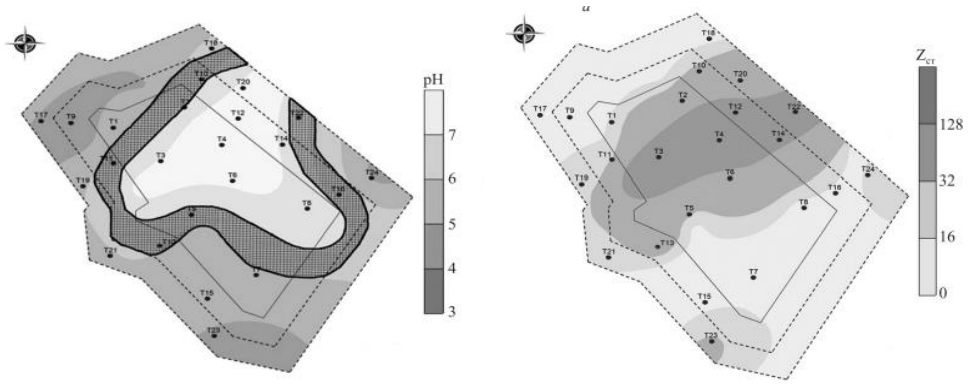


Рис. 2. Кислотно-щелочной режим почв и расположение геохимических барьеров на территории свалок ТКО (слева), распределение суммарного показателя загрязнения с учетом классов опасности (справа). Обозначения: – контур полигона ТКО, – места отбора проб, – геохимический барьер [4]

Таким образом, все объекты, на которых размещены отходы, обладают определенной зональностью. Это явление может быть использовано в качестве уже существующего и не приносящего новой антропогенной нагрузки инструмента рекультивации.

Список использованных источников

1. Управление отходами. Сточные воды и биогаз полигонов захоронения твердых бытовых отходов / Я.И. Вайсман, В.Н. Коротаев, И.С. Глушанкова и др.; под ред. Я.И. Вайсмана – Пермь, 2012. – 259 с.
2. Витковская С.Е., Шилова Ю.О., Малюхин Д.М. Оценка потенциальной экологической опасности фильтрационных вод полигонов твердых коммунальных отходов Ленинградской области // Агрофизика. – 2019. – №. 1. – С. 1–7.
3. Милютина Н.О., Осмоловская Н.Г., Политаева Н.А., Куриленко В.В. Анализ миграции тяжелых металлов в системе “почва–растение” при эколого-геологической оценке окружающей среды вокруг полигона ТКО в г. Тамбов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2020. – №. 3. – С. 55–63.
4. Дуброва С.В., Подлипский И.И. Эколого-геологическая оценка парагенетических геохимических ассоциаций поллютантов полигонов бытовых отходов Ленинградской области // Вестник СПбГУ. – 2014. – №. 1. – С. 22–35.
5. Галицкая И.В., Путилина В.С., Костикова И.А. Оценка состояния полигона ТКО для обоснования мониторинговых исследований в пострекультивационный период // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2022. – №. 5. – С. 49–60.

УДК 579.66, 574.24, 579.64

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА БИОМАССЫ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ

Морщинин И.В.[1] *(студент),* ***Видлер А.Д.***[1] *(аспирант)*
Научный руководитель – к.т.н., доцент Молодкина Н.Р. [1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: 371410@niuitmo.ru

В работе рассмотрены параметры оценки биомассы микроводорослей с целью направленного культивирования. Авторы рассматривают различные методы оценки биомассы, такие как спектрофотометрия, содержание хлорофилла-а и другие. Также рассмотрено влияние различных условий культивирования на производство биомассы микроводорослей. Результаты исследования позволяют оптимизировать процесс культивирования микроводорослей для повышения выхода биомассы и эффективности производства.

Ключевые слова
Микроводоросли, направленное культивирование, биомасса, скорость роста, Chlorella, оптимизация.

Микроводоросли — это фотосинтезирующие микроорганизмы, которые в последние годы вызывают все больший интерес из-за их потенциального применения. Их биологическая способность расти быстрее, чем высшие растения, и их способность преобразовывать солнечную энергию в биомассу и биологически активные молекулы привели к развитию различных систем культивирования для производства различных продуктов с высокой стоимостью, представляющих коммерческий интерес.

Индустриализация процесса выращивания микроводорослей требует введения стандартизированных параметров качества. Чтобы получить биоактивные соединения с высокой добавленной стоимостью на коммерческом уровне, необходимо устойчиво производить биомассу в больших масштабах. Такой процесс будет подразумевать определенные стрессовые условия, такие как изменение температуры, света или pH. Эти условия окружающей среды затруднят поддержание жизнеспособности культуры и защиту выхода и состояния целевых молекул. Физиологическое и биохимическое воздействие этих стрессовых факторов на биомассу микроводорослей потенциально можно измерить по наличию и активности различных биохимических индикаторов, называемых биомаркерами.

В связи с этим, актуальной является задача определения критериев оценки результативности культивирования микроводорослей. Это включает в себя измерение оптической плотности, сухой биомассы, количества клеток, продукции биомассы, содержания пигментов и концентрации продуктов метаболизма. Понимание этих параметров позволит оптимизировать процесс культивирования, улучшить выход биомассы и определить потенциальную ценность микроводорослей для различных промышленных решений.

В литературных источниках для оценки биомассы чаще всего рассматривают такие, как [1]:

- оптическая плотность;
- плотность суспензии;
- содержание пигментов;
- сухая биомасса;
- количество клеток;
- содержание белков/жиров/углеводов.

Определение процента живых, называемых также «жизнеспособными», клеток во всей популяции культуры часто необходимо для определения биологического поведения популяции. Оценка изменений жизнеспособности клеток имеет большое значение для проектирования и управления биотехнологическими процессами, в том числе с использованием микроводорослевых культур. Культуры микроводорослей могут быть склонны к «спонтанным сбоям»; явление, несовместимое с индустриализацией. В крупномасштабных системах действительно сложно получить культуры со 100% жизнеспособностью из-за таких факторов, как механический стресс, УФ-облучение или изменения температуры [1].

Например, для определения доли мертвых клеток в культуре часто используют методы исключения красителей. Эти методы основаны на предположении, что живые клетки непроницаемы для красителей, в то время как некоторые красители, такие как метиленовый синий, трипановый синий, эозин или нильский синий, избирательно окрашивают мертвые клетки, когда проникают через поврежденные цитоплазматические мембраны [2]. Предварительную оценку продуктивности микроводоросли осуществляют методом прямого подсчета клеток в камере Горяева [2].

Оптическая плотность (OD) является одним из наиболее распространенных методов [1] оценки культивирования микроводорослей. Она используется для определения концентрации клеток в культуре и может быть связана с количеством биомассы. Для измерения оптической плотности микроводорослей обычно используют спектрофотометр. Использование оптической плотности для оценки культивирования микроводорослей позволяет быстро и относительно просто получить информацию о концентрации клеток в культуре, что может быть полезно для мониторинга роста и оптимизации условий культивирования.

Хлорофилл — еще одна молекула, которую можно использовать для оценки состояния культуры микроводорослей. Этот пигмент, который является эффективным индикатором физиологического состояния фотосинтетического аппарата, может быть легко деактивирован и разложен при изменении температуры и pH, поскольку он очень чувствителен к этим факторам [3]. В недавнем исследовании оценивался новый метод количественной оценки популяции хлореллы и ее статуса на основе целостности хлорофилла с использованием счетчика клеток на основе изображений с флуоресцентным фильтром для обнаружения хлорофилла [3]. Автор заметил, что клетки, обработанные высокой температурой, значительно изменили свою флуоресценцию с высокой на низкую интенсивность, и пришел к выводу, что этот метод позволяет оценить состояние культуры. Производство флуоресценции хлорофиллом является одной из форм избыточной световой энергии хлоропластами и является полезным инструментом для оценки фотохимического потенциала фотосистемы II (ФСII), а также для мониторинга потенциального клеточного стресса. С количественной точки зрения флуоресценцию хлорофилла можно измерить как косвенный показатель жизнеспособности клеток с использованием метода амплитудно-импульсной модуляции (ПАМ).

Состав клеточных липидов может варьироваться в зависимости от стадии роста микроводорослей и клеточного цикла. Наиболее распространенными измерениями для обнаружения и количественного определения липидов являются измерения, основанные на таких красителях, как нильский красный и BODIPY 505/515 [4]. Эти два красителя используются для оценки содержания нейтральных липидов в микроводорослях. Кроме того, нильский красный проявляет высокое сродство, специфичность и чувствительность к степени гидрофобности липидов, что приводит к сдвигу спектра излучения от красного к желтому в присутствии полярных и неполярных липидов, что позволяет различать их [5]. Изменения условий окружающей среды (например, температуры, света и pH) и доступности питательных веществ влияют на концентрацию внутренних соединений. Когда культура подвергается стрессу, изменения в липидном обмене являются ключевым механизмом адаптации для защиты клетки [5]. Тем не менее, при постоянных неблагоприятных условиях окислительный стресс может привести к перекисному окислению липидов, что в итоге приводит к распаду мембран и гибели клеток. Например, появление свободных жирных кислот (СЖК) как продуктов деградации липидов может быть следствием неправильных условий хранения и/или

длительных сроков хранения, вызванных нежелательной активностью липаз. Для измерения СЖК использовалось несколько методов [5]. Малоновый диальдегид (МДА) является продуктом перекисного окисления липидов, который также можно использовать для оценки потенциального окислительного повреждения клеточных мембран [4].

В результате работы были рассмотрены параметры для оценки качества биомассы микроводорослей при направленном культивировании. В настоящий момент рекомендуется рассматривать комплекс факторов на каждой фазе роста микроводорослей, наиболее оптимальным будет исследование количества клеток и оптической плотности, которые не требуют большого количества пробы и позволяют проводить анализ экстренно.

Список использованных источников

1. Andersen P., Throndsen J. Estimating cell numbers. In: Hallegraeff, G.M., Anderson, D.M., Cembella, A.D.editors. Manual on harmful marine microalgae. Paris: UNESCO. – 2003. – Pp. 99–129.
2. Cullen J.J., MacIntyre H.L. On the use of the serial dilu-tion culture method to enumerate viable phyto-plankton in natural communities of planktonsubjected to ballast water treatment // J Appl Phycol. – 2016. – №. 28(1). – Pp. 279–298.
3. Chaudhari V.R., Vyawahare A., Bhattacharjee S.K. et al. Enhanced excision repair and lack of PSII activitycontribute to higher UV survival of Chlamydomonasreinhardtiicells in dark // Plant Physiol Biochem. – 2015. – №. 88. – Pp. 60–69.
4. Casas-Monroy O., Chan P.-S., Linley R.D. et al. Comparison of three techniques to evaluate the number of viable phytoplankton cells in ballast waterafter ultraviolet irradiation treatment // J Appl Phycol. – 2016. – №. 28(5). – Pp. 2821–2830.
5. Herges J.A., Falkowski P.G. Physiological stress and celldeath in marine phytoplankton: induction of proteases in response to nitrogen or light limitation // Limnol Oceanogr. – 1998. – №. 43(1). – Pp. 129–135.

УДК 631.4; 504.05

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ И РАСТЕНИЙ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ НА ТЕРРИТОРИИ ЮГО-ЗАПАДНОГО КАЗАХСТАНА ГОРОДА АКТАУ

***Нарова Г.*[1]** *(студент)*
***Научный руководитель – преподаватель Динкелакер Н.В.*[1]**

1 – Университет ИТМО

e-mail: 369990@niuitmo.ru

В работе определено содержание тяжелых металлов в составе почв и листьях древесных растений, используемые в качестве озеленения урбанизированной степной территории вдоль Каспийского моря. Проведен анализ видоспецифичности в накоплении никеля, меди, цинка, стронция, мышьяка, кобальта и вольфрама. Полученные данные могут быть использованы в экологическом мониторинге городской среды.

Ключевые слова
Тяжелые металлы, почвенный покров, древесные растения, концентрация, степная зона.

В современном мире ускоренные темпы урбанизации и индустриализации являются значительными факторами антропогенного воздействия на окружающую среду, приводя к экологическому кризису как на локальном, так и на глобальном уровнях. Эти факторы приводят к неизбежному высвобождению токсичных поллютантов, серьезно угрожающих экологическому балансу. Тяжелые металлы, такие как свинец (Pb), кадмий (Cd), ртуть (Hg), арсен (As) и цинк (Zn), относятся к наиболее опасным загрязнителям из-за их способности к биоаккумуляции и токсичности.

Как отмечают в своей работе Паллави Саксена и Сауараб Сонвани, прямое и опосредованное воздействие ухудшения атмосферного воздуха на биоразнообразие, охватывая как флору, так и фауну, вносит значительный вклад в нарушение стабильности экосистем [1]. Ключевые причины этого феномена включают, но не ограничиваются сжиганием биомассы, интенсификацией автомобильных выбросов, ростом промышленных эмиссий и возрастающим потреблением энергии. Также, международный союз наук о почве отмечает, что развитие процессов загрязнения почвенного покрова влечёт за собой снижение его агрономической продуктивности вследствие аккумуляции различных загрязняющих агентов [2]. Загрязнители оказывают многоаспектное негативное влияние на физико-химические и биологические характеристики почвы, снижая плодородие. Антропогенные факторы, такие как применение пестицидов и удобрений, органических веществ, химических продуктов, радиоактивных материалов, а также отходы пищевой промышленности, текстильные изделия, кожаные материалы, пластик, бумага, стеклянные и металлические упаковки являются основными источниками почвенного загрязнения. Так, антропогенные и естественные источники способствуют достижению критически высоких уровней концентрации определенных вредных веществ в атмосфере.

Подробное изучение механизмов распространения тяжелых металлов и их влияния на экосистемы позволяет выявить основные пути миграции поллютантов в окружающей среде. Это включает в себя анализ гидрологических процессов, почвенной диффузии и биоаккумуляции в растительности. Использование таких методов, как спектрофотометрия, масс-спектрометрия и хроматография, обеспечивает точное определение концентраций тяжелых металлов в различных компонентах окружающей среды. Важным аспектом является оценка воздействия тяжелых металлов на почвенно-растительный покров. Токсичные элементы могут изменять химический состав почвы, влияя на ее физические и биохимические свойства.

Перечисленное, в свою очередь, сказывается на состоянии растительного покрова, угнетая рост и развитие растений, снижая биоразнообразие и продуктивность экосистем. Таким образом, целью исследования является анализ содержания тяжелых металлов в почвенном покрове и растительности.

В качестве объекта исследования загрязнения тяжелыми металлами были выбраны почвы и листья древесных растений город Актау, что расположен на юго-западе Казахстана на берегу Каспийского моря. В контексте экологических исследований города Актау и его окрестностей, важное значение приобретает проблематика загрязнения тяжелыми металлами. Этот аспект тесно связан с географическими и климатическими условиями региона, а также с составом почв и растительности.

Географически город находится в зоне перехода от степей к пустыням, что в сочетании с морским влиянием создает особые условия для развития разнообразных биоценозов. Климатические условия Актау определяются как умеренно континентальные с мягкими зимами и теплыми, сухими летами. Средняя температура летом колеблется около +30°C, а зимой редко опускается ниже -10°C. Влияние Каспийского моря смягчает экстремальные температурные колебания, однако приводит к частым и резким изменениям погодных условий из-за сильных северных и северо-восточных ветров [3].

Регион характеризуется контрастным рельефом, включающим песчаные пляжи, скалистые формации и обширные пустынные территории. Для рельефа характерен значительный уклон в сторону Каспийского моря. Сарматские известняки располагаются близко к поверхности почвы (0,3–1,0 м). Почвенный покров Актау и прилегающих территорий характеризуется высокой гетерогенностью, обусловленной комплексным взаимодействием климатических факторов и рельефа местности, балл бонитета составляет 10,6. В регионе преобладают бурые зональные легкосуглинистые почвы, характерные для аридных зон, с низким содержанием органического вещества и ограниченным гумусовым слоем. Эти почвы обладают слабой структурой и подвержены эрозии, что обусловливает необходимость в применении мер по их защите и рациональному использованию.

Растительный покров региона представлен в основном ксерофитной и галофитной флорой, способной адаптироваться к сухому климату и высокой солености почв. Встречаются различные виды полыней, солянок, а также редкие виды степных и пустынных трав, формирующие уникальные экосистемы. Флора рассматриваемой зоны подвержена риску воздействия тяжелых металлов, поскольку загрязнение может ингибировать рост и развитие растений, уменьшать их продуктивность и способность к фотосинтезу, а также изменять состав видов в экосистемах. Прибрежные зоны Каспийского моря обогащены гидрофильной растительностью, в том числе разнообразными видами водорослей и низшей водной флорой, что способствует поддержанию биологического разнообразия морских и прибрежных экосистем [4].

В рамках исследования был произведен отбор образцов почвы и листьев древесных видов. Пробоотбор производился как с поверхности земли, так и с глубины в диапазоне 5–15 см, что обеспечивало комплексное представление о состоянии почвенного слоя. Для достижения наивысшего уровня репрезентативности исследуемых образцов применялся метод усреднения, известный в научной практике как «метод конверта». Этот метод позволял синтезировать образцы, адекватно отражающие характеристики типичных генетических горизонтов или слоев исследуемых почв. Были охвачены такие территории, как жилые комплексы, парковые зоны, районы, прилегающие к аллее первого Президента, и территория микрорайона Самал. Характеристика мест отбора образцов представлены в таблице 1.

В сфере геохимических исследований прогресс в разработке и совершенствовании аналитического оборудования продолжает расширять горизонты возможностей для изучения состава материалов. Тем не менее, сложность геохимических матриц представляет собой значительное препятствие, которое ограничивает эффективность многих аналитических методик. В таблице 2 приведены современные методы элементного анализа, с выделенными преимуществами и ограничениями в контексте определения состава [5].

Таблица 1

Характеристика мест отбора проб

№	Места отбора проб почвы и растений	Географические координаты	Функциональная зона	Название почв согласно WRB (2014); «Классификация почв Казахстана» (2015)
1	Жилой массив	N 43°40'10", E 51°8'3"	Жилая функциональная зона	Urbic Gypsisols; Бурые
2	Парк	N 43°39'50", E 51°7'58"	Рекреационная функциональная зона	Urbic Gypsisols; Бурые
3	Прибрежная зона	N 43°39'29", E 51°8'15"	Рекреационная функциональная зона	Urbic Gypsisols; Песчанные морские
4	Главная улица	N 43°40'21", E 51°8'5"	Транспортная функциональная зона	Urbic Gypsisols; Бурые
5	Микрорайон Самал	N 43°40'35", E 51°8'12"	Жилая функциональная зона	Urbic Gypsisols; Песчанные морские

Таблица 2

Сравнительные характеристики современных методов анализа геохимических объектов

№	Метод	Преимущества	Недостатки
1	Атомно-абсорбционная спектрометрия	– применяется для ряда конкретных задач изучения элементного анализа; – хорошо освоен и сертифицирован	– недостаточная производительность для мультиэлементного анализа; – для решения большинства рутинных задач требуется комплекс из 2 или 3 приборов
2	Пламенная спектрометрия	– подходит только для определения макроэлементов (Na, K, Rb, Cs, Fe, Ca, Mg)	– для микроэлементов применение ограниченно, либо требует сложной пробоподготовки
3	Атомная спектрометрия с графитовым атомизатором	– подходит для многих рутинных задач (Pb, Zn, Cd, Cu, As, Se, Mn, Ni, Fe, благородные металлы)	– ограничен по количеству определяемых элементов или числу образцов; – для определения рассеянных элементов требуется концентрирование
4	Атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивносвязанной плазмой	– позволяет проводить многоэлементный анализ (Mg, Ca, Sr, Ba, Na, K, Al, Si, Mn, Fe, Ni, Co, Cu, Zn, Ti, Zr, Li, B, P, S, Pb); – методики универсальны для всех геологических и экологических объектов; – возможно определение до 35 элементов в породах без выделения и концентрирования	– пределы обнаружения для большинства элементов до 10^{-2} %, реже 10^{-4} %, 10^{-5} %; – высокая себестоимость анализа

Продолжение таблицы 2

№	Метод	Преимущества	Недостатки
5	Рентгенофлуоресцентный метод	− применяется для определения макросостава Si, Al, Fe, Ti, Ca, Mg и P, при наличии комплекта стандартов подходит для рутинных задач; − пределы обнаружения 10^{-3} – 10^{-4}%	− необходима пробоподготовка сплавлением, что делает недоступным определение ряда элементов (Li, Na, K, Rb, Cs, S, Cl, Br, As, Se, Sb, Au); − невысокая точность метода; − требуются специальные (однотипные образцу) стандарты
6	Методы молекулярной спектрофотомерии и люминесценции	− позволяют определять широкий спектр элементов	− высокая трудоемкость, материалоемкость и себестоимость анализа

Среди разнообразия методов рентгенофлуоресцентный анализ занимает особое место в диагностике загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами, предлагая возможность точного количественного определения их валового содержания. Рентгенофлуоресцентный анализ выделяется среди прочих методик благодаря своей способности проводить быстрый и недорогой анализ, что делает его незаменимым инструментом в экологическом мониторинге и оценке качества почв. Применение рентгенофлуоресцентного анализа в исследовании почв позволяет реализовать следующие ключевые задачи:

1. Оперативный мониторинг уровней загрязнения почвы тяжелыми металлами, включая скрининг и прямое качественное и количественное определение. Это особенно важно для своевременного выявления и предотвращения экологических рисков.
2. Официальный контроль за состоянием почвы, где данные демонстрируют высокую корреляцию с результатами, полученными другими стандартизированными методами анализа. Перечисленное включает в себя определение так называемых «псевдоваловых» форм тяжелых металлов, которые способны растворяться в кислотах и, следовательно, могут быть биодоступны для растений и микроорганизмов [6].

Важность и уникальность рентгенофлуоресцентного анализа заключается в его способности предоставлять точные и надежные данные о содержании тяжелых металлов в почве без необходимости длительной и трудоемкой подготовки образцов. Перечисленные критерии делают вышеописанный метод предпочтительным для комплексного мониторинга и управления качеством почвенного покрова и древесных форм в условиях повышенного антропогенного воздействия. Соответственно, в качестве аналитической оценки концентрации тяжелых металлов отобранных проб был выбран метод РФА.

Процесс подготовки образцов к анализу включал этапы взвешивания на аналитических весах с последующим прессованием в таблетированные формы. В качестве подложки при этом использовалась борная кислота, что обеспечивало необходимую стабильность и качество прессования на лабораторном гидравлическом прессе модели ПЛГ-12. Сформированные таким образом таблетки помещались в специально предназначенные кюветы для порошковых проб, которые затем устанавливались в аналитический прибор спектроскана МАКС-G. Данный подход, сочетающий строгую методологию отбора проб с передовыми методами аналитической химии, позволял с высокой долей достоверности определять содержание тяжелых металлов в почве и растениях.

В ходе исследований городских почвенных покровов было выявлено систематическое превышение ПДК загрязняющих веществ. Данные ПДК были определены в соответствии с гигиеническими нормативами, установленными Приказом Министра национальной экономики Республики Казахстан от 25 июня 2015 года № 452 [7]. Выявлены превышения по валовым формам никеля (Ni), цинка (Zn), стронция (Sr), свинцу (Pb), мышьяку (As), кобальту (Co) и ванадию (V) по установленным нормативам (табл. 3).

Таблица 3

Содержание валовых форм элементов, в том числе тяжёлых металлов в изученных почвах (в мг кг$^{-1}$)

pH	Металлы, мг/кг$^{-1}$											
	MnO	Ni	Cu	Zn	Sr	TiO_2	Fe_2O_3	Cr	Pb	As	Co	V
Жилой массив												
8,9	444,0	23,0	31,0	25,0	64,3	287	17543	5,8	26,5	11,3	7,1	53,0
Парк												
7,54	32,1	1,03	24,0	42,0	123,2	128	60,1	5,1	4,2	3,3	3,6	14,0
Прибрежная зона												
8,0	37,0	10,0	28,3	31,0	121,0	102	89,6	5,0	6,74	4,7	4,3	22,0
Главная улица												
8,1	563,0	25,0	29,0	38,0	123,4	320	13444	5,3	26,4	7,7	7,7	44,3
Микрорайон Самал												
8,8	501,7	24,0	33,0	41,1	42,1	210,0	590,5	6,0	21,1	6,8	6,8	694,0
ПДК												
>7,0	1500	0,4	33,0	23,0	55,0	5000	40000	6,0	32,0	2,0	5,0	121,0

Обнаружение элементов в почве, концентрации которых превышают предельно допустимые значения, свидетельствует о значительном увеличении фоновых уровней загрязняющих веществ в почвах указанного региона. Это наблюдение находит подтверждение в научных работах, включая исследования Л.М. Павличенко и А.Р. Есполаевой, которые подробно анализируют данные загрязнения и его последствия для экосистемы [8]. Выявленное превышение ПДК обусловлено рядом антропогенных факторов, в том числе расположением вблизи исследуемой территории значительного количества промышленных предприятий, интенсивным автомобильным движением и существованием портовых объектов, а также высокой плотностью городской застройки. Эти условия способствуют аккумуляции вредных веществ в почве, что, в свою очередь, ведет к их поглощению корнями растений и накоплению. В контексте данных наблюдений важно осуществлять систематический мониторинг уровней загрязнения, разрабатывать и внедрять меры по минимизации воздействия идентифицированных источников загрязнения, а также проводить дальнейшие исследования для оценки долгосрочных экологических последствий такого загрязнения.

В рамках проведенного исследования были выявлены значительные превышения предельно допустимых концентраций у таких пород, как робиния ложноакациевая (Robinia pseudoacacia) и айлант высочайший (Ailanthus altissima). Детализация валового содержания тяжелых металлов в растениях представлена в таблице 4.

Таблица 4

Содержание валовых форм элементов, в том числе тяжёлых металлов в изученных листьях древесных пород (в мг кг$^{-1}$)

Вид	Металлы, мг/кг											
	MnO	Ni	Cu	Zn	Sr	TiO_2	Fe_2O_3	Cr	Pb	As	Co	V
Ulmus laevis	19,0	1,0	2,0	14,0	60,2	18,3	23,1	4,9	0	0	0	0
Robinia pseudoacacia	720,0	19,0	4,0	172,0	123,0	0,3	1,9	56,0	6,0	1,0	4,0	38,0
Ailanthus altissima	474,0	2,0	12,0	28,0	121,0	0,1	0,03	26,0	0,0	4,0	2,0	0,1
Thuja occidentalis	63,0	5,0	1,0	36,0	36,0	0,1	0,09	28,0	3,0	4,0	1,0	0,1
Populus alba	21,0	3,0	1,0	21,0	44,0	0,1	0,05	23,0	9,0	3,0	4,0	0,1

В отличие почвы, где предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ могут быть четко определены и регулируются законодательно, для растений такие стандарты

зачастую не установлены. Причина этого — значительное разнообразие видов растений и широкий спектр условий, в которых они могут расти, что делает сложным установление единых норм. Кроме того, естественные концентрации тяжелых металлов в растениях могут значительно варьироваться в зависимости от местоположения, типа почвы и других экологических факторов. Вместо этого оценка содержания тяжелых металлов в растениях часто проводится путем сравнения с фоновыми уровнями — естественными концентрациями этих элементов, которые обычно присутствуют в растениях данного региона или в определенных условиях окружающей среды. Вместо этого оценка содержания тяжелых металлов в растениях часто проводится путем сравнения с фоновыми уровнями — естественными концентрациями этих элементов, которые обычно присутствуют в растениях данного региона или в определенных условиях окружающей среды.

В сравнении с фоновой концентрацией, отмеченные превышения уровней тяжелых металлов в растительных тканях может быть прямо связано с их расположением в непосредственной близости от автомобильных дорог, где концентрация этих элементов в окружающей среде значительно повышается. Так, наличие в составе отработанных газов таких элементов, как никель, цинк и хром, приводит к их накоплению в растениях, что может негативно сказываться на их состоянии и развитии, а также потенциально оказывать вредное воздействие на здоровье человека и животных при попадании этих элементов в пищевую цепочку.

В контексте данных наблюдений важно осуществлять систематический мониторинг уровней загрязнения, разрабатывать и внедрять меры по минимизации воздействия идентифицированных источников загрязнения, а также проводить дальнейшие исследования для оценки долгосрочных экологических последствий такого загрязнения в динамике.

Список использованных источников

1. Pallavi Saxena. Criteria Air Pollutants and their Impact on Environmental Health. – Springer, 2019. – 157 p.
2. Rajesh Kumar Mishra. Soil pollution: causes, effects and control // Van Sangyan – 2016. – Vol. 3. – №. 1. – Pp. 4–16.
3. Утешев А.С. Климат Казахстана. – Л: Гидрометеиздат, 1959. – 367 с.
4. Кондыбай С. Эстетика ландшафтов Мангистау: перспективы для развития туризма. – Алматы: Арыс, 2005. – 176 с.
5. Землянкина А.С., Коркина Д.А., Гринштейн И.Л. Комплексный подход к элементному анализу пробы с неизвестным составом // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2014. – №. 11. – С. 44–47.
6. Ладонин Д. В. Соединения тяжелых металлов в почвах — проблемы и методы изучения // Почвоведение. – 2002. – №. 6. – С. 682–692.
7. Приказ Министра национальной экономики Республики Казахстан от 25 июня 2015 г. № 452 «Об утверждении Гигиенических нормативов к безопасности окружающей среды». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=32118042/ (дата обращения: 21.11.2023).
8. Павличенко Л.М., Есполаева А.Р. Содержание тяжелых металлов в почве Мангистауской области // Естественные и математические науки в современном мире. – 2016. – №. 3. – С. 114–123.

УДК 504.75

АНАЛИЗ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ МОДЕРНИЗАЦИИ НА ПРИМЕРЕ КОНКРЕТНОГО УЧАСТКА В Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

***Петрова Т.С.*[1]** *(студент)*
***Научный руководитель – к.т.н., доцент Орипова А.А.*[1]**

1 – Университет ИТМО

e-mail: 1000lir@bk.ru

В работе представлен предпроектный пространственный анализ территории, который необходимо проводить перед началом проектирования модернизации территории. В данную работу входит анализ расположения, связей и иных пространственных отношений между пространственными объектами. Используя такой вид анализа перед началом проекта модернизации городской территории, можно вывести гипотезу о том, в каком направлении будет развиваться территория.

Ключевые слова
Модернизация территории, пространственный анализ, город, пространство, высотность застройки, рельеф, плотность застройки, плотность улично-дорожной сети, урбанизация.

Анализ территории и сопутствующих строительству наиболее значимых аспектов является важным этапом, который позволяет оценить территорию по различным признакам и без ошибок спланировать развитие инфраструктуры [1].

Пространственный анализ территории проводился на примере территории в Калининском районе между станциями метро «Выборгская» и «Лесная», площадью 1,86 км² (рис. 1). Участок является бывшей территорией «Петербургского трамвайно-механического завода».

Рис. 1. Исследуемая территория

Участки исследуемой территории в соответствии с Публичной кадастровой картой Санкт-Петербурга представляют собой:

1. Многофункциональную зону с включением объектов производственного, складского назначения.
2. Жилую зону среднеэтажных и многоэтажных многоквартирных жилых домов.
3. Расположение объекта экономически выгодное, так как территория находится недалеко от центра города (рис. 2). Участок находится в 900 м от реки «Большая Невка». Ближайшие станции метро – «Выборгская» и «Лесная».

4. Вблизи территории находятся три сквера и четыре сада. На самом выбранном участке располагается «Колледж пищевых технологий». Рядом с исследуемой территорией находится «Военный институт физической культуры», а также корпус «Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета» и «Оптико-механический лицей».

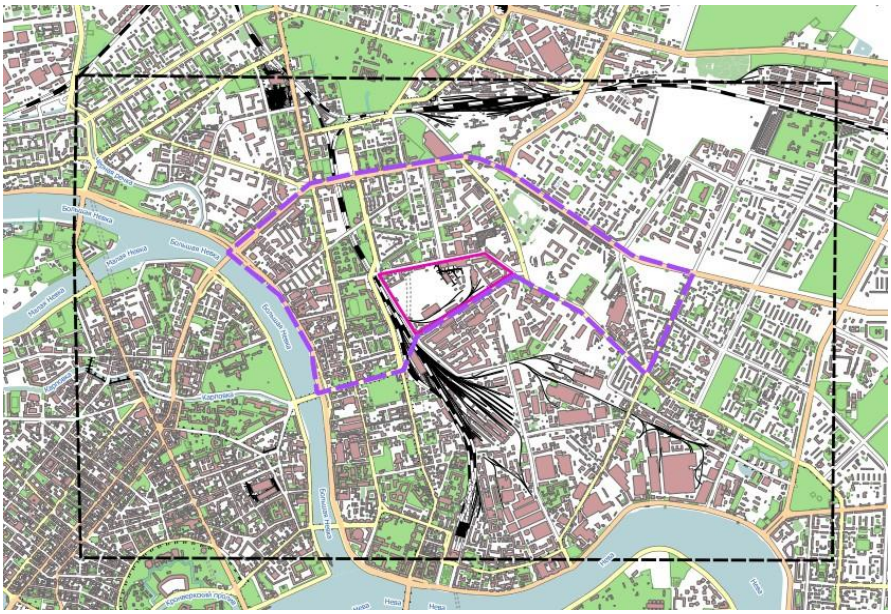


Рис. 2. Исследуемая территория: расположение

Относительно плоский рельеф не накладывает ограничений на застройку и проектирование (рис. 3). Перепад высот незначительный, в пределах 5–10 м на 1000 м. Также это не предусматривает возможности реализации интересных ландшафтных решений [2].

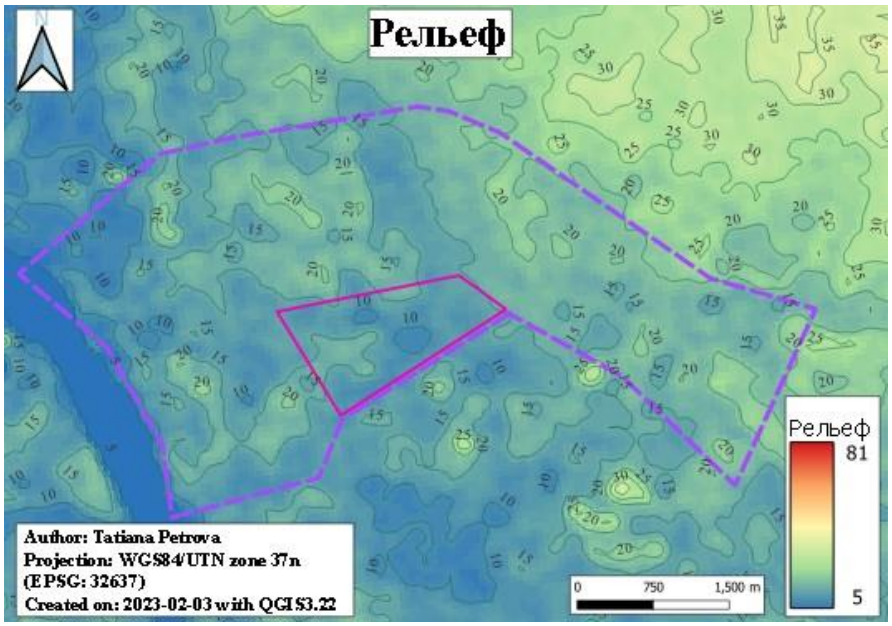


Рис. 3. Карта рельефа

На участке много многоэтажных жилых домов (5–24 этажей), а также значительная часть территории занята маленькими постройками (1–5 этажей), такими как промышленные здания, а также малый бизнес (рис. 4).

В дальнейшем, на исследуемом участке можно построить среднеэтажные и многоэтажные здания.

Рис. 4. Карта высотности застройки

Для района, расположенного недалеко от центра города, плотность застройки ниже 10 тыс. м²/га является низкой (рис. 5) [3]. На представленной карте плотность застройки колеблется в пределах от 0,1 до 1,5 тыс. м²/га, что является показателем нормальной, комфортной для жизни плотностью застройки.

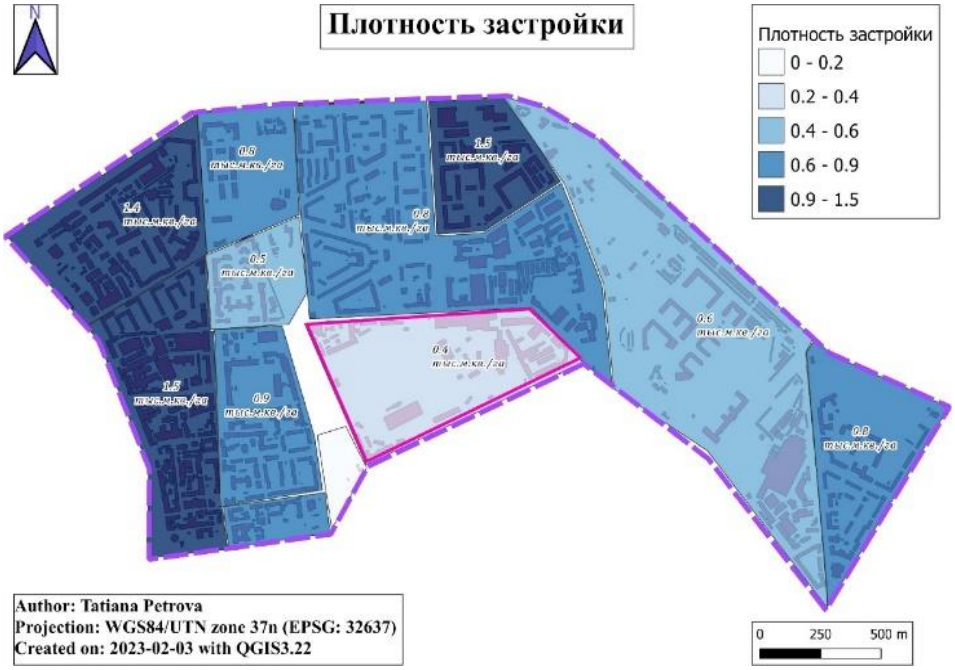


Рис. 5. Карта плотности застройки

По современным нормам средняя плотность магистральных улиц 2,2–2,4 км/кв. км. Средняя плотность сети улиц в Санкт-Петербурге 4,0–5,5 км/кв. км. Плотность УДС в рассматриваемом районе выше среднего, однако это обусловлено наличием хорошо развитой инфраструктуры, а также нахождением складских и промышленных сооружений в значительной части района.

В изучаемом районе очень развиты маршруты общественного транспорта, и они находятся на доступном расстоянии от рассматриваемой зоны (рис. 6 и 7). За пределами выделенного участка располагаются станции метро «Лесная» и «Выборгская».

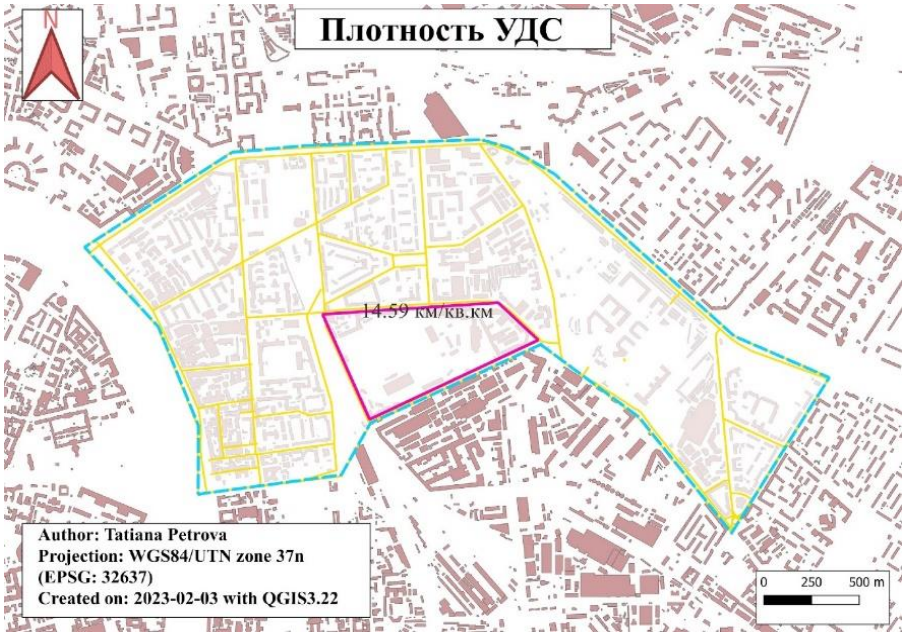


Рис. 6. Карта улично-дорожной сети

Рис. 7. Карта маршрутов наземного транспорта

Территория хорошо обслуживается общественным транспортом. Остановки автобусов и трамваев находятся в пешей доступности (5–10 минут) от рассматриваемой зоны. За пределами выделенного участка располагаются станции метро «Лесная» и «Выборгская» (рис. 8).

Территория, расположенная недалеко от центра города, предоставляет жителям удобство доступа и возможность легко перемещаться по всей его территории. Транспортная доступность обеспечивает жителям возможность комфортно добираться до данной территории на любом виде общественного транспорта, что снижает использование личного автотранспорта и, как результат, уменьшает загруженность дорог и негативное воздействие на атмосферу.

Развитая инфраструктура делает район самодостаточным благодаря наличию различных магазинов, образовательных учреждений, спортивных объектов и предприятий.

Расположение у реки предоставляет множество живописных мест для прогулок и отдыха, улучшает экологическую ситуацию и смягчает климат в районе.

Ровный рельеф облегчает строительство, снижая перепады высот.

Рис. 8. Карта общественного транспорта и пешей доступности

Недостаток зеленых зон негативно сказывается на окружающей среде, так как отсутствуют естественные источники свежего воздуха и сдерживающие пыль элементы. Зеленые зоны также влияют на климат местности, увлажняя и охлаждая воздух в жаркое время года [4]. Недостаток зон отдыха вынуждает жителей искать их за пределами района. Это провоцирует использование транспорта и, как следствие, негативное влияние на качество воздуха.

Большое количество заброшенных складских сооружений провоцирует образование пристанищ для маргинальных групп населения. Кроме того, это сооружения, за которыми нет контроля, никто не знает, что в них находится и какого качества сточные воды от этих сооружений попадают в почву.

Расположение рядом с железной дорогой вызывает повышенный уровень шума, который заставляет людей покидать свои районы для прогулок и встреч с друзьями в более спокойной обстановке, что провоцирует использование транспорта и негативное влияние на качество воздуха.

Аренда складов может препятствовать реализации проекта, потому что на эту территорию может прийти крупный бизнес или производство, которые нельзя будет переместить на другое место в ближайшее время.

Экономическая ситуация в стране может привести к строительству на этой территории зданий и сооружений, которые принесут максимальную прибыль за короткий срок – жилой и промышленной застройки.

Альтернативные варианты использования территории могут быть более привлекательными для городских властей, что сделает реализацию проекта невозможной.

Строительство студенческого городка с прилегающей территорией, библиотеками и другой инфраструктурой может способствовать развитию комфортной городской среды, поскольку рядом с учебными заведениями студенты и жители района получат место для активного и пассивного отдыха различных групп населения.

Создание кампуса также создаст новые рабочие места, особенно для местных жителей. Открытие новых общественных пространств может привлечь инвесторов. На территории можно разместить рестораны, продуктовые магазины, развлекательные и досуговые центры и рабочие пространства, все это может приносить значительную прибыль, поскольку территория расположена в центре города и окружена большим количеством жилых зданий, при отсутствии подобных территорий в окрестностях [5].

Отсутствие поблизости студенческих кампусов и общежитий делает район более привлекательным для жителей и гостей, что позволяет максимизировать прибыль от его использования.

Строительство студенческого кампуса с прилегающими зелеными зонами даст возможность размещать объекты социального значения и инфраструктуры.

Территория, рассмотренная в ходе анализа, обладает рядом преимуществ, таких как комфортная высота и плотность зданий, хорошая доступность общественного транспорта и множество маршрутов, а также близость к зеленым зонам общего пользования (таблица). Однако, для создания комфортных условий проживания, следует предусмотреть проекты средне- и многоэтажного жилого строительства, включая общежития для студентов, учитывая расположение множества образовательных учреждений поблизости. Также можно рассмотреть возможность строительства «Дома молодежи» на этой территории.

Таблица

SWOT-анализ

Сильные стороны	**Слабые стороны**
Близко к центру города Транспортная доступность Развитая инфраструктура Расположение рядом с рекой Равнинный рельеф	Мало зеленых насаждений Мало рекреационных зон Много заброшенных складских помещений в аварийном состоянии Расположение вблизи железной дороги
Возможности	**Угрозы**
Формирование комфортной городской среды Возможность привлечения инвесторов Поддержка малого бизнеса Отсутствие в районе общежитий Места объединения людей	Аренда складских территорий Экономическая ситуация в стране Альтернативы развития территории

Следует также обратить внимание на важные социальные объекты, такие как учебные заведения, медицинские учреждения, зоны отдыха и развлечений. Возможно, стоит разработать проект, посвященный досугу и отдыху. Территория обладает хорошими показателями и выгодным расположением.

Список использованных источников

1. Germen M. Istanbul Gezi Park Resistance Movement as Public Engagement in the Making of Place. // Procedia — Social and Behavioral Sciences – 2015. – №. 184. – Pp. 13–21.
2. Зиммель Г. Большие города и духовная жизнь // Логос. – 2002. – №. 3–4. – С. 23–34.
3. Димитриади Е.М., Сапанжа О.С. Визуальная урбанистика: определение понятия, проблемы // Вестник культуры и искусств. – 2021. – №. 2 (66). – С. 84–91.
4. Димитриади Е.М. Визуальная модель города в контексте современной урбанистики // Общество: философия, история, культура. – 2022. – №. 4. – С. 164–168.
5. Алексина Т.А. Время в культурах мира // Вестник Российского университета дружбы народов, серия Философия. – 2002. – №. 3. – С. 39–53.

УДК 004.85

МОНИТОРИНГ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ ПТИЦ В МЕСТАХ СКОПЛЕНИЯ НА ПОЛИГОНАХ ТКО ПРИ ПОМОЩИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Пирожков А.М.[1] *(студент),* ***Клемешова А.С.***[1] *(студент)*
Научный руководитель – преподаватель Забелина А.В.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: andriei.pirozhkov2013@mail.ru

В статье рассматривается возможность применения искусственного интеллекта при проведении мониторинга видового разнообразия птиц в местах скопления на полигонах твердых коммунальных отходов. Проведен анализ успешных российских и зарубежных моделей в данной области, на основе которых выявлены проблемы, связанные с обучением искусственного интеллекта. В конечном итоге, предложена схема работы искусственного интеллекта.

Ключевые слова
Искусственный интеллект, экологический мониторинг, полигон ТКО, птицы, биоразнообразие.

Согласно Международной программе ЮНЕСКО «Человек и биосфера», принятой в 1974 году, мониторинг определяется как «система регулярных длительных наблюдений, измерений и оценки состояния окружающей среды в соответствии с заранее подготовленной и научно обоснованной программой, позволяющей прогнозировать на будущее изменение ее параметров, имеющих особенное значение для человечества» [1]. Иными словами, мониторинг – это длительные наблюдения, измерения различных параметров среды, проведение оценки текущего состояния окружающей среды, а также составление прогноза – то, что ожидает окружающую среду при таких же условиях. Одним из видов мониторинга является мониторинг биологического разнообразия.

Полигоны ТКО представляют собой крупные объекты с повышенной численностью птиц, объясняющейся высоким объемом отходов, содержащих органический компонент – кормовая база. Так, на территории полигона ТКО ООО «Новый Свет-ЭКО», расположенного в Ленинградской области, и его окрестностях отмечено более 50 видов птиц различных экологических групп: семейство чайковых (серебристая, озерная, морская), группа врановых, голубеобразные, аисты и другие. Значительная часть популяций птиц ведет оседлый образ жизни и встречается на полигоне круглогодично. В период осенней миграции численность достигает 5–7 тысяч особей.

Для контроля за популяцией птиц на полигонах, предотвращения негативных изменений качества окружающей среды (например, предотвращение распространения заболеваний), а также обеспечения безопасности объектов инфраструктуры (например, при проектировании полигона ТКО необходимо учитывать приаэродромную зону) проводят орнитологический мониторинг (подвид биологического мониторинга). В его задачи входит определение численности видов, изучение среды их обитания, изучение динамики изменения численности, а также контроль за состоянием птиц.

Проблема сложности проведения мониторинга биоразнообразия птиц на полигонах ТКО заключается в работе с большим количеством материала и огромными затратами временных ресурсов. Перед экологом стоят задачи: определить вид птицы, что сделать достаточно сложно, а также корректно написать название на латыни. Помимо этого, специалисту необходимо определить численность (приблизительную) каждого вида, при этом возникают некоторые проблемы, потому как птицы – подвижные существа, а их скопление могут наблюдаться в разное время суток и года.

Внедрение методов искусственного интеллекта позволит дистанционно контролировать окружающую среду в режиме реального времени. Все, на что у эколога уходит много времени: увидеть, определить, зафиксировать, проанализировать, искусственный интеллект будет делать быстрее. Также это позволит своевременно принимать меры по контролю за популяцией на полигоне.

В настоящее время существуют разные примеры применения искусственного интеллекта в описываемой сфере.

Например, российский разработчик успешно создал сервис по распознаванию птиц и камеры, на которые будут фиксироваться птицы, состоящий из двух частей: обнаружение объекта (детектирование присутствия птицы или млекопитающего в кадре); классификация объектов (определение того, какой вид птицы или млекопитающего был снят) [2].

Еще один пример уже зарубежного опыта внедрения искусственного интеллекта – видеонаблюдение за морскими птицами для проведения мониторинга и научных исследований. При помощи данной модели происходил статистический сбор данных о птицах: посещаемость гнезд, гнездовая активность, рост цыплят, зависимость птиц от температуры [3].

Рассмотрев различные схемы работы искусственного интеллекта, различные кейсы отечественные и зарубежные, мы предлагаем следующую поэтапную обобщенную структуру работы искусственного интеллекта при проведении мониторинга:

1. Фотографирование места скопления птиц с высоты на полигоне ТКО через определенные промежутки времени.
2. Определение птиц на фотографии среди объектов окружающей среды.
3. Выявление видовой принадлежности птиц (наименование на русском и на латинском языках), примерную численность вида. Возможно, определение погибших особей.
4. Подсчет статистических данных по видовому разнообразию (численность вида в разное время суток, года, соотношение видов).

На рисунке показана схема работы искусственного интеллекта по определению видового разнообразия птиц, описанная выше.

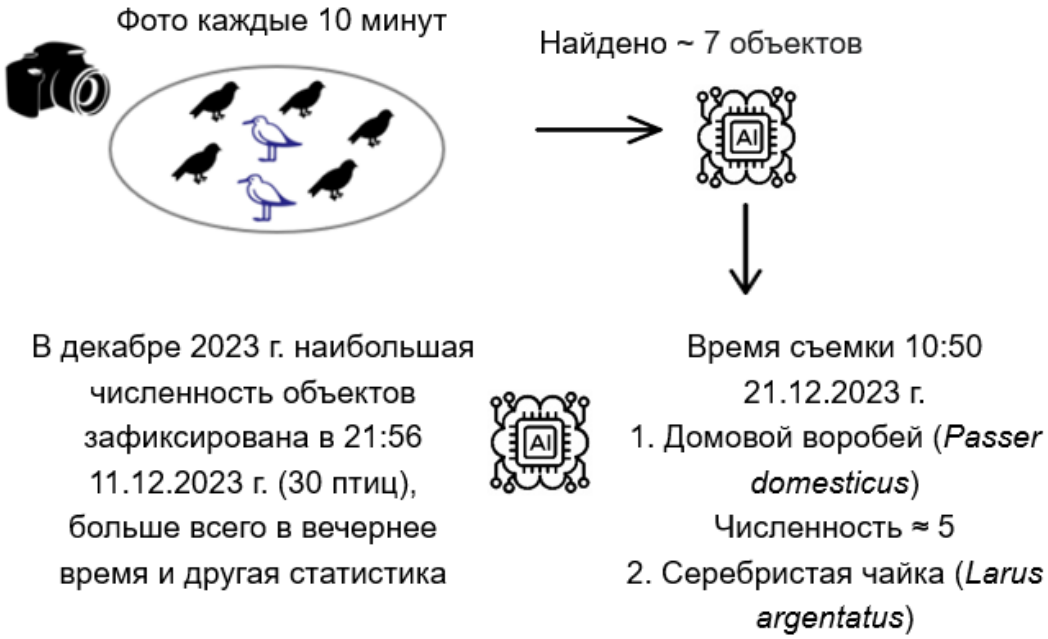


Рисунок. Схема работы искусственного интеллекта для мониторинга видового разнообразия птиц

Data set для обучения искусственного интеллекта могут служить орнитологические базы данных в интернете, в которых пользователи со всего мира публикуют фотографии птиц (например, Global Biodiversity Information Facility, eBird), а также архивные фотографии сотрудников полигона [4, 5].

Исходя из анализа кейсов, выдвигаются следующие проблемы, которые необходимо учесть при обучении ИИ:

1. Диморфизм. Птицы, как и любой другой биологический вид, могут иметь анатомические различия между самцами и самками: размер, окраска, кожа. Один из примеров – крякква, где особи мужского пола имеют яркий окрас (зеленая голова и шея), женского – коричневый, непримечательный.
2. Качество фотографий при фотофиксации. База данных предоставляет красивые и четкие фотографии, птица хорошо различима, повернута к объективу. В реальности же, совершенно другая картина, где птица сливается с окружающим миром, повернута боком и другие нюансы, связанные с качеством фотографии.
3. Искусственный интеллект должен понимать, что не всё, что появляется в камере, движется является нужным для фотофиксации.
4. Расположение камеры – камера должна охватывать достаточную площадь, для возможности с большей точностью определять птиц на фотографии.

Данный список не ограничен только вышеперечисленными пунктами, во время работы могут возникнуть и другие проблемы, которые невозможно учесть заранее. Однако, учитывая их, мы сможем по итогу получить качественную и полезную работу искусственного интеллекта при проведении орнитологического мониторинга.

Резюмируя, мы считаем, что искусственный интеллект в области мониторинга биоразнообразия (в том числе мониторинга птиц) может быть востребован в дальнейшем не только для полигонов твердых коммунальных отходов, но и для других объектов: особо охраняемые природные территории, населенные пункты, аэропорты, сельскохозяйственные поля и других местах, где важно своевременно обнаружить проблему изменения численности и видового разнообразия объектов животного мира (включая птиц).

Список использованных источников

1. Technical guidelines for biosphere reserves UNESCO. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375692 (дата обращения: 12.12.2023).
2. Как мы распознавали птиц при помощи камер и искусственного интеллекта. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/articles/662770/ (дата обращения: 09.12.2023).
3. Hentati-Sundberg J., Olin A., Reddy S., Berglund P., Svensson E., Reddy M., Kasarareni S., Carlsen A., Hanes M., Kad S., Olsson O. Seabird surveillance: combining CCTV and artificial intelligence for monitoring and research // Remote Sensing in Ecology and Conservation. – 2023. – V. 9. – №. 4. – Pp. 568–581.
4. GBIF | Global Biodiversity Information Facility. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.gbif.org/ (дата обращения: 13.12.2023).
5. eBird. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ebird.org/home (дата обращения: 13.12.2023).

УДК 004.85

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ГОРОДОВ ПРИ ПОМОЩИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Пирожков А.М.[1] *(студент),* ***Клемешова А.С.***[1] *(студент)*
Научный руководитель – преподаватель Забелина А.В.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: andriei.pirozhkov2013@mail.ru

В статье рассматривается возможность применения искусственного интеллекта при прогнозировании распространения загрязняющих веществ в атмосферного воздухе городов. Проведен анализ успешных российских и зарубежных моделей в данной области. Изучены параметры, влияющие на рассеивание загрязняющих веществ. В конечном итоге, предложена схема работы искусственного интеллекта.

Ключевые слова
Искусственный интеллект, рассеивание загрязняющих веществ, атмосферный воздух, окружающая среда, антропогенное воздействие.

В процессе производства в воздух выделяются загрязняющие вещества, негативно влияющие на здоровье человека и состояние окружающей среды. Важно отслеживать распространение загрязняющих веществ при разных физических параметрах (температура, направление и скорость ветра, давление, влажность и другие) для принятия эффективных мер по снижению их негативного воздействия. Рассеивание загрязняющих веществ обязательно применяется специалистами для установления санитарно-защитной зоны предприятия, предельно допустимых выбросов, разработки проекта по оценке воздействия на окружающую среду.

В настоящее время отсутствует непрерывный мониторинг с прогнозированием распространения загрязняющих веществ от производств, автомобильных трасс и других объектов, выделяющих загрязняющие вещества. Искусственный интеллект, приобретающий большую популярность в различных сферах жизни человечества, может быть использован для создания непрерывного прогноза рассеивания загрязняющих веществ (распределение загрязнения воздуха в атмосфере) от нескольких заданных параметров.

Для начала необходимо изучить способы расчета рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Существует множество моделей расчета, которые с помощью разных методов, факторов, формул и масштаба пытаются показать такой сложный физико-химический процесс – распространение веществ в воздушном пространстве. Ниже приведена таблица с описанием работы некоторых из них.

Таблица

Модели расчета рассеивания разных стран

Название	Страна	Описание
AERMOD	США	Особенностью данной модели рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе является учет турбулентности воздушного потока, использование концепции масштабирования, что позволяет анализировать одновременно выбросы от источников с разной высотой, площадью и объемом газовоздушной смеси
ADMS–Screen	Великобритания	Особенностью этой модели является возможность предварительной оценки влияния источника выбросов, что позволяет добавить или исключить его в более детальное моделирование. Она позволяет проводить рассеивание загрязняющих веществ с минимальным набором данных, что влияет на скорость получения результата

Продолжение таблицы

Название	Страна	Описание
AEROPOL	Эстония	Эстонская модель рассевания загрязняющих веществ использует гауссовский шлейф, что позволяет моделировать непрерывные, плавучие шлейфы выбросов от стационарных источников, расположенных на равнинной местности, учитывая влияние сооружений на пути воздушной массы и влажность воздуха. Её возможно использовать на локальном и региональном уровнях
TAPM	Австралия	Австралийская модель позволяет в онлайн режиме получать метеорологические данные для расчета рассеивания источников различной конфигурации. К дополнительным возможностям относится учет влажности, модуль фотохимии. Её возможно использовать на местном, городском и региональном уровнях

В России в настоящий момент утверждены методы расчета рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе. С ними можно подробно ознакомиться в приказе Минприроды России от 6 июня 2017 года № 273 [1]. Согласно данному нормативно-правовому акту, рассеивание зависит от следующих параметров:

- климатических характеристики (скорость ветра, температура, коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы, удельная теплоемкость атмосферного воздуха при постоянном давлении, атмосферные осадки, роза ветров, безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности);
- геометрические параметры (Высота, диаметр устья выброса у организованного источника (труба) / длина линейного источника / длина и ширина у площадного источника);
- параметры газовоздушной смеси (расход, температура, скорость выброса);
- мощность выброса (концентрация загрязняющих веществ в месте выброса);
- рельеф местности (перепад высот, формы рельефа (гряду, гребень, ложбину, уступ), их ширина, масштаб, расстояние до них);
- застройка (высота, длина, ширина здания, расположение, расстояние до источника выброса);
- фоновые концентрации загрязняющих веществ;
- неблагоприятные метеорологические условия;
- тип загрязняющего вещества (аэрозоль, пыль);
- скорость гравитационного оседания частиц в атмосферного воздухе, ускорение свободного падения;
- расстояние от источника до расчетной точки;
- высота расчетной точки;
- плотность атмосферного воздуха, безразмерный параметр, характеризующий условия турбулентного перемешивания;
- продолжительность периода осреднения концентрация;
- влияние колебаний направления ветра.

Взяв за основу перечисленные выше пункты, с помощью искусственного интеллекта возможно облегчить задачу расчета рассеивания загрязняющих веществ (например, пыли) в воздухе. Для этого можно рассмотреть лишь некоторые параметры окружающей среды (например, скорость, температура, влажность). База данных для обучения искусственного интеллекта будет собираться в течение ежедневных экспериментов в лаборатории.

Рассмотрев различные источники, кейсы, патенты, мы предлагаем следующую схему обучения искусственного интеллекта [2–5]:

1. Лабораторный этап. Поиск датчиков, создание модели, проведение лабораторных измерений, сбор базы данных (этап за экологами).

2. Научить искусственный интеллект по отдельности определять зависимость между разными параметрами окружающей среды и загрязняющим веществом.
3. Научить искусственный интеллект прогнозировать рассеивание загрязняющих веществ на основании комплексного анализа нескольких параметров окружающей среды, по которым он ранее обучался.
4. Дообучить искусственный интеллект в полевых условиях.

На рисунке представлена схема обучения искусственного интеллекта по этапам.

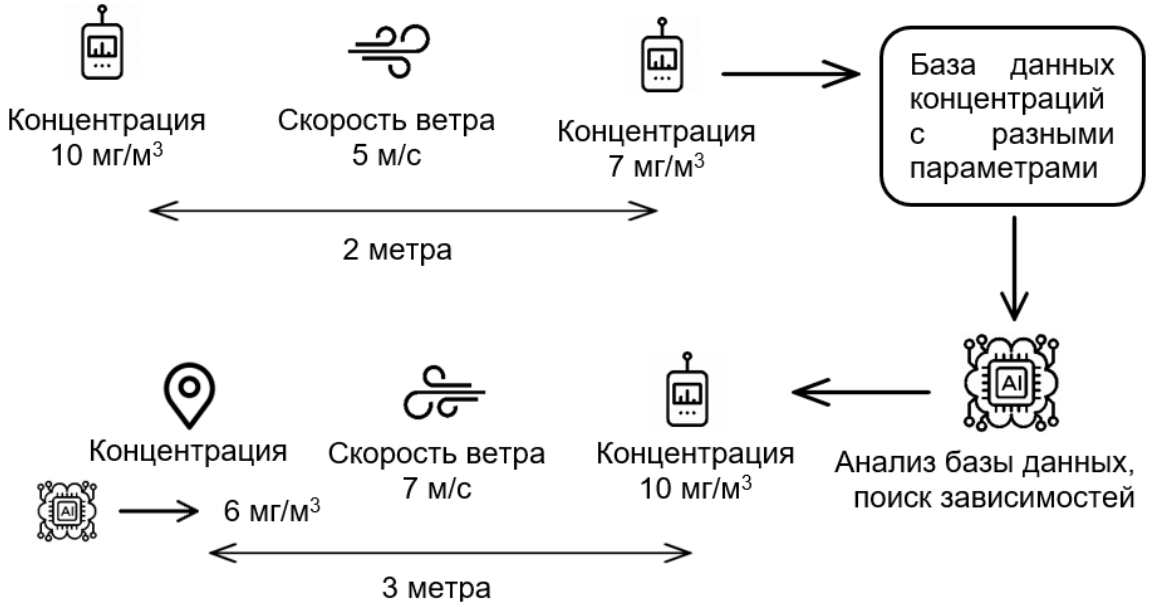


Рисунок. Схема обучения искусственного интеллекта

Таким образом, разработка искусственного интеллекта для прогнозирования рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе может быть востребована для различных предприятий, государственных органов по надзору за состоянием окружающей среды для лучшего контроля, принятия важных решений в данной области и информирования населения о неблагоприятных экологических ситуациях, поскольку позволит быстро получать данные в режиме реального времени на основе нескольких показателей.

Список использованных источников

1. Приказ Минприроды России от 06.06.2017 N 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_222765/ (дата обращения: 12.01.2024).
2. Shams R., Jahani A., Kalantari S., Moeinaddini M., Khorasani N. Artificial intelligence accuracy assessment in NO2 concentration forecasting of metropolises air // Scientific Reports. – 2021. – V. 11. – №. 1. – Pp. 1805–1814.
3. Lauret P., Heymes F., Aprin L., Johannet A. Atmospheric dispersion modeling using Artificial Neural Network based cellular automata // Environmental Modelling and Software. – 2016. – V. 82. – Pp. 56–69.
4. Kleine Deters J., Zalakeviciute R., Gonzalez M., Rybarczyk Y. Modeling PM 2.5 Urban Pollution Using Machine Learning and Selected Meteorological Parameters // Journal of Electrical and Computer Engineering. – 2017. – V. 2017. – №. 5. – Pp. 1–14.
5. Пат. RU2799893 (C1) Российская Федерация, МПК7 G 08 B 21/12, G 01 N 1/00. Система прогнозирования пространственного распределения вредных веществ в атмосферном воздухе // Кычкин А.В. (RU), Горшков О.В. (RU); заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (RU). – No. 2022128005; заявл. 28.10.2022; опубл. 13.07.2023, Бюл. № 20. – 12 с.

УДК 504.064

ОРГАНИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА СВАЛОЧНОГО ГАЗА НА ПОЛИГОНАХ ТКО

***Позднякова Н.А.*[1]** *(студент)*
***Научный руководитель – преподаватель Забелина А.В.*[1]**

1 – Университет ИТМО

e-mail: pozdnyko@gmail.com

В работе рассмотрены различные виды датчиков, применяемых для мониторинга и исследований эмиссий метана на объектах размещения твердых коммунальных отходов. Изучены принципы работы таких видов сенсоров, как электрохимические, термокаталитические, полупроводниковые и оптические. Проанализированы основные преимущества, недостатки всех вышеперечисленных видов оборудования.

Ключевые слова
Метан, мониторинг, газоанализатор, электрохимические сенсоры, термокаталитические сенсоры, полупроводниковые сенсоры, оптические сенсоры, волоконно–оптические технологии, фурье-спектрорадиометр.

Ежегодно в России по данным Федеральной службы государственной статистики образуется 9 млрд тонн отходов [1], из которых твердые коммунальные отходы составляют около 363 млн куб м. [2]. Они сильно разнородны по составу, и при их контакте с внешней средой образуются разнообразные соединения в различных агрегатных состояниях. Особо опасно выделение тепла телом полигона и метана, так как сочетание этих факторов часто становится причиной пожаров как поверхностных, так и подземных [3].

Существуют газоанализаторы с различными видами сенсоров, которые являются важным компонентом при проведении анализа состава газовой смеси в различных областях промышленности и в научных исследованиях. Газоанализаторы необходимы не только для исследований, но и для контроля загрязнения воздуха и взрывоопасных веществ. Наиболее часто используемые типы анализаторов для контроля содержания метана в настоящее время – это электрические датчики с электрохимическим, термокаталитическими, полупроводниковыми типами преобразователей, оптические или инфракрасные датчики.

Электрохимические сенсоры. Принцип действия электрических датчиков с электрохимическим сенсором основан на изменении параметров электродов, которые находятся в контакте с электролитом. Внутри модуля протекает окислительно-восстановительная реакция, в процессе которой высвобождаются электроны, формирующие во внешней цепи постоянный ток, сравниваемый с эталонным. Величина измеряемого тока пропорциональна концентрации анализируемого вещества [4]. Важным элементом электрохимических сенсоров является встроенный датчик температуры с термистром, основная функция которого заключается в компенсации влияния температуры на результат измерения.

Главные преимущества электрохимического сенсора – это высокая точность измерений при достаточно простом устройстве с линейной зависимость сигнала от концентрации интересующего вещества, а также быстрое время обработки сигнала, получения результата и низкая стоимость, возможность внедрения в автономные портативные измерительные приборы [5]. Особенностью такого сенсора является его постепенная деградация вследствие изменений в составе электролита и поверхности электрода.

Термокаталитические сенсоры. Принцип работы термокаталитических датчиков основан на реакции окисления газов кислородом, содержащимся в атмосферном воздухе. Фиксируемой величиной в данном случае является количества тепла, получаемое при протекании химической

реакции. Через мембрану горючий газ диффундирует на два чувствительных элемента, внутри которых находится платиновая нить, способная нагреваться до 450 градусов. Активный чувствительный элемент имеет поверхность, покрытую катализатором, который подвергает окислению анализируемый газ, повышая температуру элемента. Повышение температуры определяется с помощью изменения сопротивления платиновой нити внутри активного элемента, которое сопоставляется с показателем пассивного [6].

Главным преимуществом термокаталитического датчика является быстрая реакция, долговечность и устойчивость к изменениям давления, влажности, температуры, окружающей среды. Однако этот вид датчиков не может использоваться для определения низкого содержания аналита, точнее менее 10% нижнего концентрационного предела распространения пламени. В обратном случае, при контакте со смесью с содержанием, превышающим верхний предел диапазона измерений, устройство может потерять свою чувствительность, для восстановления его корректной работы понадобится время, а также вероятны необратимая потеря чувствительность и смещение нулевой точки.

Полупроводниковые сенсоры. Еще один распространенный вид газовых сенсоров – это полупроводниковые сенсоры. Главным элементом конструкции является чувствительный элемент, состоящий из полупроводника с нанесенным на его поверхность оксидом металла. При повышении температуры окружающей среды молекулы кислорода подвергаются адсорбции на чувствительной части сенсора. Полупроводник выполняет функцию донора электронов, восстанавливая кислород до ионной формы. Полученные ионы, заключенные в подложке, вступают в реакцию с анализируемым газом. В результате химических процессов, происходящих на поверхности материала, изменяется количество носителей зарядов, электронов, что приводит к изменению электрического сопротивления элемента.

Одним из главных преимуществ данного типа сенсора является возможность измерения и фиксирования сверхнизких концентраций анализируемых веществ. Помимо этого, они достаточно устойчивы к отравлениям, характеризуются долговременной стабильностью. Однако такие датчики низкоселективны и оксид углерода, пары углеводородов оказывают мешающее действие. Также полупроводниковые датчики нельзя подвергать воздействию агрессивных сред и кремнийорганических испарений [7].

Оптические сенсоры. Одним из современных решений проблем отравления датчиков может стать использование оптических сенсоров для обнаружения метана и других соединений.

Вещества способны поглощать энергию светового потока в различных областях спектра: ультрафиолетовом, видимом, инфракрасном. При взаимодействии молекул изучаемого газа с инфракрасным излучением происходит его поглощение веществом в определенном диапазоне, что вызывает молекулярные деформационные и валентные колебания. При этом сигнал в сравнении с испускаемым уменьшается за счет частичного поглощения. Датчик фиксирует разницу входящего и исходящего потока, которая пропорциональна концентрации анализируемого соединения. Большинство современных газоанализаторов работает в инфракрасной части спектра [8].

Преимуществами оптических сенсоров является то, что они не изменяют химический состав пробы и не требуют для своей работы присутствия катализаторов, кислорода. Помимо перечисленного, данный метод обладает высокой стабильностью, так как данные сенсоры имеют большой срок службы. Их выходной сигнал не зависит от скорости потока анализируемого воздуха, однако на него могут влиять погодные условия, давление и температура окружающей среды. Также приборы с оптическим сенсором позволяют проводить самостоятельную проверку чувствительности к исследуемому соединению.

К иным преимуществам данного вида сенсоров также можно отнести возможность работы при высоких концентрациях измеряемых аналитов, устойчивость к отравлению и увеличенный интервал технического обслуживания. Помимо этого, возможно проводить контроль исправности источника инфракрасного излучения, автоматическую градуировку и компенсировать загрязнение оптики, — все это позволяет продлевать время работы оборудования без обслуживания.

Присутствие в окружающей среде пылевых частиц, капель жидкости может вызывать ошибки в результатах измерений, снижение чувствительности, вследствие поглощения мешающими компонентами инфракрасного излучения. По этой причине необходимо следить за состоянием, чистотой оптических элементов прибора при проведении измерений.

Существует множество разработчиков новых систем мониторинга на базе волоконно–оптических технологий, например компания «Уникальные волоконные приборы». Системы такого типа позволяют удаленно, на расстоянии до 30 км, фиксировать превышения допустимых концентраций метана, при этом отсутствует необходимость дополнительного строительства кабельных линий для питания аппаратуры [9].

Принцип действия основан на следующем: световой сигнал посылается к датчикам метана, которые установлены в необходимых для мониторинга локациях, например, оптическое волокно может быть протянуто по периметру тела полигона. Метан, поступающий в датчики, частично поглощает излучение и полученный новый импульс возвращают обратно. Показания датчиков могут обновляться ежесекундно, благодаря чему оператор может измерять концентрацию аналита удаленно.

Спектрорадиометрические приборы позволяют осуществлять дистанционный контроль качества атмосферы на месте. Особенно актуальным данный способ является при техногенных авариях или катастрофах, когда отбор проб в точках затруднителен или невозможен. В таких случаях использование методик дистанционного анализа является необходимым.

Применение инфракрасного фурье-спектрорадиометра дает возможность проведения многокомпонентного исследования окружающей среды. К главным достоинствам данного вида анализа можно отнести отсутствие необходимости совершения отбора проб, большой спектральный диапазон измерений по собственному излучению молекул изучаемых веществ, быстрая и единовременная фиксация всех присутствующих спектральных компонент в установленном диапазоне, высокая доля автоматизированных элементов процесса и проверка состояний приборов с помощью программного обеспечения [10].

В инфракрасной области спектра работа фурье-спектрорадиометра наиболее результативна, так как в данном диапазоне лежат полосы поглощения многих органических соединений, так называемая «область отпечатков пальцев». В Московском Государственном Техническом Университете им. Баумана были разработаны приборы химической разведки дистанционного действия (ПХРДД), которые широко применяются при работе в полевых условиях для обнаружения разнообразных соединений в приземной слое [11]. Для нахождения утечек метана на газораспределительных сетях и газохранилищах применяется разработка ПХРДД – 2.

Полигоны твердых коммунальных отходов оказывают значительное влияние на состояние окружающей среды, в том числе вследствие достаточного выделения свалочного газа, основным компонентом которого является метан. Содержание последнего в теле полигона может приводить к возгоранию и тлению отходов, поэтому проведение мониторинга эмиссий CH_4 является необходимым условием работы объектов захоронения отходов.

Рассмотренные в работе технологии позволяют создать на промышленных объектах системы мониторинга горючих газов, позволяющие предотвратить техногенные аварии и обезопасить окружающую среду и жителей близлежащих территорий.

Список использованных источников

1. Федеральная служба государственной статистики «Образование отходов производства и потребления по видам экономической деятельности по Российской Федерации». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/folder/11194 (дата обращения 15.01.2023).
2. BusinesStat «Анализ рынка удаления и обработки твердых коммунальных отходов (мусора) в России в 2019–2023 гг, прогноз на 2024-2028 гг». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://businesstat.ru/catalog/id42093/ (дата обращения 15.01.2023).
3. Шарова О.А., Бармин А.Н. Экологический мониторинг на полигонах твердых бытовых и промышленных отходов // Региональные геосистемы. – 2013. – №. 3 (146). – С. 16–169.

4. Никольская Е.Ю. Портативные электрохимические сенсоры для газового анализа современное состояние вопроса в Европе и Америке // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2004. – №. 15. – С. 237–241.
5. Aldhafeeri T. A review of methane gas detection sensors: Recent developments and future perspectives // Inventions. – 2020. – Vol. 5. – №. 3. – P. 28.
6. Сенсоры и блоки датчиков для приборов газового анализа «Термокаталитические (термохимические) сенсоры. Принцип измерения». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.sensorgas.ru/poleznoe.html&art=8 (дата обращения: 16.01.2024).
7. Антоненко В., Васильев А., Олихов И. Раннее обнаружение пожара. Полупроводниковые газовые сенсоры // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2001. – №. 4. – С. 48–51.
8. Massie C. et al. Design of a portable optical sensor for methane gas detection //Sensors and Actuators B: Chemical. – 2006. – Т. 113. – №. 2. – С. 830–836.
9. Уникальные волоконные приборы «Волоконно-оптический газоанализатор». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ufdcom.ru/gazoanalizator (дата обращения: 17.01.2024).
10. Морозов А.Н. Применение фурье-спектрорадиометров для пассивной локации химических соединений в открытой атмосфере // Физические основы приборостроения. – 2011. – №. 4. – С. 112–121.
11. АО «ЦПФ МГТУ» «Приборы серии ПХРДД – 2 и ПХРДД - 3». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cpf-bmstu.ru/index.php/pribory-khimicheskoj-razvedki-distantsionnogo-dejstviya?ysclid=lq85yw5y7b438803705 (дата обращения: 18.01.2024).

УДК 621.899

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕГЕНЕРАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Раудсеп В.А.[1] *(студент),* ***Абдулкина А.В.***[1] *(студент),* ***Юльметова Р.Ф.*** [1]
Научный руководитель – доцент, к.х.н. Юльметова Р.Ф.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: veraraufrau@gmail.com, abdulkinaav@mail.ru, liya974@mail.ru

В работе рассмотрены главные технологические аспекты проведения регенерации отработанных моторных масел, а также проведен сравнительный анализ технологий регенерации с целью выбора оптимальной технологии восстановления эксплуатационных свойств моторных масел для их повторного использования на среднем предприятии. Актуальность работы обоснована ростом объемов образования отходов автотранспорта и высокими затратами для производства моторных масел из нефти.

Ключевые слова
Регенерация отработанных масел, моторные масла, утилизация, индустриальная экология, технологические аспекты.

Моторное масло является одним из ключевых компонентов, обеспечивающих исправную работу двигателя автомобиля. Оно обеспечивает смазку трущихся деталей, равномерно распределяет температуру, очищает двигатель от загрязнений и коррозии. Однако, со временем масло теряет свои свойства, в связи с чем подлежит замене. Регенерация моторного масла позволяет продлить его срок службы, уменьшить загрязнение окружающей среды, экономить на покупке нового масла и, следовательно, сокращать производство моторного масла из нефти. Рассматриваемый метод утилизации имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами – захоронением, сжиганием, пиролизом. Захоронение является самым простым и дешевым способом утилизации отработанного масла, однако он не решает проблемы образования отходов. Сжигание позволяет получить тепловую энергию, но при использовании данного метода происходит выброс загрязняющих веществ в атмосферу. Такой метод, как пиролиз, может быть очень эффективным, так как благодаря ему можно получить ценные продукты, а именно печное или дизельное топливо, нефтяной кокс, углеводородные газы. Но, тем не менее при пиролизе возможен большой выброс вредных веществ. Регенерация, как метод утилизации, имеет ряд преимуществ: меньшее воздействие на окружающую среду, возможность сохранить ценные компоненты масла, а также вернуть ему первоначальные характеристики, благодаря чему регенерированное моторное масло можно использовать по его прямому назначению.

Цель данного исследования заключается в изучении технологических аспектов регенерации отработанного моторного масла для повышения экономической и экологической эффективности предприятия. Основные задачи исследования включают в себя обзор существующих технологий регенерации, сравнительный анализ технологий регенерации, выбор оптимального метода регенерации для использования в промышленных условиях средних предприятий.

В ходе проведения анализа патентной и научно-технической документации было выявлено, что существуют такие методы переработки отработанного моторного масла, как химические, физические, физико-химические, биологические и термические. Среди них были выделены физические и физико-химические методы, согласно информации из ИТС 15-2021. Результаты сравнительного анализа методов, а также используемое оборудование для каждого метода представлены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение методов переработки масел

Методы	Применяемые технологии	Оборудование	Преимущества метода	Недостатки метода
Физические	Воздействие силовых полей	Отстойники	Простота использования, удаление механических примесей, без изменений химической основы масел	Не осуществляет полного восстановления масел при глубоком старении
		Гидроциклоны		
		Центрифуги		
		Электроочистители		
		Магнитные очистители		
	Фильтрование с использованием пористых перегородок	Фильтры		
		Фильтры-водоотделители		
	Теплофизическое воздействие	Выпарные колонки		
		Вакуумные дистилляторы		
		Массообменные аппараты		
	Комбинированные технологии	Гидродинамические фильтры		
		Фильтрующие центрифуги		
		Магнитные фильтры		
Физико-химические	Адсорбция	Адсорберы	Высокая эффективность удаления примесей, применение адсорбентов природного происхождения, возможность повторного использования реагентов	Снижение качества масла из-за удаления необходимых компонентов, необходимость тщательного контроля этапов процесса
	Коагуляция	Смесители-отстойники		
	Селективное растворение	Ионообменные аппараты		
	Экстракция	Экстракторы		

Регенерация отработанных масел является многоступенчатым технологическим процессом, состоящим из следующих этапов. Сначала проводится очистка от твердых примесей, затем следует обезвоживание, далее осуществляется удаление легкокипящих фракций и продуктов окисления или поликонденсации углеводородов [1]. Благодаря перечисленным процессам отработанное масло может быть восстановлено до состояния, близкого к первоначальному. Стандартная последовательность технологических процессов регенерации представлена на рисунке 1.

Последовательность этапов процесса регенерации использованных масел может изменяться, также отдельные этапы могут объединяться или исключаться, в зависимости от специфических физико-химических свойств восстанавливаемого масла и специфики технологических операций, которые были выбраны для восстановления качеств отработанного моторного масла.

Перед проведением процесса восстановления отработанного моторного масла необходимо осуществить его очистку от загрязняющих примесей и воды, поэтому обязательными этапами регенерации являются предварительное отстаивание и завершающая фильтрация. Основные 12 сочетаний последовательностей этапов процесса регенерации представлены в виде схем на рисунке 2.

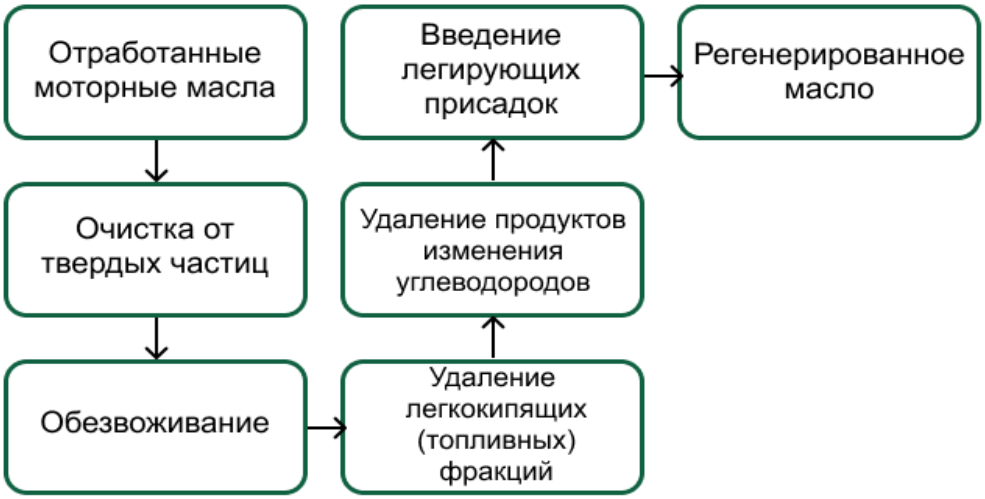


Рис. 1. Стадии процесса регенерации отработанных моторных масел

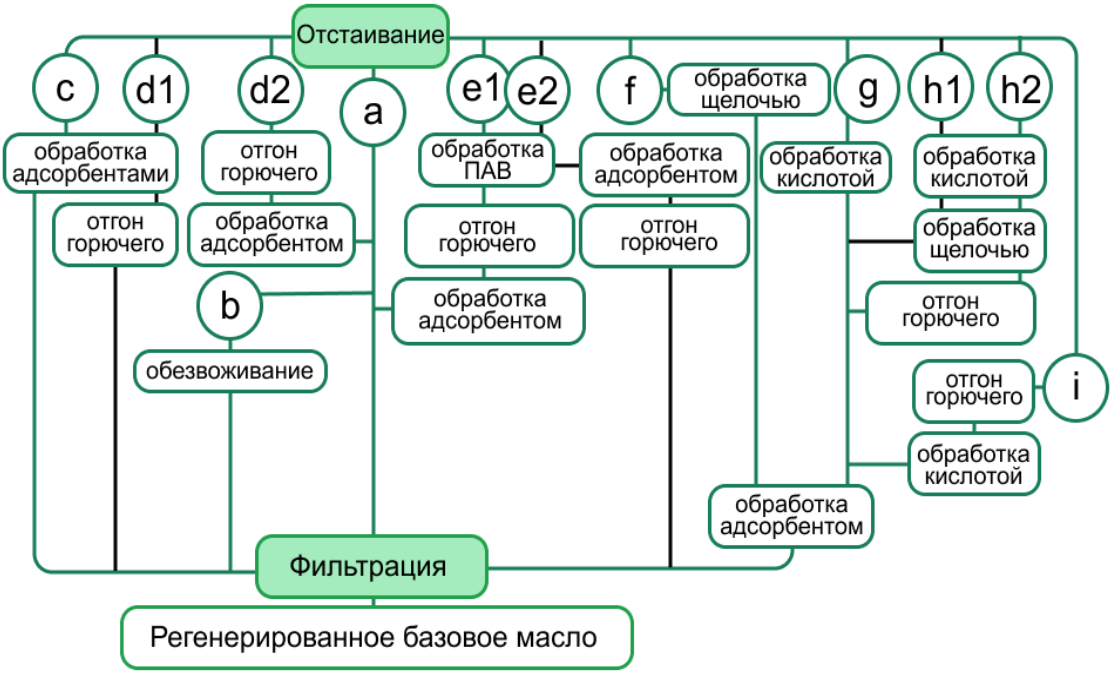


Рис. 2. Основные сочетания этапов регенерации

Выбор технологии регенерации отработанных масел зависит от многих факторов, таких как объемы и темпы образования отходов, наличие инфраструктуры, а также нормативных и законодательных актов, устанавливающих экологические требования к безопасности при проведении процесса [2]. Для выбора оптимальной технологии регенерации моторных масел можно выделить ключевые технологические аспекты процесса:

- очистка масел от твердых частиц и влаги, которая может осуществляться с помощью физических методов, физико-химических или химических методов;
- удаление топливных фракций и продуктов разложения углеводородов;
- введение легирующих присадок для улучшения или коррекции свойств регенерированного масла;
- эффективность технологии: низкие финансовые затраты, энергоемкость, экологическая безопасность.

В процессе исследования были изучены различные технологии регенерации моторных масел, среди них были выбраны для сравнительного анализа - регенерация отработанных моторных масел с использованием наномембран, регенерация с использованием хлорноватой кислоты, комплексная технология с воздействием ультразвукового облучения с дальнейшей

адсорбционной очисткой. Описание технологий регенерации и их сравнение представлено в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение технологий регенерации моторных масел

Технология и год	Суть технологии	Достоинства	Недостатки
Регенерация отработанных моторных масел с использованием наномембран, 2017 [3]	Удаление продуктов окисления, асфальто-смолистых соединений, находящихся в коллоидном и растворенном состоянии	Высокая степень очистки, длительный срок использования. Широкий спектр применения	Зависимость результата от степени загрязненности отработанного моторного масла. Необходимость в квалифицированном персонале
Регенерация с использованием хлорноватой кислоты, 2019 [4]	После 10–30 минут беспрерывного смешивания масла с 10-30% водным раствором хлорноватой кислоты, смесь отстаивают до момента ее разделения на масло и смолянистый осадок. Далее осуществляют процесс нейтрализации с использованием щелочи	Глубокая очистка отработанного масла. Не происходит осмоление. Слабая химическая агрессивность остатка (относительно использования серной кислоты)	Возникновение необходимости утилизации шлама. Химически агрессивные реагенты. Требуется квалифицированный персонал
Комплексная технология с воздействием ультразвукового облучения с дальнейший адсорбционной очисткой, 2020 [5]	Применение ультразвуковых волн позволяет разлагать загрязнители. После чего выполняется адсорбционная очистка с использованием вермикулита	Простота использования, безопасность процесса, высокая эффективность, низкие затраты, универсальность, мягкие условия процесса, возможность повторного использования адсорбента	Требуется квалифицированный персонал

В результате проведения исследования научной и патентной литературы была выбрана для дальнейших исследований комплексная технология регенерации отработанных моторных масел с воздействием ультразвукового облучения с дальнейшей адсорбционной очисткой.

Данная технология относительно других технологий имеет ряд преимуществ такие как: широкий спектр применения; простота технологии и используемого оборудования; безопасные и мягкие условия процесса; возможность восстановления адсорбирующего фильтра водой до 60°С; используемый сорбент вермикулит сохраняет свои свойства, благодаря чему его можно использовать многократно. Использование выбранной технологии регенерации является целесообразным на малых и средних предприятий в силу ее эффективности, энергоемкости и низких денежных вложений.

Список использованных источников

1. Олиферова А. Утилизация отработанных технических масел. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.newchemistry.ru/printletter.php?n_id=119 (дата обращения 15.12.2023).
2. ИТС 15-2021. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Утилизация и обезвреживание отходов (кроме термических способов). – Введен 01.06.2022. – Москва, 2021. – 238 с.

3. Пахотин Н.Е., Осадчий Ю.П., Пахотина И.Н. Регенерация отработанных моторных масел с использованием наномембран // Современные материалы, техника и технологии. – 2017. – №. 7(15). – С. 63–67.
4. Пат. 032029 B1. Способ регенерации отработанного моторного масла / Рамазанова Э.М. гызы, Усубалиев Б.Т. оглы, Аджамов К.Ю. оглы и др.: заявитель и патентообладатель Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности. – №201700384; заявл. 18.05.2017; опубл. 29.03.2019.
5. Чуденкова Т.Н., Чуденкова В.Н. Химия и технология регенерации отработанного моторного масла // Вестник науки и образования. – 2020. – №. 22-1 (100). – С. 10–14.

УДК 628.31, 004

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Семенова Т.С.*[1]*(аспирант),* *Квиринг М.В.*[1]*(студент),* *Гопкин К.А.*[1]*(студент)
***Научный руководитель – к.т.н, доцент Сергиенко О.И.*[1]**

1 – Университет ИТМО

e-mail: semenovats@itmo.ru

Работа выполняется в рамках НИР №623113 «Экотехнологии для защиты окружающей среды».

Рассматривается применение искусственного интеллекта (ИИ) в системах очистки сточных вод, открывающее новые возможности для автоматизации и повышения эффективности процессов очистки, а также для более точного контроля качества очистки сточных вод. Приводится обзор практики применения искусственного интеллекта для управления качеством очистки сточных вод. Показано, что применение ИИ в данной области достаточно быстро развивается в направлении оптимизации расхода ресурсов и минимизация негативного воздействия на окружающую среду. Наибольшее применение за последние годы находят методы глубоких и рекуррентных нейронных сетей.

Ключевые слова
Искусственный интеллект, очистка сточных вод, управление качеством воды, машинное обучение, нейронные сети, анализ данных, мониторинг и управление, экологическая эффективность, инновационные технологии, автоматизация процессов.

В современном мире проблема загрязнения водных ресурсов становится все более актуальной, и, в связи с этим вопрос повышения эффективности процессов очистки сточных вод приобретает особую важность. Для повышения качества очистки все большее значение получают системы с применением искусственного интеллекта. В ходе анализа библиометрических данных было выявлено, что использование искусственного интеллекта в исследованиях по очистке сточных вод привело к 19-кратному увеличению количества опубликованных статей за период с 1995 по 2019 год, а среднее количество цитирований таких статей увеличилось на 36%. Анализ публикаций по применению искусственного интеллекта в очистке сточных вод за период с 2011 по 2022 гг. с использованием методов библиометрии показывает 748 литературных источников из основной коллекции Web of Science с конкретными примерами использования искусственного интеллекта в области очистки сточных вод [3]. Актуальность внедрения искусственного интеллекта (ИИ) поддерживается экономическими выгодами, поскольку эффективное управление качеством очистки сточных вод позволяет снизить затраты на обслуживание и обеспечить долгосрочные экономические выгоды за счет оптимизации процессов.

Целью данной работы является выполнение обзора актуальных методов и тенденций применения искусственного интеллекта в управлении качеством очистки сточных вод, а также выявление потенциальных возможностей для дальнейших исследований и практического внедрения инновационных технологий в этой области.

Глубокое обучение или Глубокие нейронные сети DNN (Deep Neural Network –DNN) – это алгоритмы, которые находят применение в различных областях, таких как распознавание звука и изображений, прогнозирование фондового рынка, рекомендательные системы и т. д. Глубокие нейронные сети используют несколько скрытых уровней для обучения на основе обширных данных, повышая точность по мере прохождения данных через эти уровни [1]. Их основное преимущество заключается в том, что они могут автоматически обнаруживать важные признаки без необходимости их предварительного задания или выбора экспертом, что

делает их особенно полезными в сферах, где знания о данных ограничены или их сложно формализовать. Особенно хорошо они справляются с задачами, где требуется выявление сложных шаблонов и закономерностей в данных.

Сравнение рекуррентных нейронных сетей (Recurrent Neural Network – RNN) и долгосрочной краткосрочной памяти (Long Short-Term Memory – LSTM) по производительности для прогнозирования качества воды в очистных сооружениях сточных вод рассматривается в работе [2]. Простые RNN и архитектура LSTM используется для построения моделей прогнозирования параметров сточных вод, при этом систематически оценивается их производительность при различных сценариях обучающих данных. Основной целью исследования являлся выбор наиболее подходящей модели для конкретных очистных сооружений сточных вод. Точность предсказания показателей качества сточных вод оценивалась по методу среднеквадратичного отклонения по всем параметрам. Результаты исследования могут быть применены для выявления потенциальных нарушений в работе очистных сооружений.

Применение искусственного интеллекта (ИИ), анализа данных и управления работой очистных сооружений сточных вод в городах анализируются в работе [4]. Такие сооружения представляют собой крупномасштабные объекты, включающие сети канализации, непосредственно очистные сооружения и системы приема очищенной воды. Применение ИИ для анализа данных в муниципальных системах очистки сточных вод осложняется комплексным характером сооружений, большими объемами и неравномерностью поступления стоков, их переменным составом, а также относительно низким качеством данных. ИИ служит для обнаружения неисправностей, управления процессами и преобразования большого объема данных в аналитику, с особым акцентом на неисправности и отклонения от нормального режима работы очистных, например, в результате утяжеления ила, коррозии сетей канализации, неисправности датчиков и исполнительных механизмов и другие технологические аспекты.

Методики повышения качества процессов очистки сточных вод с использованием цифровых технологий и тензорного исчисления, дробного факторного планирования, статистического моделирования и искусственных нейронных сетей рассмотрены в работе [5]. Авторы приводят следующую последовательность этапов: сбор данных для процесса очистки сточных вод; построение нейронной сети для каждой стадии изучаемого процесса очистки, и разработка и внедрение кода для оптимизации процесса. Создание программного обеспечения для анализа и прогнозирования показателей качества в процессе очистки сточных вод реализовано на языке Python с использованием фреймворка Qt для кроссплатформенной разработки приложений с графическим интерфейсом и без него, что обеспечивает совместимость и доступность работы программы в разных операционных системах. Система способна выполнять следующие функции: сбор данных в различных режимах работы очистных сооружений; обработка и синхронизация данных о качестве сточных вод на различных этапах процесса очистки; отображение данных в виде графиков и их передача в форматы табличных процессоров, например, Excel. Примеры использования данной системы в реальных условиях подтверждают её практическую значимость и возможность использования для повышения эффективности комплексного мониторинга параметров очистки [6].

Внедрение систем искусственного интеллекта в процессы очистки сточных вод является перспективным направлением, способствующим значительному прогрессу в сфере экологии и устойчивого развития. Исследования показывают, что использование глубоких нейронных сетей и других алгоритмов ИИ значительно повышает точность прогнозирования параметров сточных вод, что позволяет предотвращать аварийные ситуации и оптимизировать расход энергии и реагентов в процессах очистки. Системы, основанные на ИИ, обеспечивают сбор данных, их комплексную обработку и удобное представление результатов, что важно для обеспечения постоянного контроля качества очистки и соблюдения экологических нормативов. В дальнейшем представляется целесообразным применение методов управления качеством процессов очистки сточных вод с использованием цифровых технологий и ИИ, когда на этапе сбора данных применяются физические модели.

Список использованных источников

1. Haider S.A., Naqvi S.R., Akram T., Umar G.A., Shahzad A., Sial M.R., Khaliq S., Kamran M. LSTM Neural Network Based Forecasting Model for Wheat Production in Pakistan // Agronomy. – 2019. DOI: 10.3390/agronomy9020072.
2. Yu X., Chen S., Zhang X., Wu H., Guo Y., Guan J. Research progress of the artificial intelligence application in wastewater treatment during 2012–2022: a bibliometric analysis // Water Science & Technology. – 2023. – №. 88(7). – Pp. 1750–1766.
3. Liu Y., Ramin P., Flores-Alsina X., Gernaey K.V. Transforming Data into Actionable Knowledge for Fault Detection, Diagnosis and Prognosis in Urban Wastewater Systems with AI Techniques: A Mini-Review // Process Safety and Environmental Protection. – 2023. – №. 172. – Pp. 501–512.
4. Виноградов Л.В., Колбина А.Д., Бурылов В.С. Использование инструментов искусственного интеллекта для многокритериальной оптимизации тензора качества // Технико-технологические проблемы сервиса.– 2022. – №. 3 (61). – С. 658–63.
5. Штепа В.Н., Золотых Н.Ю. Интеллектуальная система анализа и прогноза экологической безопасности биологических сооружений очистки сточных вод // Искусственный интеллект в Беларуси: сборник докладов Первая выставка-форум ИТ-академграда. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2022. – С. 41–45.
6. Штепа В.Н. Этапы создания информационно-аналитических систем обеспечения регионального рационального водопользования / В. Н. Штепа, И. А. Янковский // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб. науч. тр. / Сев.-Вост. науч. центр Трансп. акад. Украины; [редкол. В. А. Богомолов (гл. ред.) и др.]. – Харьков: ХНАДУ. – 2015. – № 70. – С. 119–121.

УДК 504.00

ЛАБОРАТОРНАЯ ОЦЕНКА СПОСОБНОСТИ БИОДЕГРАДАЦИИ МАТЕРИАЛОВ

***Семыкина А.А.*[1]** *(студент)*
***Научный руководитель – к.т.н., доцент Молодкина Н.Р.*[1]**

1 – Университет ИТМО

e-mail: alenawiy@mail.ru, nrmolodkina@itmo.ru

В данной работе была проведена лабораторная оценка способности биодеградации трех различных материалов: образцом, имеющим сертификацию «OK Compst», композитным материалом (биоразлагаемой посудой) и хитозановым покрытием (жидким пластырем) в условиях аэробного компостирования в соответствии с методикой ГОСТ Р 57219-2016.

Ключевые слова
Компостируемые материалы, биоразложение, биодеградация, оборудование, методика.

Загрязнение окружающей среды привело к изменениям в экологическом законодательстве, что всё чаще подталкивает покупателей и крупные компании рассматривать продукцию из экологически чистого сырья, которое подвержено биоразложению. Однако в настоящее время существует не так много официальных сертификаций, подтверждающих возможность компостирования материала. Вследствие этого была создана установка, позволяющая проводить оценку биоразложения в соответствии с методикой ГОСТ Р 57219-2016 и проведен первый эксперимент.

На основе методики [1] исследуемый образец материала помещают в условия, которые имитируют промышленное компостирование. Созданная установка позволяла автоматизировать некоторые этапы проведения эксперимента.

Исследование требует проведения как отрицательного, так и положительного контроля. Отрицательный контроль представляет собой компостную смесь без каких-либо материалов. Для положительного контроля в емкость помещают материал, который точно подвержен компостированию. Данный контроль позволяет судить об активности компоста и подтвердить достоверность результатов.

Активность компостной смеси является важным фактором для успешного проведения эксперимента. Поэтому была выполнена подготовка компоста: смесь была увлажнена и выдерживалась при определенных условиях с периодическим перемешивание. Затем компост смешивался с инертным материалом (вермикулитом), была добавлена небольшая порция комплекса бактерий и сернокислый аммоний в качестве дополнительного источника азота.

Также компостная смесь должна соответствовать физико-химическим требованиям, предъявляемым стандартом [1]. Были выявлены его параметры: соотношение углерода и азота – 21,34, общее содержание сухого вещества – 77,10%, содержание летучих твердых веществ 49,34%, pH – 8,62 и сопоставлены с требованиями стандарта. Все параметры были в пределах нормы.

В качестве исследуемого образца № 1 был выбран одноразовый стакан для горячих напитков, имеющий сертификацию «OK Compost». Образец № 2 – биоразлагаемый композитный материал (биоразлагаемая посуда) [3]. В качестве образца № 3 было выбрано хитозановое покрытие – жидкий пластырь [4]. Состав образцов представлен в таблице 1.

Образцы были изучены на содержание влаги и общего органического углерода. Перед загрузкой в ёмкости материалы измельчались на пластины размером 1x1 см. В качестве контрольного материала использовалась микрокристаллическая целлюлоза (МКЦ).

Таблица 1

Исследуемые образцы

	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Исследуемый материал	Одноразовый стакан «ОК Compost»	Биоразлагаемый композитный материал (биоразлагаемая посуда)	Хитозановое покрытие – жидкий пластырь
Состав	–	Крахмал, вода, рисовая шелуха, PLA	1%-й раствор хитозана, глицерин, крахмал, пантенол и Твин-80

Температура проведения процесса поддерживалась в соответствии со стандартом [1]. Во время фазы биоразложения взвешивание ёмкостей производили ежедневно, а затем раз в два дня. Фиксировались все визуальные изменения, еженедельно осуществлялось перемешивание компостной смеси путем встряхивания ёмкостей. Также фиксировалось наличие конденсата/стоячей воды в ёмкостях.

Степень разложения вычисляется с помощью формул из ГОСТа [1].

Для оценки протекания процесса строились графики, иллюстрирующие зависимость кумулятивного объема выделившегося диоксида углерода от времени и степени биоразложения образца и контроля. Для примера приведены графики эксперимента с образцом № 3 (пленки из хитозана) на рисунке 1, эксперимент проводился в течение 114 дней.

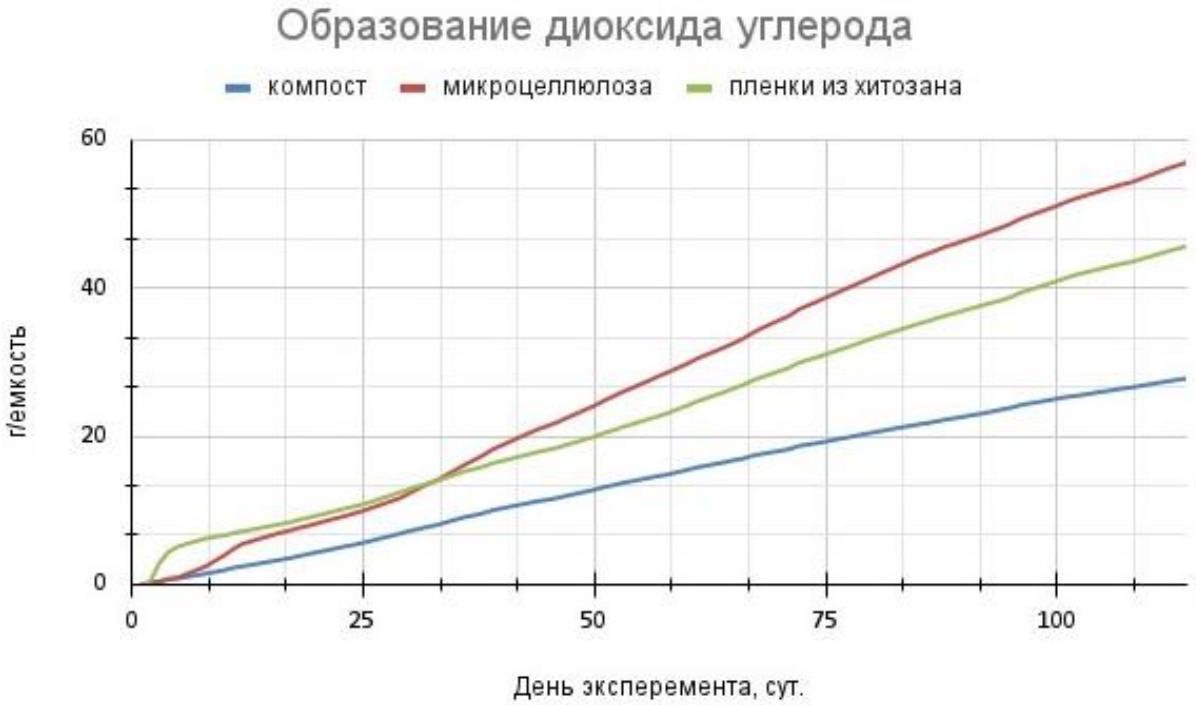


Рис. 1. Объема выделившегося диоксида углерода образца № 3

Степень биоразложения МКЦ – 158,55%; образца № 3 – 100,93%. Результаты полученных значений степени биоразложения контрольного и исследуемого материала приведены на рисунке 2.

По ГОСТу ёмкости для компостирования инкубируют не более шести месяцев. В процессе испытания проверяют активность инокулята при помощи биоразлагаемого контрольного материала, измеряя количество выделяющегося в ёмкости для контрольной пробы диоксида углерода. Контрольный материал в конце испытания должен быть разложен на 70% или более.

Эксперимент проводился от 114 до 187 дней в зависимости от образца. Итоговые данные по образцам и контрольным материалам представлены в таблице 2.

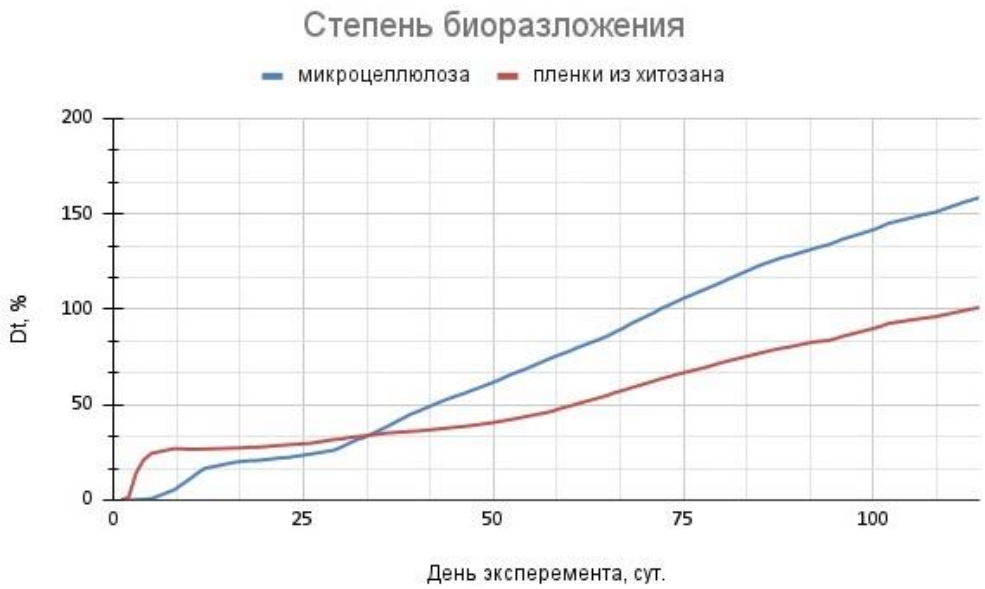


Рис. 2. Степень биоразложения образца № 3 (пленки из хитозана) и контрольного материала

Таблица 2

Результаты и длительность испытаний

	Образец № 1	Контроль № 1	Образец № 2	Контроль № 2	Образец № 3	Контроль № 3
Степень биоразложения, %	70,16	60,01	67,9	44,32	100,93	158,55
Время испытания, сут.	187		139		114	

В соответствии с ГОСТ испытание считают достоверным, если:

a) степень биоразложения контрольного материала более 70 % после 45 дней;
b) в конце испытания разница между степенью биоразложения контрольного материала в разных емкостях менее 20%.

Сравнение результатов в конце эксперимента показало, что только один критерий для одного образца выполняется.

В процессе проведения исследования были определены свойства образцов и компоста, также проведено испытание по оценке биодеградации трех образцов на лабораторном комплексе. Анализ критериев достоверности показал, что только один критерий выполняется. Причиной этого может служить не высокая активность компоста, недостаточное перемешивание компостной смеси или другое. Требуется повторение эксперимента.

Список использованных источников

1. ГОСТ Р 57219-2016 Пластмассы. Определение способности к полному аэробному биологическому разложению и распаду в контролируемых условиях компостирования. Метод с применением анализа выделяемого диоксида углерода. Часть 2. Гравиметрический метод анализа диоксида углерода, выделяемого при лабораторном испытании. – М.: Стандартинформ, 2016. – 15 с.
2. Шестель А.А., Гаврецкая А.В., Николаев Е.М. Разработка лабораторной установки для оценки способности биодеградации по ГОСТ Р 57219-2016 // Альманах научных работ молодых ученых Т. 2. – 2023. – С. 188–191.
3. Николаев Е.М., Шанин В.А. Технологические решения для получения биоразлагаемых материалов // Альманах научных работ молодых ученых Т. 2. – 2023. – С. 329–333.
4. Гаврецкая А.В., Шестель А.А., Николаев Е.М. Особенности технологии получения и свойств хитозановых покрытий из вторичных материальных ресурсов // Альманах научных работ молодых ученых Т. 2. – 2023. – С. 323–234.

УДК 10167

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ, ВЛИЯЮЩИХ НА РЕСТОРАННЫЙ БИЗНЕС В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

Сквиря К.Р.[1] *(студент)*
Научный руководитель – к.т.н., доцент Овсюк Е.А.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: karina.skv@mail.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №311742 «Анализ эколого-экономических факторов, влияющих на устойчивое развитие ресторанов Санкт-Петербурга».

В работе рассмотрены основные проблемы, связанные с экологическими аспектами ресторанного бизнеса, и проанализировано их влияние на данную отрасль в городе. Освещаются вопросы, связанные с загрязнением окружающей среды, использованием неэкологических материалов, энергосбережением, утилизацией отходов и другими аспектами, которые могут негативно повлиять на ресторанный бизнес и окружающую среду.

Ключевые слова
Экологические проблемы, ресторанный бизнес, Санкт-Петербург, загрязнение окружающей среды, энергосбережение, утилизация отходов.

Поскольку ресторанная индустрия Санкт-Петербурга быстро развивается, факторы окружающей среды играют ключевую роль в ее деятельности. С экологической точки зрения стандартные решения, принимаемые компаниями в этой области, не всегда работают. Поэтому необходимо провести углубленный анализ этих проблем и предложить новые решения.

Одной из основных экологических проблем, влияющих на ресторанный бизнес Санкт-Петербурга, является отсутствие раздельного сбора и переработки отходов. В большинстве ресторанов нет систем сортировки и переработки отходов. Это оказывает негативное влияние на окружающую среду, поскольку многие продукты, такие как пластиковая упаковка и пищевые отходы, попадают на свалку и долгое время не разлагаются. Это создает проблемы загрязнения почвы и воды.

Чтобы решить эту проблему, рестораны должны внедрить системы разделения отходов и создать предприятия по их переработке. Многие компании уже активно перенимают эту практику и сотрудничают с организациями, специализирующимися на сборе и переработке отходов. Также важно рассмотреть возможность использования биоразлагаемой упаковки продуктов, чтобы уменьшить количество не перерабатываемых отходов.

Новые подходы могут включать реализацию программ обучения сотрудников правильной сортировке и переработке отходов, а также установку специальных контейнеров для сбора различных типов отходов. Кроме того, рестораны могут сотрудничать с местными организациями по переработке отходов для разработки систем восстановления и переработки.

Эти улучшения помогут заведениям общественного питания Санкт-Петербурга не только соответствовать экологическим стандартам, но и стать более конкурентоспособными. Неся ответственность за свое воздействие на окружающую среду, рестораны могут привлечь больше клиентов, которые ценят заботу об окружающей среде и устойчивое развитие [1].

Еще одним важным вопросом, который следует учитывать, является отсутствие использования энергосберегающих технологий в ресторанах. Многие предприятия до сих пор используют старое оборудование, которое потребляет много энергии. Это приводит к ненужному потреблению энергии и оказывает негативное воздействие на окружающую среду.

Кроме того, ресторанная индустрия уделяет мало внимания оптимизации использования энергии, такой как свет, вода и воздух. Распространено злоупотребление электричеством, например, включение света и необходимых приборов на кухне, когда они не используются. Рестораны также могут использовать воду неэффективно, например, использовать посудомоечную машину с частичной загрузкой или допускать протечки. Проблема также может влиять на потребление воздуха, например, из-за отсутствия контролируемого кондиционирования воздуха или плохой изоляции помещения.

Чтобы решить эту проблему, ресторанам следует пересмотреть свои энергетические системы и приборы, чтобы выбрать более энергоэффективные альтернативы. Важно понимать, что современное энергосберегающее оборудование позволяет существенно снизить энергопотребление и затраты на электроэнергию. Например, использование энергоэффективных холодильников, плит и посудомоечных машин может снизить затраты на электроэнергию на кухне. Также следует подумать об энергосберегающем освещении, в том числе о светодиодных лампах, которые потребляют меньше энергии и служат дольше.

Однако необходимо иметь в виду, что обновление устройства может оказаться дорогостоящим процессом. Поэтому важно обучать персонал правильному использованию энергии. Сотрудники ресторана должны быть обучены методам энергосбережения, таким как: выключение света и приборов, когда они не нужны, оптимизация использования воды и контроль температуры в помещении. Кроме того, можно внедрить систему мониторинга и контроля энергопотребления для отслеживания и оценки энергоэффективности ресторана.

Поэтому рестораны активно внедряют энергосберегающие технологии и правильно используют энергию, что имеет большое значение для экономии энергии и защиты окружающей среды. Это поможет снизить затраты на электроэнергию и уменьшить негативное воздействие на изменение климата. Однако для эффективного решения этой проблемы требуется не только замена оборудования, но и обучение персонала, установка систем управления.

Кроме того, утилизация пищевых отходов является одной из наиболее актуальных проблем ресторанного бизнеса Санкт-Петербурга. Каждый день рестораны оставляют после себя тонны пищевых отходов, которые выбрасываются и попадают на свалки. Это не только создает неприятный запах, но и создает проблемы с гигиеной [2].

Чтобы бороться с этой проблемой, ресторанам следует искать способы переработки пищевых отходов. Например, создание собственной компостной ямы, чтобы превращать пищевые отходы в органическое удобрение для почвы. Рестораны также могут сотрудничать с фермами, которые используют пищевые отходы в качестве корма для животных или удобрений.

Кроме того, загрязнение воды является одной из серьезных экологических проблем для предприятий общественного питания города Санкт-Петербурга. Сброс отходов и сточных вод из ресторанов в реки и каналы приводит к серьезному загрязнению воды, что оказывает негативное влияние на окружающую среду и здоровье человека.

Во-первых, рестораны производят большое количество отходов, включая остатки еды, упаковку, пластиковую и стеклянную тару и другие материалы. Если эти отходы не утилизировать должным образом, и они попадут в близлежащие водоемы, то они могут загрязнить воду. Органический материал разлагается и потребляет кислород, что приводит к потере растворенного кислорода в воде. Это может привести к удушению водных обитателей и нежелательным изменениям в экосистеме.

Во-вторых, сточные воды ресторанов часто содержат различные химические вещества, в том числе чистящие средства, пищевые отходы и синтетические добавки. Как только ресурсы попадают в водоемы, эти вещества могут оказывать долгосрочное негативное воздействие на водоросли, рыб и другие организмы. Некоторые из этих химикатов также могут быть вредны для людей, если они пьют загрязненную воду.

Загрязнение воды имеет серьезные последствия для окружающей среды и здоровья человека. Это может привести к ухудшению качества воды, утрате биоразнообразия, исчезновению рыбы и других водных организмов, а также загрязнению питьевой воды.

Загрязненная вода может стать причиной различных заболеваний и инфекций, особенно при использовании для питья, приготовления пищи и гигиены.

Эту проблему необходимо решить немедленно, в том числе путем введения более строгого контроля и создания эффективных систем управления отходами и водой в ресторанах. Прежде чем сточные воды будут сброшены в природные воды, необходимо спланировать процедуры обработки и удаления отходов, а также создать эффективные системы очистки отходов. Это единственный способ сэкономить воду и поддержать экосистему и здоровье людей, пьющих воду.

Таким образом, основными экологическими проблемами, затрагивающими рестораны Санкт-Петербурга, являются отсутствие сортировки и переработки отходов, недостаточное использование энергосберегающих технологий, проблемы утилизации пищевых отходов и загрязнение водных ресурсов. Для решения этих проблем рекомендуется внедрить системы сортировки и переработки отходов, использовать энергосберегающее оборудование и технологии, найти способы борьбы с пищевыми отходами, чтобы минимизировать негативное воздействие на окружающую среду и создать эффективные системы очистки сточных вод.

Направления дальнейшего развития этого вопроса включают поиск новых технологий и методов утилизации отходов, разработку энергосберегающих альтернатив для ресторанов, а также повышение осведомленности и просвещения предпринимателей ресторанной отрасли об экологических проблемах и их решениях. Это позволит гастрономии Санкт-Петербурга внедрить эффективные и устойчивые практики и снизить негативное воздействие на окружающую среду [3].

Список использованных источников:

1. Петрикова А.В. Современные экономические тенденции в ресторанном бизнесе Санкт-Петербурга //Экономика и бизнес. – 2022. – №. 346. – С. 74–77.
2. Петрикова А.В. Ресторанный бизнес Санкт-Петербурга в период санкций//Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2022. – №. 4-1. – С. 53–59.
3. Фокина О.В. Реализация концепции устойчивого маркетинга в ресторанном бизнесе // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. – 2022. – №. 338. – С. 236–244.

УДК 655.05

СПОСОБЫ УТИЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУЖКИ

Суворова В.А.[1] *(студент),* ***Юльметова Р.Ф.***[1]
Научный руководитель – к.х.н., доцент Юльметова Р.Ф.[1]

1 – Университет ИТМО

e-mail: suvorova_var@mail.ru; liya974@mail.ru

Работа выполнена в рамках темы ВКР «Научно-правовые основы оптимизации обращения с отходами в компаниях (на примере Научно-производственного предприятия «ОРИОН»).

Стружка представляет собой сыпучую массу из отдельных частиц, которая является потенциальным источником загрязнения окружающей среды. В работе рассматриваются эффективные и экологически безопасные способы утилизации металлической стружки, образованной в ходе механической обработки металла. Предлагается рациональный выбор способа утилизации для предприятий.

Ключевые слова
Металлическая стружка, способы утилизации, оборудование для переработки, брикетирование, брикеты, отходы.

Металлическая стружка является одним из основных отходов производства металлических изделий. Ее образование связано с механической обработкой металлов, такой как фрезеровка, токарная обработка и шлифовка. В подавляющем большинстве в России на металлообрабатывающих предприятиях не установлено оборудование, позволяющего эффективно утилизировать отходы, поэтому они направляются на продажу или на полигон.

Проблемой переработки стружки в местах её образования является наличие различных примесей: смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), влаги, песка, частиц цехового мусора. Общая загрязненность неосушенной стружки в среднем достигает 10–15% от общего процента отхода. Это снижает металлургическую ценность стружки, ведь она может содержать в себе такие элементы как: Cr, Ni, V, Ti, Mo, что делает ее весьма привлекательной для переработки и подготовки к рециклингу на предприятиях-источниках.

Сбору и утилизации в качестве вторичного сырья подвергаются, главным образом, отходы с высоким уровнем ликвидности – металлическая стружка является хорошим примером.

1. **Переработка и вторичное использование.** Первичная утилизация металлической стружки – это ее переработка и вторичное использование. Металлическая стружка может быть переплавлена и использована для производства новых металлических изделий. Однако такой способ не ликвиден и малоэффективен, потому что стружка занимает большие объемы при хранении и транспортировке к местам переплавки. Также при переплавке теряется большой процент материала.
2. **Прессование и компактирование.** Один из наиболее эффективных способов утилизации металлической стружки – это ее прессование и компактирование. Стружка может быть сжата в специальные блоки или брикеты, которые затем могут быть переплавлены или проданы производителям металлических изделий. Прессование стружки позволяет сократить ее объем, что упрощает ее хранение и транспортировку [1].

Лидирующим в последние годы способом прессования является холодное брикетирование. Оно содержит в себе ряд стадий:

1. Предварительное дробление особенно при наличии больших фракций стружки.
2. Промывка от масел и СОЖ с применением центрифугирования.
3. Сушка от влаги.
4. При необходимости введение связующих добавок или восстановителей

5. Прессовка.

При холодном брикетировании получаются однородные брикеты, где их плотность в среднем колеблется в пределах 3000–3500 кг/м^3, максимум 4400–4600 кг/м^3 [2]. Однако химический состав таких прессованных брикетов неустойчив и механическая прочность низкая. Всякого рода связки, добавки восстановителей существенно не улучшают качество брикета. Процесс прессовки холодным способом усложняется тем, что без сушки в брикетах может задерживаться жидкость в виде воды или масла – около 1,5% и выше. Избавиться от остатков масел, воды и добиться повышения плотности прессовки более 6000 кг/м^3 возможно лишь при горячем брикетировании [3].

Горячее брикетирование может подразделяться на две стадии:

1. Первичная сушка при 250–350°С как очищенной, так и загрязненной стружки. Далее идет предварительная прессовка для уплотнения стружки.
2. Второй нагрев брикетов происходит в температурных границах 650–750°С. Затем наступает конечное прессование для придания формы брикету.

Такой способ брикетирования очень энергоемкий и требует больших капитальных вложений. Однако данные брикеты высоко оцениваются на рынке вторсырья, чем брикеты холодного брикетирования [4].

Новым направлением в компактировании металлической стружки становится электроимпульсное брикетирование. Оно обеспечивает более рациональную переработку отходов в брикеты за счет невысоких капитальных и ежегодных вложений. В данном способе главным технологическим инструментом является электрический ток большой плотности.

Измельчённую стружку прессуют при сравнительно небольших давлениях, а затем, не снимая давления, подвергают обработке импульсом электрического тока. Эта обработка позволяет связать спрессованный материал в прочный брикет. Весь металл при брикетировании нагревается незначительно, а локальные зоны контактов на короткое время, это позволяет избежать существенного окисления металла при брикетировании на воздухе.

3. **Использование в качестве заполнителя.** Мелкодисперсная металлическая стружка может быть использована в качестве заполнителя в различных отраслях. Например, в строительстве можно добавлять стружку при изготовлении ячеистого бетона или композитных материалов. Смешивание стружки с другими материалами может улучшить их механические свойства и снизить затраты на производство. Лучшим связующим показателем будет дробленая стружка до состояния порошка. Для измельчения применяются три основных вида стружкодробилок: ножевые, роторные, молотковые. Основной отличительной чертой конструкции стружкодробилок является ударное действие ротора, на котором размещены молотки. Его вращение осуществляется приводом через ременную передачу. В основном используется асинхронный электродвигатель, оснащённый частотным преобразователем. Для наиболее интенсивного измельчения лучше всего выбрать планетарно-центробежные мельницы. При измельчении размер частиц в среднем составит 3–6 мкм и меньше [5].
4. **Обработка на специализированных установках.** Некоторые компании предлагают услуги по обработке и утилизации стружки с использованием различных методов, таких как фильтрация, отжиг и сепарация. Так, например, эти методы позволяют извлечь ценные металлы из стружки. В случае использования магнитного сепаратора из стружки извлекают магнитный металл, что позволяет повысить качество дальнейшей продукции.

Выбор подходящей эффективной утилизации металлической стружки является критически важным для эффективности и экономической целесообразности производства. Правильно выбранное оборудование может повысить качество брикетов, улучшить производственные процессы и способствовать устойчивому управлению металлическими отходами. Поэтому предлагаются следующие характеристики, на которые стоит обратить внимание.

Прямые характеристики оборудования:

1. Производительность оборудования. Анализ объёма выпуска готовой продукции в кг/час.

2. Энергоэффективность. Расчет мощности под конкретное предприятие – сколько кВт/ч, а соответственно и рублей, потребуется на выпуск одной тонны продукции.
3. Степень автоматизации. Данный критерий снижает риск пресловутого человеческого фактора и гарантирует постоянство качества выпускаемой продукции.

Косвенные характеристики оборудования:

1. Опытные поставщики оборудования. Проверка поставщиков на наличие лицензии на продажу данного оборудования.
2. Инвестиционный горизонт. Разработка проекта с возможными рисками.
3. Эксплуатационные затраты. Расчет стоимости годового обслуживания оборудования.
4. Технологичность оборудования. Анализ удобства обслуживания оборудования, времени простоев на обслуживание и ремонт.

Таким образом, разработана таблица 1 с критериями оценки, основанных на анализе характеристик оборудования. С ее помощью можно объективно сравнить как однотипное, так и разно видовое оборудование. Рассмотрим три вида оборудования:

1. Пресс для брикетирования стружки Y 83–250, предназначенный для холодного брикетирования [6].
2. Автоматическая линия горячего брикетирования от компании «ИмпЭксПресс» [7].
3. Установка для электроимпульсного брикетирования от компании «ИмпЭксПресс» [7].

Для начала необходимо обозначить вес (важность) критериев, после проставить баллы по десятибалльной шкале каждому критерию, основываясь на характеристике оборудования (табл. 2). Затем в столбце "итого" перемножить баллы на вес и сложить сумму всех критериев. В качестве примера производится расчет предприятия с годовым образованием металлической стружки – 57,23 т.

Таблица 1

Критерии оценки оборудования

Критерии оценки	Вес	Оборудование №1	Оборудование №2	Оборудование №3
		Балл	Балл	Балл
Производительность, кг/час	0,2	6	9	3
Энергоэффективность, кВт	0,2	7	2	9
Проектные и эксплуатационные затраты	0,3	9	2	6
Срок окупаемости, год	0,2	9	2	6
Риски	0,1	7	5	2
Итого	1	6,72	1,9	5,6

Таблица 2

Характеристики оборудования

	Производительность, кг/час	Энергоэффективность, кВт	Проектные и эксплуатационные затраты, т/тыс. руб.	Срок окупаемости, год
Оборудование №1	480	22	3108,83	2,5
Оборудование №2	1000	122	21000,00	21,87
Оборудование №3	240	20	9600,00	10,02

Таким образом, анализируя таблицу 1, можно сделать вывод, что для предприятия с небольшим образованием отходов подойдет холодное брикетировании, так как данный вариант экономически целесообразен и позволяет предприятию зарабатывать на отходах.

Утилизация отходов в целом является важным шагом в направлении устойчивого и экологически безопасного производства. Важно, чтобы предприятия-источники осознавали необходимость в правильно выбранном способе утилизации и переработки металлических отходов, так они смогут не только снизить негативное воздействие на окружающую среду, но и сэкономить на сырье или увеличить доход с продажи переработанного сырья.

Список используемых источников

1. Иванов А.А. Металлургическая промышленность: современные тенденции и перспективы развития // Издательский дом «Лань». –2018. – №. 2. – С. 4–7.
2. Лебедева О.А., Степаненко Н.А., Павлов С.Н. Восстановление металлов из отходов машиностроения // ЭКиП: Экология и промышленность России. – 2007. – №. 1. – С. 14–15.
3. Ермоленко К.А., Лихтина Е.Ю. Холодное брикетирование как способ переработки металлургических отходов // Молодые исследователи за устойчивое развитие: Сборник статей IV Международной научно-практической конференции / отв. за вып. И.И. Ивановская; Петрозаводск, 2023. – С. 94–98.
4. Ровин Л.Е., Валицкая О.М. Ресурсосбережение при брикетировании стружки // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П.О. Сухого. – 2016. – №. 2. – С. 27–35.
5. Способ получения порошка из металлической стружки [Текст]: пат. 2705748 Рос. Федерация: МПК B22F 9/04, B22F 8/00 / Н. Г. Разумов, Д. В. Масайло, В. Ш. Суфияров [и др.]; заявитель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого" (ФГАОУ ВО "СПбПУ"). –№ 2019121340: заявл. 08.07.2019: опубл. 11.11.2019.
6. ООО «Лидер». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://liderpress.ru/about (дата обращения: 12.02.2024).
7. ООО «ИмпЭксПресс». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.impexpress.ru/avtomaticheskaya_liniya_dlya_goryac (дата обращения: 12.02.2024).

УДК 504.06

ANALYZING THE ENVIRONMENTAL CERTIFICATION STANDARDS APPLICABLE TO URBAN LANDSCAPES

Hakim C.E.A.[1] *(PhD student)*
Scientific Supervisor – PhD, Associate Professor Sergienko O.I.[1]

1 – ITMO University

e-mail: carl.akoula@yahoo.com

The work was carried out within the framework of the research topic No. 107824 "Environmental Sciences".

Landscape environmental certifications serve as a framework for assessing and certifying the sustainability of landscape projects, encompassing design, monitoring, and planning aspects. This article highlights the significance of sustainable landscapes in fostering community cohesion and addresses their role in reducing water demand, mitigating stormwater runoff, supporting wildlife habitats, conserving energy, improving air quality, and promoting outdoor recreation opportunities. Despite the benefits, existing rating systems often overlook the importance of sustainable landscape design. The SITES Initiative stands out as a prominent certification program facilitating the creation of resilient and sustainable urban landscapes.

Keywords
Environmental certification, urban landscapes, sustainability, SITES Initiative, community cohesion, energy efficiency, outdoor recreation.

The analysis focuses on the integration of environmental, social, and economic factors while defining sustainable urban development and presenting its fundamental ideas. Attaining sustainability in all domains is among the most accepted objectives. Obtaining a landscape environmental certification, which is a system of ratings that direct, assess, and certify a project's sustainability in the construction, administration, and planning of landscapes and other outdoor areas, is one way to quantify sustainability in landscape and urban design. Furthermore, these days, it's critical to have access to sustainable landscapes as they can lower water use, absorb, and minimize stormwater runoff, support wildlife habitats, use less energy, enhance human health, and air quality, and provide chances for outdoor enjoyment [1].

In order to define and standardize results, rating, and certification systems, also known as ecolabels, have evolved recently. Eco-labels are sustainability initiatives that examine the triple bottom line—economic benefit, environmental responsibility, and community involvement. At least 435 ecolabels in 25 distinct economic sectors are currently recognized in 197 countries [2].

An understanding of these consequences led to the development of the concept of ecosystem services in landscape architecture. Ecosystem services are the benefits that a robust and healthy environment provides to the human population. Ecosystem services can be divided into the following four major groups:

1. Food, water, timber, and other resources are provided by the ecosystem for human use or consumption.
2. Through managing temperature, regulating flooding, and filtering water and air, ecosystems provide regulating functions.
3. Cultural services offer non-material rewards like aesthetics and enjoyment.
4. Soil structure, primary production, and nitrogen cycling are services that govern all other services.

These benefits to persons and society are provided by ecosystems to varying degrees. Extremely rich environments, such as tropical rainforests, provide a wealth of ecosystem services, but highly

developed and degraded urban ecosystems do not. Therefore, human activities that have an impact on ecosystems also have an impact on the ecological services that sustain life. This is the primary reason that human growth in the landscape necessitates the implementation of sustainability measures.

The SUSTAINABLE SITE INITIATIVE program

The American Society of Landscape Architects Fund and The Lady Bird Johnson Wildlife Center at The University of Texas collaborated to create the SITES Rating System, since 2016.

Currently owned by Green Business Certification Inc. (GBCI). The SITES Rating System is a complete set of benchmarks and credits that are used for measuring site sustainability.

Demonstrates how ecosystem services may be preserved, improved, and maintained via the efforts of developers, landowners, engineers, planners, architects, and others. This is accomplished by aligning landscape development and design strategies with ecological system functions. For environmental designers, their clients, and the public, SITES offers numerous significant benefits and values. It encourages the application of best practices in landscape architecture and environmental design, and it could help designers fulfill their health, safety, and welfare licensing obligations. In addition, customers can feel secure in the knowledge that their project has met stringent, verified sustainability requirements, and they may promote their facilities' SITES accreditation like many do with the LEED® green building program.

SYTES upholds morality, preserves natural systems for current use and enjoyment, and safeguards ecosystems and the essential services they offer to coming generations.

A thorough framework for planning, building, and managing resilient and sustainable landscapes and other outdoor spaces is provided by the SITES rating system. SITES is the best resource for supporting environmentally sustainable design. Owing to its performance history, SITES certification has come to represent unshakable commitment in the rapidly evolving field of ESG reporting [3].

SITES, or Sustainable Sites Initiative, is a versatile framework applicable worldwide across various project types. It spans open areas like parks and gardens, urban spaces including plazas and streetscapes, commercial zones such as offices and retail areas, residential developments, and educational or institutional campuses. By integrating sustainable design principles, SITES promotes environmental responsibility and enhances quality of life in diverse settings.

The strategy's driving principles emphasize sustainable development with a focus on environmental preservation and societal well-being. Key principles include minimizing harm to surrounding ecosystems, prioritizing precautionary measures, and integrating cultural and environmental factors into design. Decision-making follows a hierarchy of preservation, conservation, and regeneration, aiming to protect and restore ecosystem services. Intergenerational fairness and adaptive management ensure long-term resilience, while a cooperative and ethical approach fosters open communication and sustainability. Upholding integrity in research and leadership promotes transparency and collaboration, ultimately encouraging responsible environmental stewardship for future generations.

SITES decision-making hierarchy and accreditation

After construction, constructed settings can be made to resemble well-functioning systems, which will improve the ecosystem services they provide. Landscape performance increases with the long-term development of increasingly intricate and interrelated interactions among soil, vegetation, and organisms [5]. The SITES Guiding Principles provide a decision-making hierarchy that gives projects a methodical framework for addressing existing site features to maintain, manage, restore, or construct high-functioning ecosystems (Fig. 1).

Accreditation and score card There are fifteen criteria in total, and 250 possible points. SITES uses a four-star rating system. To be certified (100), a project must meet all standards (Fig. 2) and receive at least 40% of the total points that can be awarded. In this rating system, the number of stars assigned corresponds to a percentage range and a corresponding point value. One star represents 40% or 100 points, while two stars signify 50% or 125 points. Moving up, three stars indicate 60% or 150 points, and the highest rating, four stars, equates to 80% or 200 points. This system allows for a clear and quantifiable evaluation based on predetermined criteria.

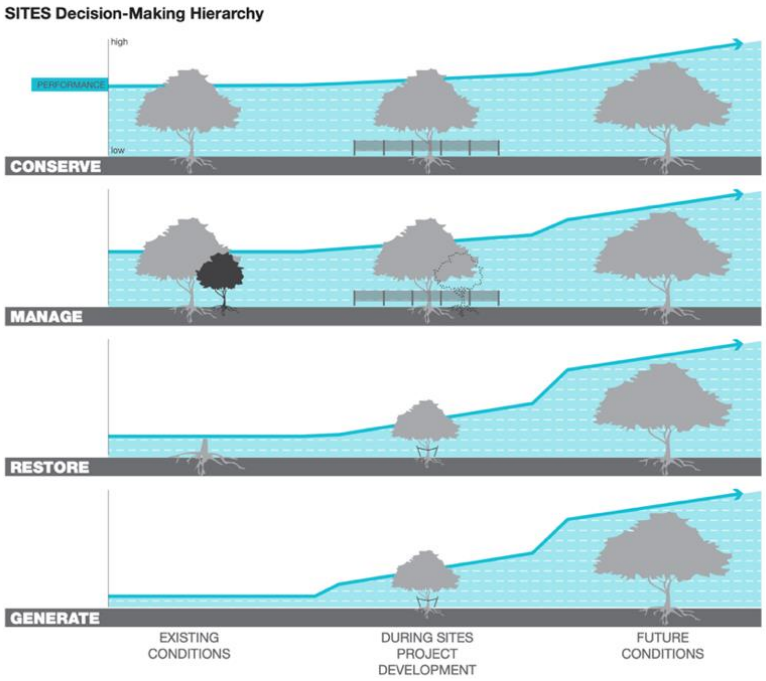


Fig. 1. SITES decision-making hierarchy

Project Name: _____ Project ID#:_____ Date: _____

SITES v2 Scorecard Summary

YES	?	NO	1: SITE CONTEXT		Possible Points: 13
Y			CONTEXT P1.1	Limit development on farmland	
Y			CONTEXT P1.2	Protect floodplain functions	
Y			CONTEXT P1.3	Conserve aquatic ecosystems	
Y			CONTEXT P1.4	Conserve habitats for threatened and endangered species	
			CONTEXT C1.5	Redevelop degraded sites	3 to 6
			CONTEXT C1.6	Locate projects within existing developed areas	4
			CONTEXT C1.7	Connect to multi-modal transit networks	2 to 3

YES	?	NO	2: PRE-DESIGN ASSESSMENT + PLANNING		Possible Points: 3
Y			PRE-DESIGN P2.1	Use an integrative design process	
Y			PRE-DESIGN P2.2	Conduct a pre-design site assessment	
Y			PRE-DESIGN P2.3	Designate and communicate VSPZs	
			PRE-DESIGN C2.4	Engage users and stakeholders	3

YES	?	NO	3: SITE DESIGN - WATER		Possible Points: 23
Y			WATER P3.1	Manage precipitation on site	
Y			WATER P3.2	Reduce water use for landscape irrigation	
			WATER C3.3	Manage precipitation beyond baseline	4 to 6
			WATER C3.4	Reduce outdoor water use	4 to 6
			WATER C3.5	Design functional stormwater features as amenities	4 to 5
			WATER C3.6	Restore aquatic ecosystems	4 to 6

YES	?	NO	4: SITE DESIGN - SOIL + VEGETATION		Possible Points: 40
Y			SOIL+VEG P4.1	Create and communicate a soil management plan	
Y			SOIL+VEG P4.2	Control and manage invasive plants	
Y			SOIL+VEG P4.3	Use appropriate plants	
			SOIL+VEG C4.4	Conserve healthy soils and appropriate vegetation	4 to 6
			SOIL+VEG C4.5	Conserve special status vegetation	4
			SOIL+VEG C4.6	Conserve and use native plants	3 to 6
			SOIL+VEG C4.7	Conserve and restore native plant communities	4 to 6
			SOIL+VEG C4.8	Optimize biomass	1 to 6
			SOIL+VEG C4.9	Reduce urban heat island effects	4
			SOIL+VEG C4.10	Use vegetation to minimize building energy use	1 to 4
			SOIL+VEG C4.11	Reduce the risk of catastrophic wildfire	4

YES	?	NO	5: SITE DESIGN - MATERIALS SELECTION		Possible Points: 41
Y			MATERIALS P5.1	Eliminate the use of wood from threatened tree species	
			MATERIALS C5.2	Maintain on-site structures and paving	2 to 4
			MATERIALS C5.3	Design for adaptability and disassembly	3 to 4
			MATERIALS C5.4	Use salvaged materials and plants	3 to 4
			MATERIALS C5.5	Use recycled content materials	3 to 4
			MATERIALS C5.6	Use regional materials	3 to 5
			MATERIALS C5.7	Support responsible extraction of raw materials	1 to 5
			MATERIALS C5.8	Support transparency and safer chemistry	1 to 5
			MATERIALS C5.9	Support sustainability in materials manufacturing	5
			MATERIALS C5.10	Support sustainability in plant production	1 to 5

YES	?	NO	6: SITE DESIGN - HUMAN HEALTH + WELL-BEING		Possible Points: 30
			HHWB C6.1	Protect and maintain cultural and historic places	2 to 3
			HHWB C6.2	Provide optimum site accessibility, safety, and wayfinding	2
			HHWB C6.3	Promote equitable site use	2
			HHWB C6.4	Support mental restoration	2
			HHWB C6.5	Support physical activity	2
			HHWB C6.6	Support social connection	2
			HHWB C6.7	Provide on-site food production	3 to 4
			HHWB C6.8	Reduce light pollution	4
			HHWB C6.9	Encourage fuel efficient and multi-modal transportation	4
			HHWB C6.10	Minimize exposure to environmental tobacco smoke	1 to 2
			HHWB C6.11	Support local economy	3

YES	?	NO	7: CONSTRUCTION		Possible Points: 17
Y			CONSTRUCTION P7.1	Communicate and verify sustainable construction practices	
Y			CONSTRUCTION P7.2	Control and retain construction pollutants	
Y			CONSTRUCTION P7.3	Restore soils disturbed during construction	
			CONSTRUCTION C7.4	Restore soils disturbed by previous development	3 to 5
			CONSTRUCTION C7.5	Divert construction and demolition materials from disposal	3 to 4
			CONSTRUCTION C7.6	Divert reusable vegetation, rocks, and soil from disposal	3 to 4
			CONSTRUCTION C7.7	Protect air quality during construction	2 to 4

YES	?	NO	8. OPERATIONS + MAINTENANCE		Possible Points: 22
Y			O+M P8.1	Plan for sustainable site maintenance	
Y			O+M P8.2	Provide for storage and collection of recyclables	
			O+M C8.3	Recycle organic matter	3 to 5
			O+M C8.4	Minimize pesticide and fertilizer use	4 to 5
			O+M C8.5	Reduce outdoor energy consumption	2 to 4
			O+M C8.6	Use renewable sources for landscape electricity needs	3 to 4
			O+M C8.7	Protect air quality during landscape maintenance	2 to 4

YES	?	NO	9. EDUCATION + PERFORMANCE MONITORING		Possible Points: 11
			EDUCATION C9.1	Promote sustainability awareness and education	3 to 4
			EDUCATION C9.2	Develop and communicate a case study	3
			EDUCATION C9.3	Plan to monitor and report site performance	4

YES	?	NO	10. INNOVATION OR EXEMPLARY PERFORMANCE		Bonus Points: 9
			INNOVATION C10.1	Innovation or exemplary performance	3 to 9

YES	?	NO	TOTAL ESTIMATED POINTS	Total Possible Points: 200
0	0	0		

KEY		SITES Certification levels	Points
YES	Project confident points are achievable	CERTIFIED	70
?	Project striving to achieve points, not 100% confident	SILVER	85
NO	Project is unable to achieve these credit points	GOLD	100
		PLATINUM	135

Fig. 2. SITES score card

SITES eligibility criteria encompass various project categories and developmental stages. Firstly, projects in the planning stage undergo optional evaluation through SITES, where intended design and construction methods, as well as project plans, are scrutinized. Secondly, major renovations and new constructions on existing sites utilize SITES to ensure robust, long-lasting, and resilient outcomes from the ground up, with decisions made here influencing subsequent performance. Ideally, projects should be completed within the last two years at the time of registration to facilitate access to

pertinent documentation for credit compliance. Lastly, existing built landscapes are assessed based on their sustainability management, with encouragement to disclose social, environmental, and economic benefits. Notably, the certification for existing built landscapes remains in its pilot stage, with project sizes ranging from a minimum of 2,000 square feet to a maximum determined accordingly.

This presentation has shed light on the distinct features of environmental certification systems, particularly focusing on SITES, BREEAM, and LEED. While these programs share common goals and structures, they exhibit significant variations in their approaches, metrics, and standards for sustainability. the results that SITE is the Perfect choice for urban landscape design. Moreover, as these systems evolve alongside increasingly stringent regulations and global best practices, it's imperative to recognize that sustainable projects encompass not only environmental considerations but also social and economic impacts. As environmental certifications continue to compete and adapt, they play crucial roles in defining and measuring the sustainability of projects in the urban environment.

References

1. Kabbes K.C., Windhanger S. Sustainable Site Initiative—A Rating System for Green Sites // World Environmental and Water Resources Congress 2010: Challenges of Change. – 2010. – Pp. 4067–4075.
2. Askell-Williams H., Koh G.A. Enhancing the sustainability of school improvement initiatives. School effectiveness and school improvement. – 2020. – №. 31(4). – Pp. 660–678.
3. Ahern J. From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. Landscape and urban Planning. – 2011. – №. 100(4). – Pp. 341–343.
4. Kemmis S., Mutton R. Education for sustainability (EfS): Practice and practice architectures. Environmental Education Research. – 2012. – №. 18(2). – Pp. 187–207.
5. Warner K. Linking local sustainability initiatives with environmental justice. Local Environment. – 2002. – №. 7(1). – Pp. 35–47.
6. Francis T., Norris J., Brinkmann R. Sustainability initiatives in professional soccer. Soccer & Society. – 2017. – №. 18(2-3). – Pp. 396–406.

УДК 504.03

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

***Хуторная Ю.А.*[1]** *(аспирант)*
***Научный руководитель – к.т.н., доцент Сергиенко О.И.*[1]**

1 – Университет ИТМО

e-mail: khutornaia@itmo.ru

Работа выполнена в рамках НИРМА 623115 «Экобиотехнологии для предотвращения промышленного загрязнения».

Эффективность той или иной технологии переработки пищевых отходов зависит от множества факторов, таких как источники отходов, их состав, география происхождения и удаленность от места переработки, также важным остается и экономический аспект. Модели оценки жизненного цикла количественно определяют экологические аспекты технологий переработки отходов и позволяют определить наиболее экологически эффективный вариант переработки с учетом местных условий. В статье приводятся результаты исследования экологической эффективности различных технологий переработки пищевых отходов; акцентировано внимание на технологии биоконверсии, которая представляется перспективной для переработки пищевых отходов в корма; подчеркнута значимость оценки жизненного цикла для принятия обоснованных экологических решений.

Ключевые слова
Пищевые отходы, переработка, биоконверсия, компостирование, анаэробное сбраживание, сушка, метод оценки, оценка жизненного цикла.

Переработка органических отходов представляет собой важный аспект экологически устойчивого развития и управления отходами, поскольку они является крупнейшей фракцией в составе твердых бытовых отходов (ТБО). Пищевые отходы, в свою очередь, являются крупнейшей фракцией органических отходов и составляют порядка 30% от общего количества. На сегодняшний день наиболее распространенными методами переработки пищевых отходов являются компостирование и анаэробное сбраживание, но большая часть пищевых отходов по-прежнему захоранивается на полигонах [1]. Ограничения в применении этих методов стимулирует к поиску более эффективных систем переработки, которые позволят получать максимально ценный финальный продукт в условиях минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

Захоронение на полигоне является наименее предпочтительным вариантом утилизации пищевых отходов, поскольку связано с наибольшим негативным воздействием на окружающую среду, в сравнении с остальными известными методами. В условиях открытых свалок, в анаэробных условиях, происходит биологическое разложение, с выделением в атмосферу большого количества парниковых газов, в том числе метана. Данный метод обращения с пищевыми отходами требует долгосрочного задействования больших территорий, связан с загрязнением почв и грунтовых вод. Современные методы захоронения отходов на полигонах требуют использования технологий для контроля выбросов газов, обработки собранных жидких фильтратов и минимизации воздействия на окружающую среду. Применение новых технологий снижает отрицательные аспекты захоронения, но требует дополнительных инвестиций в организацию и управление.

В отличие от захоронения, компостирование представляет собой устойчивый, эффективный процесс разложения органических соединений под воздействием микроорганизмов, который позволяет не только снизить негативное воздействие на

окружающую среду, но и получить ценный органический продукт - компост, способный улучшить структуру и фертильность почвы. Данный метод, благодаря аэробным условиям, снижает выбросы метана, характеризуется простотой, доступностью технологии и низким энергопотреблением. К недостаткам компостирования относятся: длительность технологического процесса, эксплуатация больших площадей и ограничения в составе пищевых отходов, пригодных для переработки этим методом. При оценке жизненного цикла (ОЖЦ), связанного с данным методом, важно учитывать экономию ресурсов и сокращение потребления химических удобрений [2].

Анаэробное сбраживание органических отходов - технология ускоренной переработки, происходит в установках закрытого типа, что дает возможность использования сгенерированного биогаза для производства энергии и тепла. Дигестат также является продуктом сбраживания и может быть использован в дальнейшем для производства других полезных продуктов, в частности удобрений. Метод представляет собой более устойчивый способ управления пищевыми отходами, по сравнению с захоронением на полигонах, поскольку сокращает выбросы метана в атмосферу, экономит ресурсы и снижает негативное воздействие на окружающую среду. К недостаткам данного метода относятся: сложная техническая инфраструктура, ограничения в отношении состава отходов пригодных к переработке, потенциальная возможность выброса аммиака, в атмосферу. В ОЖЦ применительно к этому методу, также важно учитывать экономию ресурсов, связанную с получением биогаза и других ценных продуктов в ходе переработки [3].

Глобальное сокращение ресурсов и дефицит кормового белка подчеркивают растущую актуальность применения методов переработки пищевых отходов, направленных на эффективное использование биологически активных компонентов отходов и получения кормов для скота и других домашних животных. Такой подход способствует сокращению объема отходов и позволяет заместить дефицит ресурсов для производства кормов, однако имеет ряд серьезных ограничений.

Основные риски использования пищевых отходов для кормов связаны с наличием в них бактерий, вирусов или других патогенных организмов, что создает угрозы заболевания и гибели животных. Предварительная термическая обработка отходов представляет собой эффективный метод для минимизации рисков. Тем не менее, многие национальные стандарты и нормативы не рассматривают этот подход как достаточный, что приводит к запрету использования пищевых отходов в производстве влажных кормов. В связи с этим усиливается интерес к получению сухих кормов и биологических добавок.

Применение технологии сушки не только обеспечивает сокращение объема отходов на 90% в результате дегидратации, но также увеличивает срок хранения кормов, оптимизирует логистические процессы и исключает необходимость хранения в холодильных установках. К недостаткам данного метода можно отнести высокие энергетические затраты, связанные с технологическим процессом дегидратации.

В последние годы растет интерес к биоконверсии, как к эффективному способу переработки органических отходов в биомассу, богатую белками и жирами, пригодную для кормления животных. Литературный обзор свидетельствует о важном технологическом преимуществе, напрямую связанным с биоконверсией органических субстратов с помощью личинок черной львинки, значительно меньшем энергопотреблении, чем при сушке, и менее выраженной эмиссии парниковых газов по сравнению с классическим компостированием, анаэробным сбраживанием и захоронением на полигонах, соответственно [4]. Суть подхода заключается в измельчении и последующем скармливании пищевых отходов личинкам мух черной львинки, которые за 14 дней сокращают объем отходов на 50–80% и достигают максимальной массы, что позволяет переработать их с коэффициентом преобразования отходов в биомассу до 20% (в пересчете на общее количество твердых веществ или сухого вещества). Личинки могут быть дополнительно использованы для производства ценных продуктов, таких как липиды, и затем переработаны и использованы в корма для животных, а остатки субстрата - в компост.

Личинки как универсальные деструкторы могут расти и развиваться на различных субстратах, полученных из отходов агропродовольственной промышленности, или смешанных городских органических отходах, отходах ресторанов и рынков, фруктовых и овощных отходах, пивной дробине, отходах пищевой промышленности, навозе животных и других. Тип кормового субстрата оказывает прямое воздействие на различные параметры, такие как длительность процесса биоконверсии, итоговая масса личинок, а также коэффициент конверсии пищевых отходов в биомассу. Для оптимизации эффективности процесса биоконверсии важно установить, при каких условиях применение данного метода является наиболее привлекательным и эффективным.

Разработка и выбор эффективных экобиотехнологий требует проведения исследований процессов биотрансформации в пищевых системах с использованием современных методов исследований, их целесообразно сопровождать анализом эколого-экономических показателей в течение жизненного цикла. Получение наиболее точных и надежных результатов ОЖЦ базируется на полной осведомленности о различных воздействиях, которые связаны с данной технологией [5].

Для получения точных данных была разработана модель ОЖЦ для биоконверсии. На первом этапе были описаны отдельные процессы в составе технологии и определены границы системы, которая будет оцениваться. Процессы образования, сбора и транспортировки отходов не рассматриваются, поскольку предполагается, что они будут одинаковы для разных технологий переработки. Кроме того, в ОЖЦ не рассматривалась транспортировка продуктов переработки потребителям и последующее использование с соответствующими воздействиями. В границы системы вошли: измельчение и смешивание отходов; выращивание личинок; разделение личинок и гумуса, а также дальнейшая очистка, обработка и сушка; получение полезных продуктов с добавленной стоимостью (рисунок). Предлагаемые границы системы начинаются с сортировки органических отходов и заканчиваются производством кормов для животных.

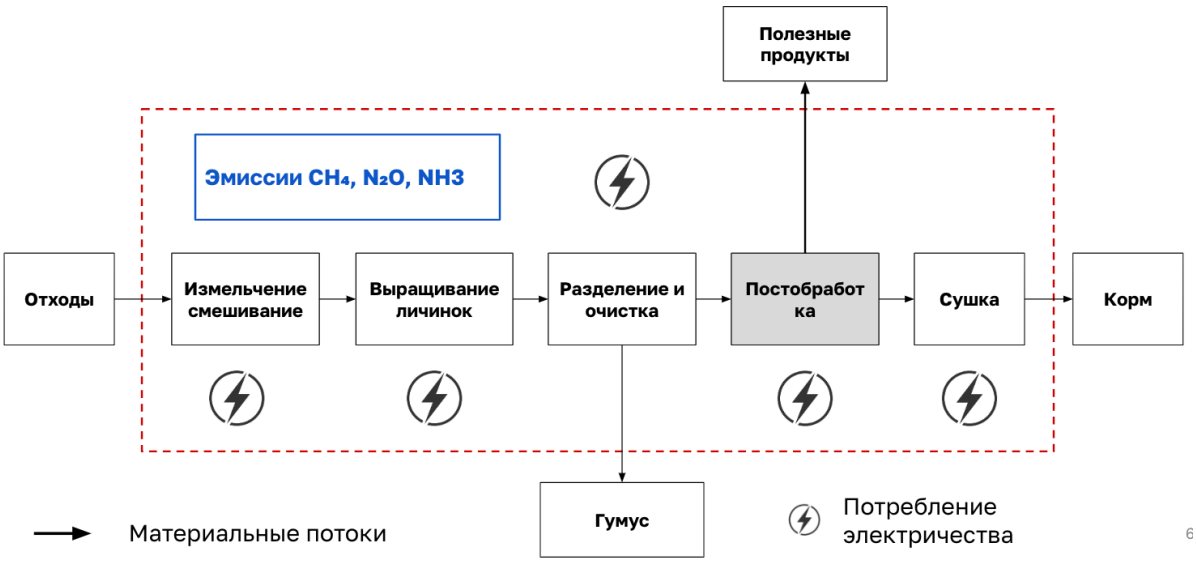


Рисунок. Модель ОЖЦ для биоконверсии

Выбор конкретного метода обращения с пищевыми отходами зависит от различных факторов, включая масштаб операций и доступные ресурсы. Для оценки перспективы масштабирования технологии биоконверсии необходим ОЖЦ предприятия, параметрами оценивания для которого станут:

- суточная мощность предприятия по объему перерабатываемого субстрата;
- происхождение и состав отходов;
- мощность оборудования для переработки, таких как: измельчитель отходов, инкубатор, сушильный шкаф, пресс и др.;

- мощность оборудования для поддержания оптимальных условия для технологического процесса (освещение, вентиляция, обогрев и увлажнение);
- метод экстракции полезного продукта: экстракция Сокслета, экстракция растворителем, сверхкритическая экстракция, применение микроволнового облучения для извлечения липидов. Каждый из этих методов требует различных энергетических затрат и имеет разные показатели эмиссии.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на сбор данных об эмиссиях, выделяемых во время различных процессов, связанных с переработкой, но наиболее важным аспектом остается изучение характеристик полезных продуктов, которые могут быть получены посредством биоконверсии. В дальнейшем возможна разработка вариантов ОЖЦ с включением в систему полезных продуктов, гумуса и кормовых добавок. Такие варианты позволяют рассчитать не только негативное воздействие для определенного вида полезного продукта, но и соответствующую экономию выбросов.

Оценка жизненного цикла также является неотъемлемой частью многокритериального анализа, который учитывает экономические и социальные аспекты функционирования предприятия. Результатом исследования стала разработка методологии ОЖЦ, которая в перспективе позволит:

- провести оценку эффективности переработки отходов посредством биоконверсии и сравнение с другими технологиями;
- провести оценку эффективности производства продуктов с добавленной стоимостью и определить финальный продукт с минимальной стоимостью жизненного цикла;
- дать комплексную оценку опытно-промышленного образца за счет расширения границ системы ОЖЦ с включением источника отходов, транспортирования и получения определенного типа полезного продукта.

Список использованных источников

1. Thi N.B.D., Kumar G., Lin C.-Y. An overview of food waste management in developing countries: Current status and future perspective // Journal of Environmental Management. – 2015. – V. 157. – Pp. 220–229.
2. Bisinella V., Schmidt S., Varling A.S., Laner D., Christensen T.H. Waste LCA and the future // Waste Management. – 2024. – V. 124. – Pp. 53–75.
3. Finnveden G., Hauschild M., Ekvall T., Guinée J., Heijungs R., Hellweg S., Koehler A., Pennington D., Suh S. Recent developments in Life Cycle Assessment // Journal of Environmental Management. – 2009. – V. 91. – №. 1. – Pp. 1–21.
4. Parodi A., Imke J.M. De Boer, Walter J.J. Gerrits, Joop J.A. Van Loon, Marcel J.W. Heetkamp, Jeroen Van Schelt, J. Elizabeth Bolhuis, Hannah H.E., Van Zanten. Bioconversion efficiencies, greenhouse gas and ammonia emissions during black soldier fly rearing - A mass balance approach // Journal of Cleaner Production. – 2020. – V. 271. – №. 122488.
5. Mertenat A., Diener S., Zurbrügg C. Black Soldier Fly biowaste treatment // Assessment of global warming potential. Waste Management. – 2019. – V. 84. – Pp. 173–181.

УДК 628.161

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ РЕАГЕНТНЫХ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ПРИМЕРЕ КОАГУЛЯЦИИ

***Шадрина А.Ф.*[1]** *(студент)*
***Научный руководитель – к.т.н., доцент Сергиенко О.И.*[1]**

1 – Университет ИТМО

e-mail: arinashadrina15@yandex.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №623113 «Экотехнологии для защиты окружающей среды».

В современном мире проблема загрязнения водных ресурсов является одной из наиболее актуальных. Стоки от производства и бытовые сточные воды содержат различные загрязнители, которые требуют эффективной очистки перед попаданием обратно в окружающую среду. В данной статье будут рассмотрены и описаны современные технические инновации, такие как использование новых типов коагулянтов и электрического поля при водоочистке.

Ключевые слова
Очистка воды, коагуляция, технологии водоочистки, электрокоагуляция, эффективность очистки.

Очистка сточных вод является одной из основных задач, которые стоят перед предприятиями различных отраслей промышленности. Одним из самых распространенных методов обработки вод является коагуляция – процесс, основанный на использовании реагентов, т. е. коагулянта, который способствует сгущению и свертыванию частиц загрязняющих веществ, с последующим выпадением их в осадок.

Стремительное развитие технологий и усиление экологических требований привели к появлению новых подходов и методов для эффективной очистки стоков.

Кроме того, современные методы анализа и контроля позволяют более точно определять состав и концентрацию загрязняющих веществ в сточных водах. Это позволяет эффективнее подбирать реагенты и оптимизировать процесс очистки [1].

Прежде всего нужно объяснить сам процесс, который состоит из следующих этапов:

1. Добавление коагулянта в сточные воды, которые подразделяются на органические и неорганические. В основном, используют неорганические, такие как соли алюминия и железа, которые стабильно используются на протяжении десятилетий.
2. Смешивание воды с коагулянтом. Это помогает равномерно распределить коагулянт по всей воде и обеспечить максимальный контакт с взвешенными веществами.
3. Образование флокулянтов. После добавления коагулянта и смешивания начинается процесс образования флокул – крупных частиц, которые собирают в себе взвешенные вещества.
4. Отстаивание воды. Образованные флокулы начинают оседать вниз в воде под воздействием силы тяжести, образуя осадок. Очищенная вода проходит через процессы осаждения или фильтрации для удаления образовавшихся флокулов и других твердых частиц.

Далее, перейдем к видам коагуляции (рисунок).

Химическая коагуляция. Это процесс с добавление коагулянтов, которые подразделяются на органические и неорганические. В основном, используют неорганические, такие как соли алюминия и железа, которые стабильно используются на протяжении десятилетий. В ходе действия изменятся электрический заряд частиц в воде, способствуя их сгущению и образованию флокул. Например, хлорное железо, железа сульфат, сульфат алюминия.

Рисунок. Виды коагуляции при водоочистке

Флокуляция. Происходит соединение мельчайших частиц в более крупные под воздействием сил сцепления, следует за процессом коагуляции, повышая скорость осаждения флокул, что делает процесс удаления загрязнителей эффективнее. Например, полиакриламиды (ПАА) [2].

Электрокоагуляция:

- *электрохимическая коагуляция.* Принцип действия: основана на электролитическом растворении железных или алюминиевых электродов под воздействием внешнего источника тока. Образование коагулянта происходит, когда ионы металлов (например, Fe^{2+} или Al^{3+}) переходят в водный раствор, образуя нерастворимые гидроксиды и основные соли. Образованные гидроксиды и соли коагулируют коллоидные примеси в сточных водах;
- *гальваническая коагуляция.* Принцип действия: растворение железа происходит за счет разности потенциалов между стальными электродами и медью или коксом. Образование коагулянта происходит, когда ионы металла (например, Fe^{2+}), которые также приводят к образованию нерастворимых соединений. Здесь влияние факторов: Количество растворенного железа зависит от pH и состава водного раствора. Однако, в отличие от электрохимической коагуляции, нельзя регулировать концентрацию растворенного металла путем регулирования силы тока [3].

Современные тенденции в развитии методов коагуляции направлены на улучшение качества очистки сточных вод, повышение эффективности процесса и снижение негативного воздействия на окружающую среду.

Одной из современных тенденций в коагуляции является использование альтернативных реагентов – органических, вместо традиционных алюминия и железа, таких как полимерных коагулянтов. В отличие от неорганических коагулянтов, полимерные коагулянты обладают высокой молекулярной массой, что улучшает их способность создавать стабильные и крупные флокулы. Более того, полимерные коагулянты имеют меньшую дозировку и обладают меньшими побочными эффектами, такими как образование осадка и перенасыщение воды ионами алюминия и железа, что позволяет снизить затраты на обработку сточных вод. Они имеют преимущества: образуют меньше осадка, сам осадок содержит меньше жидкости и лучше поддается обезвоживанию, тем самым снижает расходы на его удаление и утилизацию; не меняют уровень pH; в воду не попадают соли железа и алюминия, что упрощает этап очистки, и не вредят окружающей среде [2].

Еще одной новой тенденцией является применение электрокоагуляции. Основной принцип работы электрокоагуляции заключается в создании электрического поля между анодом и катодом, которое приводит к образованию коагулянтов. Коагулянты, в данном случае,

представляют собой частицы, которые сгруппировались под действием электрического поля и стали больше и тяжелее, что облегчает их отделение от воды.

В процессе работы электрокоагулятора, зарядные частицы (ионы) перемещаются под действием электрического поля к аноду или катоду. При этом происходит окисление или редукция загрязняющих веществ. Окисление позволяет удалять органические загрязнения, такие как масла или жиры, а редукция – удалять неорганические загрязнители, например, тяжелые металлы. После образования коагулянтов они притягивают и агрегируются с другими загрязняющими веществами в воде, образуя осадок. Этот осадок затем отделяется от воды с помощью фильтрации или осаждения.

Достоинства электрокоагуляции: отсутствие потребности в реагентах, малая чувствительность к изменениям условий процесса очистки, получение шлама с хорошими структурно-механическими свойствами. Недостаток метода – повышенный расход металла и электроэнергии [3].

Современные тенденции в развитии реагентных методов очистки сточных вод на примере коагуляции предоставляют перспективы для улучшения качества очищаемых вод и снижения негативного воздействия на окружающую среду.

Кроме того, использование реагентных методов может быть экономически выгодным. Они позволяют сократить объем необходимых для очистки сточных вод материалов и ресурсов, таких как энергия и время. При правильном выборе коагулянта можно добиться максимальной эффективности процесса очистки при минимальных затратах. Важным аспектом является также экологическая целесообразность реагентных методов.

После предоставленного материала сделаем выводы о преимуществах и недостатков метода водоочистки.

Преимущества коагуляции:

1. Эффективное удаление мелкодисперсных и коллоидных частиц из воды.
2. Улучшает процесс осветления и обесцвечивания воды.
3. Помогает удалению веществ, вызывающих цветность и мутность воды, а также некоторых патогенов и микроорганизмов.
4. Может быть сочетаема с фильтрацией и отстаиванием для повышения качества очистки.

Недостатки коагуляции:

1. Требует точного дозирования химических реактивов, чтобы избежать недостаточной или избыточной коагуляции.
2. Использование коагулянтов создает вторичные отходы в виде шлама, который необходимо утилизировать.
3. Может потребовать сложных систем управления и мониторинга в процессе.
4. Коагулянты, особенно на основе металлов, могут представлять экологические риски при неправильной обработке и утилизации осадка [3].

Таким образом, использование альтернативных коагулянтов и методов очистки, включая электрокоагуляцию, представляет собой перспективное направление в области водоочистки, объединяющее высокую эффективность, экономическую целесообразность и экологическую ответственность, что делает его предпочтительным выбором при обеспечении эффективной и безопасной очистки сточных вод.

Список использованных источников

1. Ветошкин А.Г. Инженерная защита водной среды: учебное пособие / А.Г. Ветошкин. – СПБ: Лань. – 2022. – 416 с.
2. Гетманцев С.В. Очистка производственных сточных вод коагулянтами и флокулянтами / С.В. Гетманцев, И.А. Нечаев, Л.В. Гандурина. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ). – 2008. – 272 с.
3. Кольцов В.Б. Теоретические основы защиты окружающей среды: учебник для вузов / Кольцов В.Б., Кондратьева О.В. – М.: Прометей. – 2018. – 734 с.

УДК 666.1.001.7

ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ СТЕКЛА В РОССИИ: ПЕРСПЕКТИВЫ И ОСОБЕННОСТИ

Шарипова Н.З. [1] *(студент)*
Научный руководитель – к.х.н., доцент Юльметова Р.Ф. [1]

1 – Университет ИТМО

e–mail: sharipova.nadya@inbox.ru

В работе рассмотрена переработка отходов стекла в России. Приведены перспективы и особенности данного процесса, анализируются современные практики в этой области. В статье обсуждаются основные проблемы, связанные с недостаточной эффективностью системы управления отходами стекла.

Ключевые слова
Стекольный бой, переработка отходов стекла, твердые коммунальные отходы, сортировка отходов, вторичное использование.

Переработка отходов стекла, т. е. стеклобоя является одним из важнейших направлений во всей отрасли по управлению отходами. Стеклобой не горит, не гниет, не разлагается под действием окружающей среды. Бутылки и другие выброшенные стеклянные изделия могут быть опасны для животных и людей.

Согласно информационно техническому справочку по производству стекла более 80% продукции продается в другие, поэтому стекольная индустрия во многом зависит от строительной и пищевой промышленности [1].

Ведущим направлением промышленности в России является производство тарного стекла. Это стеклянные бутылки и банки. Второе место занимает листовое стекло. К нему относится стекло для остекленения, например, в строительстве или в автомобилестроении. Можно выделить, что стекло в современном мире используется повсеместно.

Доля стеклобоя в твердых коммунальных отходах страны составляет около 8%. Если в среднем по России ежегодное количество образующихся отходов составляет на человека примерно 430 кг, тогда суммарно для населения в 145 млн человек, количество образующегося стеклобоя в год составляет около 5 млн тонн [2]. Собирается при этом только 1/5 часть стекла.

Основными источниками поступления стеклобоя для перерабатывающих пунктов являются мусоросортировочные предприятия, полигоны твердых коммунальных отходов, строительные объекты или производители окон.

Выделим ряд сложностей, которые мешают в решении вопроса вторичной переработки стеклобоя в нашей стране:

- отсутствие у населения самой культуры сортировки отходов;
- отсутствие селективного сбора, что ведет к недостаточному количеству сырья для обеспечения крупных перерабатывающих предприятий;
- трудоемкость процесса сбора, очистки, сортировки и перевозки стеклобоя;
- отсутствие в России самой индустрии по переработке стекла и производства изделий из него.

Стоит учитывать затраты на транспортировку стеклобоя. Россия имеет колоссальные территории по сравнению с европейскими масштабами. Расстояния между поставщиком и потребителем больше, к тому же логистика может обходиться дорого из-за веса стекла. Для многих предприятий по переработке отходов стекла затраты могут стать чрезмерными из-за отсутствия покупателей поблизости.

Все это ведет к образованию больших объёмов стеклобоя, который не может быть использован повторно, например, тарного стекла. Для повышения объемов использования вторсырья стекольными предприятиями необходимо большое количество высококачественного стеклобоя.

Важным направлением является селективный сбор стекла, который мало распространен в России. Сбор требует высокий уровень экологической осознанности граждан и несет дополнительные денежные затраты по сравнению с однопоточным сбором. Но стоит учитывать, что выделенный поток стеклобоя будет намного чище, тем самым повышая шансы на его вторичное использование.

В случае сортировки твердых коммунальных отходов в мусоросортировочном предприятии их разделение ориентировано в первую очередь на выделение наиболее востребованных и дорогих компонентов, таких как металлолом и макулатура.

Стеклобой в свою очередь имеет низкую востребованность в силу отсутствия хорошей обработки и ограничивается применением заполнителя в бетоне или как одного из элементов в сырье для стеклокерамических изделий. Однако отход может стать рентабельным при наличии современных технологий его переработки, таких как дополнительная очистка, удаления примесей, сортировки по цвету [3].

Разделить стеклобой по цвету позволит оборудование по оптической сортировке – фотосепаратор. Разные виды стекла имеют различные цветовые оттенки, что улавливается прибором, и служит основанием для подачи соответствующих исполнительных команд для прибора, т. е. используется фактор цветности. Технология имеет высокую производительность, позволяя ликвидировать малоэффективный ручной труд [4].

Производство высокосортного стеклобоя поднимет его закупочные цены для стеклотарных предприятий, тем самым окупив затраты на новый технологический процесс.

Выделим достоинства переработки стеклобоя:

- сокращение общего количества мусора;
- экономия природных ресурсов (песок, известняк) при производстве стеклоизделий;
- стеклобой стоит дешевле, чем природные ресурсы;
- плавление стеклобоя затрачивает меньше энергии, по сравнению с сырьевыми материалами шихты, так как в нем уже прошли эндотермические реакции [5];
- меньший расход энергии приводит к уменьшению выбросов парниковых газов.

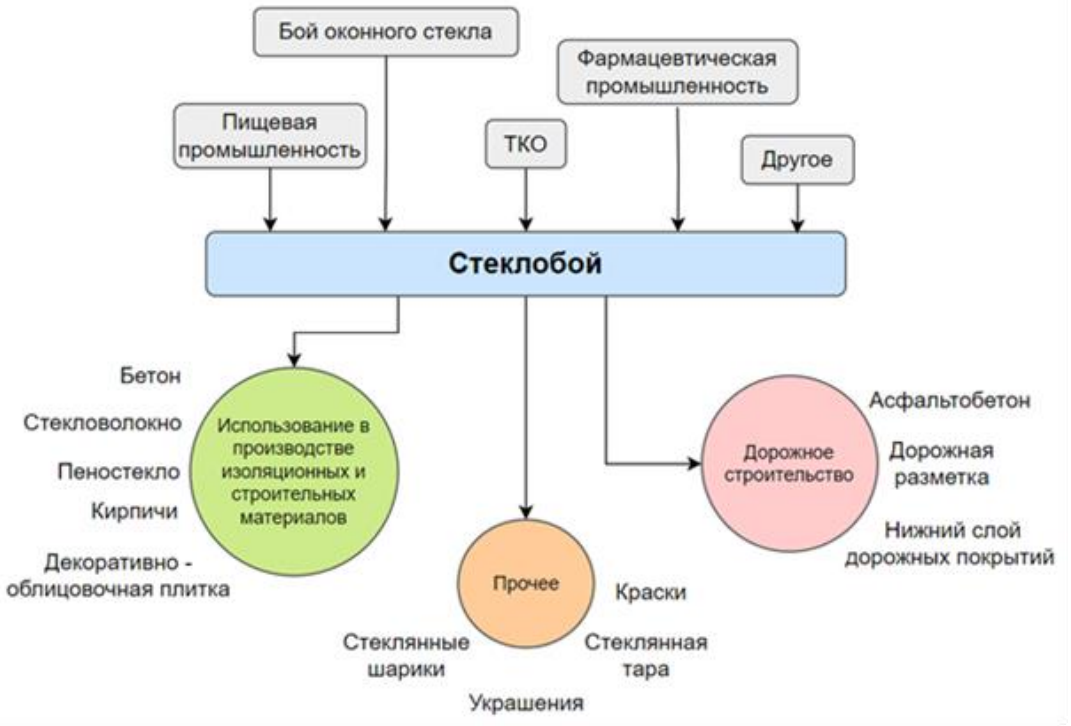


Рисунок. Применение стеклобоя

Стеклобой имеет широкий спектр вторичного использования. Вторсырье может использоваться в производстве изоляционных и строительных материалах, для изготовления пеностекла, приготовления бетона или в стеклотарном производстве при его переплавке (рисунок).

В ходе исследования было установлено, что в настоящее время отходы стекла, входящие в состав твердых коммунальных отходов, не вовлекаются в полной мере в ресурсный цикл вследствие невысокой экономической целесообразности их переработки и отсутствия культуры сортировки мусора у граждан.

Таким образом, важным фактором, препятствующим возможности российской стекольной индустрии увеличивать объемы вторичной переработки, является ограниченная доступность стеклобоя хорошего качества.

Список использованных источников

1. ИТС 5–2015 N 3159. Производство стекла. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/1200128665 (дата обращения: 28.02.2024).
2. Кетов П.А. Минимизация негативного воздействия на окружающую среду отходов стекла путем использования в строительстве // Дисс… к.т.н.. Пермь. – 2019.
3. Экологические и экономические проблемы использования стеклобоя в производстве стекла: учебное пособие / Р.Г. Мелконян, С.Г. Власова. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2013. – 100 с.
4. Попова Е.В. и др. Система машинного зрения для промышленной сортировки продуктов переработки вторичного мусора // X-я Международная научная конференция «Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности». Сб. научных трудов. – 2021. – Ч. 4. – С. 34–36.
5. Костенко С.Е., Онищук В.И., Жерновая Н.Ф. Современные стекловаренные печи и пути повышения их технико–экономических показателей // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова. – 2010. – №. 3. – С. 128–131.

УДК 502.45

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОПУЛЯРИЗАЦИИ ОХРАНЫ БОЛОТНЫХ ЛАНДШАФТОВ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ООПТ «ПОЛИСТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЗАПОВЕДНИК»

***Шарифуллина К.А.*[1]** *(студент)*
***Научный руководитель – к.г.н. Садоков Д.О.*[1]**

1 – Университет ИТМО

e-mail: sh.k18211821@gmail.com

Работа выполнена в рамках темы НИР №623092 «Биосферный потенциал особо охраняемых природных территорий: климат, ландшафты, экосистемы».

В работе сформулированы основные методы популяризации охраны природы особо охраняемыми природными территориями (ООПТ). Выявленные методы были рассмотрены на примере Полистовского заповедника и подвержены оценке эффективности, на основании которой были определены приоритетные направления для дальнейшей работы.

Ключевые слова
Охрана природы, экологическое просвещение, водно-болотные угодья, Полистовский заповедник, болотные ландшафты.

Охрана водно-болотных угодий - необходимая мера ввиду их особой роли в: регуляции гидрологического режима экосистем, фильтрации воды, депонировании углерода и регуляции климата в целом, обеспечении разнообразия, сохранении местообитаний ценных растений, редких и исчезающих видов животных и места временного обитания перелетных водоплавающих птиц.

По причине высокой биогеоценотической роли в 1971 году была принята Рамсарская конвенция ООН об охране водно-болотных угодий, которую, ратифицировала и Россия. Всего на территории нашей страны охраняется около 11 миллионов гектаров водно-болотных угодий и проводятся специальные мероприятия, по популяризации охраны болотных ландшафтов.

До начала 1990-х гг. в России не было учреждено федеральных ООПТ, в состав которых включены преимущественно только болотные комплексы. В 1994 году созданы Полистовский (в Псковской области) и Рдейский (в Новгородской области) заповедники. За тридцать лет в Полистовском заповеднике накоплен богатый опыт территориальной охраны болотных угодий. Помимо сохранения природных ландшафтов болот, заповедник специализируется на экопросвещении и экотуризме, а также сотрудничает с вузами, где обучаются студенты естественнонаучного направления подготовки. В число вузов-партнеров заповедника входит Университет ИТМО.

На примере Полистовского заповедника было принято решение разработать систему оценки эффективности популяризации охраны заповедных территорий и болотных ландшафтов, в частности.

Оценка эффективности будет являться интегральным показателем объема и качества преподносимой информации о болотах, необходимости их охраны и количеством посетителей по отношению к рекреационной емкости заповедника.

Такие природоохранные организации как природные заповедники, осуществляющие и экологическое просвещение населения, могут освещать тему охраны природы посредством:

1. Создания экотроп, отражающих необходимость создания ООПТ и внимания к природе в целом.
2. Проведения научных исследований и экспедиций на своей территории.

3. Проведения конференций и лекториев.
4. Выездных мероприятий по экопросвещению для образовательных учреждений;
5. Ведения социальных сетей о природоохранной деятельности.
6. Работы со СМИ в целях повышения заинтересованности к ООПТ.
7. Взаимодействия с вузами для прохождения практик.

Полистовский заповедник использует в своей практике все вышеперечисленные методы, а именно (табл. 1).

Таблица 1

Реализация методов содействия экопросвещению в Полистовском государственном природном заповеднике

№	Название метода	Реализация в Полистовском заповеднике
1	Экотропы	Создано 7 экотроп: “Плавницкое болото”, “Путь моховиков”, “Дорогою бобра”, “Маршрут на болоступах”, “Зимний маршрут на снегоходах”, “Клюквенная экскурсия”, “Люди и леса” Тропы различны по расположению и по сезону проведения
2	Исследования	Заповедник имеет свой научный отдел в 9 сотрудников. Ежегодно проводятся научные исследования сторонними учеными
3	Лекторий	На базах заповедника регулярно проводятся мероприятия для местных жителей. Сотрудники участвуют и помогают в организации конференций по тематике в Псковской области (“Псковские международные краеведческие чтения”, “Устойчивое развитие, сообщества и заповедность”, “Семинар по фотоловушкам”)
4	Выездные лекции	Выезды в учреждения образования и культуры Псковской области с популяризацией охраны болот
5	Социальные сети	Сообщество ВКонтакте, Телеграмм, официальный сайт
6	Работа со СМИ	О заповеднике пишут, говорят и показывают СМИ не только Псковской области, но и федеральные каналы
7	Работа с вузами	Заповедник сотрудничает с: ФГБОУ ВО «Псковский государственный университет» ФГБОУ ВО «Великолукская государственная сельскохозяйственная академия» ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» ФГБУН «Зоологический институт Российской академии наук» ФГБУ «Центрально-лесной государственный заповедник» ФГБУН «Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н.Северцова Российской академии наук» ФГБУН «Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет» University of Helsinki (Финляндия) Университет ИТМО

Перечисленные подходы могут применяться для оценки эффективности популяризации охраны природы в целом. Если же заострить внимание на охране болот, то косвенно им в Полистовском заповеднике посвящены все экотропы, а подробно о функциях и образовании болот рассказывается на маршруте “Плавницкое болото”, в 457 статьях об ООПТ и в блоге заповедника.

Определив основные направления работы, целесообразно остановиться на количественных показателях некоторых из них. Экотропы являются основным способом качественного донесения важности сохранения природы на непосредственном месте ООПТ. В случае Полистовского заповедника, количество посетителей составило:

- в 2021 году 529 взрослых и 87 детей;
- в 2022 году 360 взрослых и 102 ребенка;
- в 2023 году 399 взрослых и 210 детей.

В лекториях в онлайн и оффлайн режиме, которые проводил Полистовский заповедник участвовало:

- в 2021 году 7500 человек;
- в 2022 году 8500 человек;
- в 2023 году 6000 человек.

Про Полистовский заповедник написано свыше 900 научных статей.

Аудитория заповедника в социальных сетях насчитывает около 5800 человек.

Сотрудничество производится с десятком высших учебных заведений.

Очевидно, что количество участников лекций, статей, подписчиков и договоров о сотрудничестве можно повышать, не привязываясь к “вместимости” заповедника. Вопрос о рекреационной емкости необходимо формулировать совершенно иным способом. Во-первых, область находится на стыке природоохранной и просветительской составляющих, которые при невнимательном подходе могут негативно влиять друг на друга. Во-вторых, в расчет входят не только показатели площади, времени и количества посетителей, но и сроки туристского сезона, целевые категории посетителей, виды туристско-рекреационных занятий и их экологические последствия. На данный момент расчет потенциальной рекреационной емкости для всего заповедника произведен не был. Несмотря на это, мы можем предварительно оценить предельно допустимую нагрузку по паспортам маршрутов, составленных научным отделом заповедника и по отчету О.А. Шемякиной «Птицы Плавницкой экотропы. Оценка изменений, связанных с рекреационной нагрузкой» (табл.2).

Таблица 2

Предельно допустимая нагрузка на тропы Полистовского заповедника

№	Название тропы	Предельно допустимая нагрузка	Месяца проведения
1	Плавницкое болото	1 группа в день, от 2 до 12 человек	С апреля по ноябрь 8 месяцев
2	Путь моховиков	1 группа в день, от 2 до 13 человек	С апреля по ноябрь 8 месяцев
3	Дорогою бобра	1 группа в день, от 2 до 13 человек	С апреля по ноябрь 8 месяцев
4	Маршрут на болотоступах	1 группа в день, от 2 до 12 человек	С июня по февраль 9 месяцев
5	Зимний маршрут на снегоходах	1 группа в день, от 2 до 7 человек	С декабря по январь 2 месяца
6	Клюквенная экскурсия	1 группа в день, от 2 до 13 человек	С сентября по октябрь 2 месяца
7	Люди и леса	2 группы в день, от 4 до 15 человек	Круглый год 12 месяцев
	Итого:	632 человека в год	

Таким образом, без создания дополнительной инфраструктуры (ливневой канализации, смотровых площадок), возможно увеличение количества посетителей заповедника до 646 человек в год без негативного воздействия на болотные ландшафты ООПТ. Ориентируясь на показатели 2023 года это повышение буквально на 6%.

Полистовский заповедник использует все возможности и методы к популяризации охраны болотных ландшафтов. За счет сотрудников научного отдела и отдела по экопросвещению и

туризму, популяризация отличается качеством и вызывает интерес у слушателей. Поэтому следует увеличивать показатели “объема популяризации”

Наибольший потенциал к увеличению аудитории имеют направления исследований, выездных лекций и социальных сетей.

Совместные исследования Полистовского заповедника и Университета ИТМО будут направлены на уточнение и доработку показателей рекреационной емкости и точный подсчет допустимой рекреационной нагрузки.

Список использованных источников

1. Конвенция о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение, главным образом, в качестве местообитаний водоплавающих птиц. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://lyl.su/wkd (дата обращения: 27.01.2024).
2. Бобылев С.Н., Захаров В.М. Экосистемные услуги и экономика [Текст] / С.Н. Бобылев, В.М. Захаров — 1-е изд. — Москва: «Типография ЛЕВКО», Институт устойчивого развития/Центр экологической политики России, – 2009. – 72 с.
3. Сборник лучших практик в сфере экологического просвещения // АНО Центр содействия природоохранным инициативам "Экология". [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://lyl.su/FDL (дата обращения: 27.01.2024).

УДК 628.316.6.094.3

ИНАКТИВАЦИЯ АКТИВНЫХ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ СУБСТАНЦИЙ МЕТОДОМ ФОТО-ФЕНТОН ОКИСЛЕНИЯ

***Юхин С.Е.*[1]** *(студент)*
***Научный руководитель – доцент, к.т.н. Сергиенко О.И.*[1]**

1 – Университет ИТМО

e-mail: semenyukhin233@mail.ru

Современные исследования в сфере химических технологий и физико-химических процессов привели к интенсивному росту количества фармацевтических производств. Сточные воды от предприятий данной отрасли характеризуются высокими концентрациями органических соединений, сброс которых в поверхностные водоемы приводит к их деградации. Среди способов удаления трудноокисляемых органических соединений широкое распространение получают методы, в основе которых лежат активированные окислительные процессы (Advanced Oxidation Process - AOP). Одним из таких методов является фото-Фентон процесс, заключающийся в комбинированном применение фотолиза пероксида водорода и реакции Фентона. В работе приводятся результаты исследовании эффективности деструкции активных фармацевтических субстанций (АФС) методом фото-Фентон окисления на модельном стоке фармацевтического производства.

Ключевые слова
Фото-Фентон процесс, активные фармацевтические субстанции, обезвреживание сточных вод, деструкция органических соединений, утилизация сточных вод фармацевтических производств.

В настоящее время фармацевтическая отрасль характеризуется быстрыми темпами роста и относится к наукоемкому и технологичному сегменту рынка с высоким уровнем капиталовложений на исследования и разработки новых видов продукции [1]. Среди причин бурного развития можно выделить особое социальное значение отрасли - такие важные показатели, как темпы роста населения и ВВП страны находятся в прямой зависимости от уровня здравоохранения в регионе. Спрос на продукцию фармацевтических производств обусловлен стремлением населения сохранять и поддерживать свое здоровье. Налаженная система сбыта, высокая рентабельность производства, а также активная роль государства в регулировании рынка привели к росту числа предприятий полного или частичного цикла производства АФС.

Однако рост фармацевтической промышленности также приводит к увеличению объемов производственных сточных вод, содержащих органические загрязнители и АФС, обладающих высокой химической устойчивостью и способных к биоаккумуляции, вызывая угнетение и деградацию экосистем. Многие из АФС являются ксенобиотиками, оказывающими негативное влияние на генные структуры и биохимические процессы большинства живых организмов. Присутствие в воде даже самых незначительных концентраций антибиотиков приводит к проявлению устойчивости микроорганизмов к ним. Растущая устойчивость к антибактериальным препаратам является одной из главных проблем современной медицины [2].

Об уровне загрязнения поверхностных и подземных водных ресурсов фармацевтическими субстанциями свидетельствует исследование Йорского университета, проведенное в феврале 2022 года. В рамках мониторинга 258 рек по всему миру было обнаружено присутствие в части из них 61-го лекарственного препарата [3]. В связи с вышеизложенным, проблема очистки сточных вод от данных видов поллютантов является актуальной и обоснованной.

Традиционно применяемая на городских очистных сооружениях биологическая очистка сточных вод не способна обеспечить полную деструкцию органических контаминантов ввиду их высокой резистентности к биохимическому окислению и низкой окислительной способности

микроорганизмов активного ила [4]. В связи с данным обстоятельством, в настоящее время свое развитие получили новые технологии на основе усовершенствованных/активированных окислительных процессах (AOPs), способные обеспечить полное обезвреживание растворенных трудноокисляемых органических соединений.

Наиболее изученным из обширной группы методов AOPs является процесс фото-Фентон, который представляет собой фотолиз пероксида водорода с последующим его каталитическим распадом под действием ионов Fe^{2+}. В результате процесса происходит наработка гидроксильных радикалов, обладающих высоким окислительным потенциалом (табл. 1.). Гидроксильные радикалы способны инициировать цепные реакции деструкции органических веществ в воде с образованием воды и радикала соответствующей молекулы.

Таблица 1

Относительная окислительная способность некоторых окислителей, мВ

Cl_2	$KMnO_4$	H_2O_2	O_3	O^*	OH^*
1,36	1,51	1,78	1,24	2,42	2,8

Для определения эффективности очистки сточных вод фармацевтических производств в результате применения процесса фото-Фентон окисления было проведено экспериментальное исследование процесса на модельной смеси, отражающей характер загрязненности сточных вод для данной отрасли.

Моделирование окисления сточных вод методом фото-Фентон окисления проводилось на установке, представленной на рисунке.

Рисунок. Пилотная установка фото-Фентон окисления

Установка состоит из четырех основных элементов: аккумулирующего резервуара с коническим днищем объемом 30 л, циркуляционного насоса, водяного холодильника спирального типа и ртутной УФ-лампы в кварцевом кожухе. Питание лампы осуществляется через блок питания.

Помимо основных элементов установка оснащена системой контрольно-измерительных приборов, а именно – датчиком водородного показателя, температуры, электропроводности и окислительно-восстановительного потенциала. Управление установкой и контроль показаний датчиков производится через щит управления с контроллером. Подача реагентов осуществлялась вручную.

В эксперименте использовались следующие реактивы:

— 40-% раствор железа сернокислого 7- водного;
— 40-% раствор гидроксида натрия;
— 38-% раствор серной кислоты;
— перекись водород 37-% марки ГОСТ А.

В ходе эксперимента в качестве модельного был использован сток фармацевтического предприятия после предварительной обработки на этапе седиментации, реагентной напорной флотации, а также фильтрации через зернистую загрузку Filter-AG. Объем модельной смеси составил 15 л. Перед началом эксперимента значение pH было доведено до 2,0 единиц, согласно оптимальному значению водородного показателя для реализации процесса фото-Фентона. Также в систему был введен катализатор на основе железа сернокислого 7- водного из расчета 0,5 мл на литр очищаемого стока.

Жидкость из аккумулятора с помощью циркуляционного насоса прокачивалась через реактор с аксиально смонтированной УФ-лампой в кварцевом кожухе с расходом 1 $м^3$/ч и возвращалась обратно в ёмкость. За счёт излучения УФ-лампы и теплоты, выделяющейся при протекании экзотермических реакций окисления, происходил нагрев кварцевой колбы, охлаждение которой обеспечивалось водяным спиральным холодильником. Температура обрабатываемой жидкости поддерживалась в зависимости от серии в диапазоне 44–46°C. При достижении заданной температуры автоматически открывался электромагнитный клапан подачи охлаждающей воды в систему охлаждения. Отбор проб в контрольные промежутки времени осуществлялся через пробоотборный кран.

Дозирование пероксида водорода в процессе эксперимента производилось по датчику окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) напрямую в аккумулирующий резервуар автоматически с помощью насоса-дозатора. Аналогично, по показаниям датчика водородного показателя в автоматическом режиме осуществлялась корректировка среды подачей рабочих растворов гидроксида натрия и серной кислоты.

На первом этапе исследования действия были направлены на стабилизацию основных показателей в условиях термостатирования и на наладку системы. Фиксировались изменения системы в результате прямого фотолиза стока, фотолиза при введении катализатора, а также процесса фото-Фентон окисления.

В ходе основной части эксперимента производилась оценка динамики разложения пероксида водорода и кинетики окисления органических соединений по снижению показателя окислительно-восстановительного потенциала при введении различных доз перекиси водорода в диапазоне 5–25 мл. Контроль изменения состояния системы производился путем сравнения с контрольными пробами. При достижении видимых изменений в состоянии системы производился отбор проб для передачи в лабораторию в целях определения концентрации химического потребления кислорода и общего железа.

Перед началом эксперимента был произведен отбор и анализ пробы в целях определения концентрации химического потребления кислорода и железа общего в начальный момент времени. Значения соответственно составили 8000 мгО/$дм^3$ и 145 мг/$дм^3$.

По завершении эксперимента был произведен отбор и передача контрольного образца для лабораторного анализа.

Фотокаталитическая реакция ожидаемо привела к постепенному падению окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) на фоне разложения внесенной дозы первоначального окислителя. Процесс окисления при этом сопровождался падением pH от исходного значения 2,16 единиц до 2,00 единиц.

Ориентировочно, после двух часов окисления окраска раствора начала изменяться в сторону буро-коричневого цвета, что было вызвано диссоциацией катализатора и началом распада наиболее легкоокисляемых органических веществ. К окончанию эксперимента проба представляла собой прозрачную жидкость со слабым кислым запахом, незначительным количеством взвешенных веществ темного цвета и опалесценцией.

Для всего эксперимента характерно плавное снижение значения pH при фотокаталитической реакции, при этом, pH-коррекция до оптимального значения за счет внесения раствора щелочи каждый раз приводила к срабатыванию автоматической системы дозирования пероксида водорода, что говорит о резком снижении окислительно-восстановительного потенциала. Данное обстоятельство привело к увеличению расхода пероксида водорода не более, чем на 5% от общего внесенного объема.

В течение первых шести часов эксперимента происходит рост достигаемых пиков ОВП при дозировании H_2O_2. Максимально зафиксированное значение составило 640 мВ через 31 час. Автоматическое дозирование перекиси водорода при неизменных условиях проведения эксперимента позволяют характеризовать степень деструкции исходного субстрата по поведению экстремумов, достигая требуемых значений при настройке технологических процессов.

По завершению эксперимента определялась степень люминесценции в финальной контрольной пробе. Полученные результаты сравнивались с результатами просвета УФ-фонарем чистой водопроводной воды (табл. 2).

Таблица 2

Определение степени люминесценции в образцах после эксперимента

Исходный сток	Сток после эксперимента	Водопроводная вода

Эксперимент по инактивации трудноокисляемых органических соединений методом фото-Фентон окисления продемонстрировал возможность применения технологий AOPs для очистки сточных производственных вод фармацевтической промышленности.

Как видно из таблицы, в результате эксперимента удалось в значительной степени снизить люминесцентное свечение в финальной пробе относительно исходного образца, что косвенно говорит об увеличении эффективности деструкции активной фармацевтической субстанции. За 32,5 часа процесса фото-Фентон окисления удалось достигнуть снижения концентрации ХПК более чем в 18 раз до значения 440 мгО/дм^3.

Средняя скорость окисления составила 233 мгО/ч. Данное значение ниже значения скорости окисления, полученное в исследовании [5], что обуславливается различными компонентами, входящими в состав модельных смесей, а также дозами вводимых реагентов.

Однако полученных в ходе эксперимента данных недостаточно для формирования однозначного вывода об эффективности применяемого метода для деструкции АФС. Точный процент снижения концентрации АФС в результате эксперимента можно определить после хроматографического анализа исходной и итоговой пробы.

В целях наработки данных о скоростях кинетических процессов окисления различных АФС требуется проведение серии экспериментов.

Список использованных источников

1. Марченко Ю.О. Роль фармацевтических рынков в современной структуре мирового хозяйства // Вестник университета. – 2015. – №. 12. – С. 17–21.
2. John L. Wilkinsona, Alistair B. A. Boxalla, Dana W. Kolpinb Pharmaceutical pollution of the world’s rivers // PNAS. – 2022. – №. 119 (8). – Pp. 1–10.
3. Балпанова Д.Т., Байзолданов Т., Кожамжарова А.С. Очистка сточных вод предприятий фармацевтической отрасли // Вестник Казахского национального медицинского университета. – 2013. – №. 5 (3). – С. 24–27.
4. Намазова-Баранова Л.С. Баранов А.А. Антибиотикорезистентность в современном мире // Педиатрическая фармакология. – 2017. – №. 5. – С. 341–354.
5. Жеребцов И.Е., Будин А.В., Ярмандеев В.Ю., Юхин С.Е., Никитин И.В. Нейтрализация сточных вод фармацевтических предприятий методом фото-Фентон // Лаборатория и производство. – 2023. – №. 2. – С. 66–69.

Содержание

Деятельность химико-биологического кластера 5

Барсукова О.Ю., Зверева В.А., Собянин А.В.
ИЗУЧЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ И ЛИЗИСА ФИБРИНОВОГО СГУСТКА В УСЛОВИЯХ МОДЕЛЬНОЙ ГИПЕРГЛИКЕМИИ *IN VITRO* 6

Брюккель А.Г., Горбенко Д.А., Баранникова М.В. Шепелев И.А.
ОПТИМИЗАЦИЯ ДИЗАЙНА ДНК-СЕНСОРОВ ДЛЯ ДЕТЕКЦИИ НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ ПРИ ПОМОЩИ ПРЕДИКТИВНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ 10

Маландина М.А., Михайлова П.А., Фальчевская А.С.
РАЗРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЖИДКИХ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ ГИБКОЙ И НОСИМОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ 14

Дизайн и урбанистика 17

Анохина А.С.
РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОНСТРУИРОВАНИЯ ВЕРНАКУЛЯРНЫХ ДИЗАЙН-КОДОВ 18

Кругликов А.Т.
ЛОКАЛЬНАЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ИДЕНТИЧНОСТЬ НЕОСВОЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ 23

Кустов А.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДХОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ ЗВУКОВОГО МАСТЕР-ПЛАНА ГОРОДА .. 28

Инфокоммуникационные технологии 33

Лаврова А.К., Алмазова А.
ВНЕДРЕНИЕ БЛОКЧЕЙН ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ МЕДИЦИНСКИМИ ДАННЫМИ 34

Балтабаев С.Ш.
ОБЗОР МЕТОДОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ В МЕДИЦИНСКИХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ 37

Безгин А.Г., Насыров Н.Ф.
REINFORCEMENT LEARNING WITH HUMAN FEEDBACK ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ 41

Береснев А.Д.
ПРИМЕНЕНИЕ ОТКРЫТЫХ LLM С RAG-АРХИТЕКТУРОЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ИТ-СЕРВИСОВ 44

Зеленин Д.С.
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ЗА СЧЕТ ДЕТЕКЦИИ ОБЪЕКТОВ И ИХ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ КЛАССИФИКАЦИИ 49

Ишутина Е., Калачева В.В.
СЕРВИС ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО КРОСС-ТЕСТИРОВАНИЯ УЧАЩИХСЯ 52

Кошкин А.С.
ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ KOTLIN MULTIPLATFORM ПРИ РАЗРАБОТКЕ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ 55

Горелик С.Л., Кузнецов В.С., Габдрашитов Р.Р.
ИНТЕРНЕТ-СЕРВИС ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЦИФРОВОГО ИМИДЖА УЧАЩИХСЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ 58

Куракин Д.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ НА БЕЗОПАСНОСТЬ МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИИ 61

Макаров К.Д.
ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ДАТАСЕТУ И ВЫБОР МОДЕЛИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ТРЕНИРОВОЧНОГО ПРОЦЕССА 69

Марков П.Д., Перл И.А.
АРХИТЕКТУРА И ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ИГРОВОГО ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО СИМУЛЯТОРА 76

Рыбкин Я.С., Осипов Н.А.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ПОСТРОЕНИЮ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ФОРМИРОВАНИЯ РЕКОМЕНДАЦИЙ МАЙНИНГА ЦИФРОВОЙ ВАЛЮТЫ 80

Мазеин Н.О., Тихонова К.Е., Насыров Н.Ф.
ОБЗОР МЕТОДОВ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ИЗУЧЕНИИ ИНОСТРАННЫХ ЯЗЫКОВ 84

Чекрыгин Е.С., Береснев А.Д.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ МАРКЕТПЛЕЙСА БИТОВ 87

Юрченко П.В., Береснев А.Д.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ВСТРАИВАЕМЫХ ЧАТ-БОТОВ И ИНТЕРАКТИВНЫХ ПОМОЩНИКОВ 91

Трансляционные информационные технологии 95

Алексеев О.Б.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СЦЕНАРНОГО И ГЕНЕРАТИВНОГО ПОДХОДОВ К РАЗРАБОТКЕ ДИАЛОГОВЫХ АССИСТЕНТОВ 96

Басова М.С.
ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИИ НА ПОКАЗАТЕЛИ СОЦИАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ 103

Ворона В.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ИДЕНТИЧНОСТИ ЖИТЕЛЕЙ ПУШКИНСКОГО РАЙОНА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА 107

Исаков А.О.
РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ОБЪЯСНИМОСТИ РЕШЕНИЙ ДЛЯ МНОГОАГЕНТНЫХ СИСТЕМ ФОРМИРОВАНИЯ «ВТОРОГО МНЕНИЯ» В МЕДИЦИНЕ 111

Крюков А.Д., Прокопов Е.М., Румянцева М.Ю.
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ САМООБУЧЕНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧ СЕГМЕНТАЦИИ ОДНОРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ 116

Мамаева А.С.
ПРЕДИКТИВНАЯ ДИАГНОСТИКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ 121

Матвеев А.Г.
НЕОБХОДИМОСТЬ ОБЪЯСНИМОСТИ РЕШЕНИЙ МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В МНОГОАГЕНТНЫХ СИСТЕМАХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗАДАЧ 125

Сукачев П.П.
ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРИЗНАКОВОГО ПРОСТРАНСТВА НЕЙРОСЕТИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ КЛАСТЕРИЗАЦИИ 129

Деятельность военного учебного центра 133

Андреев С.Б., Громов А.В., Зиновьев В.В.
АНАЛИЗ ВОЕННОЙ ПОДГОТОВКИ В МОДУЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ОБУЧЕНИЯ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО 134

Андреев С.Б., Громов А.В., Зиновьев В.В.
БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В ВООРУЖЕННЫХ КОНФЛИКТАХ 136

Клоков А.А., Мануйленко В.Г., Хамитова Е.А.
МОДЕЛЬ ПРАКТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ОБУЧАЮЩИХСЯ В ВОЕННОМ УЧЕБНОМ ЦЕНТРЕ ПРИ МОДУЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ОБУЧЕНИЯ 139

Экотехнологии 143

Абдулкина А.В., Юльметова Р.Ф.
ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ МОТОРНЫХ МАСЕЛ В ПРОЦЕССЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ 144

Agafonov A., Kutko D., Sergienko O.
ELEVATING GEOTHERMAL ENERGY: A REVIEW OF AI AND ML IMPLEMENTATION FOR ENHANCED GEOTHERMAL SYSTEMS 147

Бажукова А.М.
РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ К ФУНКЦИОНАЛЬНОМУ ОЗЕЛЕНЕНИЮ ТЕРРИТОРИИ ЛЕНИНГРАДСКОГО ЗООПАРКА 152

Бойцова А.Д., Николаев Е.М.
АНАЛИЗ РОССИЙСКОГО РЫНКА БИОРАЗЛАГАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ 157

Вертелецкий Е.Д.
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ОБРАБОТКЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА АКТИВНОГО ИЛА 161

Воронина Е.Н., Сергиенко О.И.
АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ СБОРА И ПЕРЕРАБОТКИ АЛЮМИНИЯ В РОССИИ И В МИРЕ 164

Габидулина З., Лебединская А.А., Данилюк М.А.
ОЦЕНКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОДНОРАЗОВОЙ ПОСУДЫ. РАССМОТРЕНИЕ УСТОЙЧИВОЙ СХЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ ОТ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РЕСТОРАНОВ БЫСТРОГО ПИТАНИЯ 168

Гладышева М.С., Молодкина Н.Р.
ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ МИКРОБНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ 172

Гопкин К.А., Семенова Т.С., Квиринг М.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД 176

Гриднева С.М.
ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАПОВЕДНИКА «БАСТАК» 180

Давлятшина Д.Р., Молодкина Н.Р., Николаев Е.М., Миниахметова А.В.
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА БИОРАЗЛАГАЕМОЙ ПОСУДЫ В ОБРАТНОМ ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ 183

Динкелакер Н.Ф.Й. , Динкелакер Н.В., Агаханянц П.Ф.
ДЕПОНИРОВАНИЕ УГЛЕРОДА В ТАЕЖНЫХ ПОЧВАХ РЕСПУБЛИКИ КОМИ 187

Дмух Н.С.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОИЗВОДСТВА БИОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ МИЦЕЛИЯ 191

Егорова В.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТАЕЖНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРО–ЗАПАДА РОССИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ 195

Кисарова М.Ю., Юльметова Р.Ф.
РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕСУРСОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ ПОЛИГРАФИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ 200

Клементьева С.С.
ИСТОРИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ 204

Коняева О.М.
СОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ЛУГОВЫХ ЛАНДШАФТОВ ДАРВИНСКОГО ЗАПОВЕДНИКА (НА УЧАСТКЕ ВБЛИЗИ ОЗЕРА ХОТАВЕЦ) 208

Королёва Е.В., Забелина А.В., Сергиенко О.И.
ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЦИФРОВОГО МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ 212

Кострыкина А.А., Сергиенко О.И.
ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЫБРОСОВ ДУРНОПАХНУЩИХ ВЕЩЕСТВ 217

Костяная Н.А.
ПРОБЛЕМЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ В ЯМАЛО-НЕНЕЦКОМ АВТОНОМНОМ ОКРУГЕ 221

Kutko D., Agafonov A., Sergienko O.
THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS IN THE SELECTION OF DRILLING FLUID FORMULATIONS AND MONITORING THE CONDITION OF THE WELL DURING DRILLING 225

Лебединская А.А., Габидулина З.
АНАЛИЗ ОЦЕНКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА КОМПОСТИРУЕМОЙ ПОСУДЫ С СОДЕРЖАНИЕМ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ КУЛЬТУР 230

Лекомцева М.В., Смирнов Е.С., Сергиенко О.И.
АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД 233

Лёсин И.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ КАК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ 237

Мевлидинова Д.
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ РИСКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ 243

Medvedeva I.A.
ENVIRONMENTAL ASPECTS OF PRODUCTION AND UTILIZATION OF ENERGY ACCUMULATORS 247

Мешечко М.И., Динкелакер Н.В., Динкелакер Н.Й.
МЕТОДОЛОГИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ТАЕЖНЫХ ПОЧВ 252

Мокеева О.Б.
АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ВОД ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ 257

Мокеева О.Б.
НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ВБЛИЗИ ТЕРРИТОРИЙ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ 260

Морщинин И.В., Видлер А.Д.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА БИОМАССЫ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ 263

Нарова Г.
ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ И РАСТЕНИЙ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ НА ТЕРРИТОРИИ ЮГО-ЗАПАДНОГО КАЗАХСТАНА ГОРОДА АКТАУ 266

Петрова Т.С.
АНАЛИЗ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ МОДЕРНИЗАЦИИ НА ПРИМЕРЕ КОНКРЕТНОГО УЧАСТКА В Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ 272

Пирожков А.М., Клемешова А.С.
МОНИТОРИНГ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ ПТИЦ В МЕСТАХ СКОПЛЕНИЯ НА ПОЛИГОНАХ ТКО ПРИ ПОМОЩИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА 278

Пирожков А.М., Клемешова А.С.
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ГОРОДОВ ПРИ ПОМОЩИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА 281

Позднякова Н.А.
ОРГАНИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА СВАЛОЧНОГО ГАЗА НА ПОЛИГОНАХ ТКО 284

Раудсеп В.А., Абдулкина А.В., Юльметова Р.Ф.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕГЕНЕРАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ 288

Семенова Т.С., Квиринг М.В., Гопкин К.А.
ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД 293

Семыкина А.А.
ЛАБОРАТОРНАЯ ОЦЕНКА СПОСОБНОСТИ БИОДЕГРАДАЦИИ МАТЕРИАЛОВ 296

Сквиря К.Р.
АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ, ВЛИЯЮЩИХ НА РЕСТОРАННЫЙ БИЗНЕС В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ 299

Суворова В.А., Юльметова Р.Ф.
СПОСОБЫ УТИЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУЖКИ 302

Hakim C.E.A.
ANALYZING THE ENVIRONMENTAL CERTIFICATION STANDARDS APPLICABLE TO URBAN LANDSCAPES 306

Хуторная Ю.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА 310

Шадрина А.Ф.
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ РЕАГЕНТНЫХ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ПРИМЕРЕ КОАГУЛЯЦИИ 314

Шарипова Н.З.
ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ СТЕКЛА В РОССИИ: ПЕРСПЕКТИВЫ И ОСОБЕННОСТИ 317

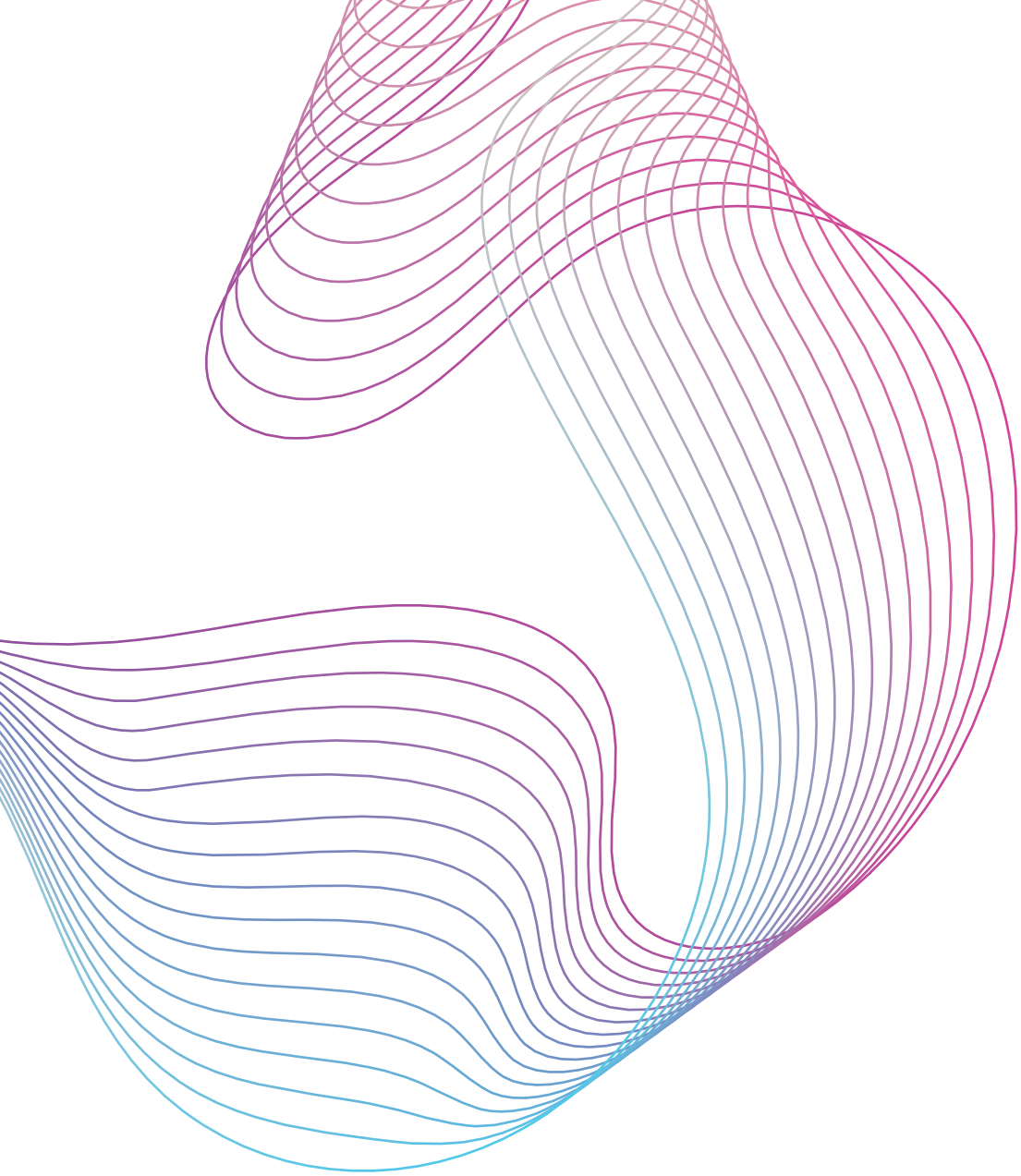
Шарифуллина К.А.
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОПУЛЯРИЗАЦИИ ОХРАНЫ БОЛОТНЫХ ЛАНДШАФТОВ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ООПТ «ПОЛИСТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЗАПОВЕДНИК» 320

Юхин С.Е.
ИНАКТИВАЦИЯ АКТИВНЫХ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ СУБСТАНЦИЙ МЕТОДОМ ФОТО-ФЕНТОН ОКИСЛЕНИЯ 324

Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО

Том 2

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО
Зав. РИО Н.Ф. Гусарова
Дизайн обложки отдел развития бренда Университета ИТМО
Вёрстка К.Д. Бутылкина
Подписано к печати 05.11.2024
Заказ № 4780 от 05.11.2024
Печатается в авторской редакции



ISBN 978-5-7577-0719-8

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49