



СХХVII Международная научная конференция



ИССЛЕДОВАНИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

КАЗАНЬ

Часть 1

УДК 005(063)
ББК 65.290-2я43
И88

Главный редактор: *И. Г. Ахметов*

Редакционная коллегия:

Э.А. Бердиев, Ю.В. Иванова, А.В. Каленский, В.А. Куташов, К.С. Лактионов, Н.М. Сараева, Т.К. Абдралилов, О.А. Авдеюк, О.Т. Айдаров, Т.И. Алиева, В.В. Ахметова, В.С. Брезгин, О.Е. Данилов, А.В. Дёмин, К.В. Дядюн, К.В. Желнова, Т.П. Жуикова, Х.О. Жураев, М.А. Игнатова, Р.М. Исаков, К.К. Калдыбай, А.А. Кенесов, В.В. Коварда, М.Г. Кологорцев, А.В. Котляров, А.Н. Кошербаева, В.М. Кузьмина, К.И. Курпаяниди, С.А. Кучерявенко, Е.В. Лескова, И.А. Макеева, Е.В. Матвиенко, Т.В. Матроскина, М.С. Матусевич, У.А. Мусаева, М.О. Насимов, Б.Ж. Паридинова, Г.Б. Прончев, А.М. Семахин, А.Э. Сенцов, Н.С. Сенюшкин, Д.Н. Султанова, Е.И. Титова, И.Г. Ткаченко, М.С. Федорова, С.Ф. Фозилов, А.С. Яхина, С.Н. Ячинова

Международный редакционный совет:

З.Г. Айрян (Армения), П.Л. Арошидзе (Грузия), З.В. Атаев (Россия), К.М. Ахмеденов (Казахстан), Б.Б. Бидова (Россия), В.В. Борисов (Украина), Г.Ц. Велковска (Болгария), Т. Гайич (Сербия), А. Данатаров (Туркменистан), А.М. Данилов (Россия), А.А. Демидов (Россия), З.Р. Досманбетова (Казахстан), А.М. Ешиев (Кыргызстан), С.П. Жолдошев (Кыргызстан), Н.С. Игисинов (Казахстан), Р.М. Исаков (Казахстан), К.Б. Кадыров (Узбекистан), А.В. Каленский (Россия), О.А. Козырева (Россия), Е.П. Колтак (Россия), А.Н. Кошербаева (Казахстан), К.И. Курпаяниди (Узбекистан), В.А. Куташов (Россия), Э.Л. Кыят (Турция), Лю Цзюань (Китай), Л.В. Малес (Украина), М.А. Нагервадзе (Грузия), Ф.А. Нурмамедли (Азербайджан), Н.Я. Прокопьев (Россия), М.А. Прокофьева (Казахстан), Р.Ю. Рахматуллин (Россия), М.Б. Ребезов (Россия), Ю.Г. Сорока (Украина), Д.Н. Султанова (Узбекистан), Г.Н. Узаков (Узбекистан), М.С. Федорова, Н.Х. Хоналиев (Таджикистан), А. Хоссейни (Иран), А.К. Шарипов (Казахстан), З.Н. Шуклина (Россия)

Исследования молодых ученых : материалы СХХVII Междунар. науч. конф. И88 (г. Казань, июнь 2026 г.) / [под ред. И. Г. Ахметова и др.]. — Казань : Молодой ученый, 2026. — iv, 178 с.

ISBN 978-5-6055990-2-9.

В сборнике представлены материалы СХХVII Международной научной конференции «Исследования молодых ученых».

Предназначен для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов, а также для широкого круга читателей.

УДК 005(063)
ББК 65.290-2я43

ISBN 978-5-6055990-2-9

© Оформление.

ООО «Издательство Молодой ученый», 2026

СОДЕРЖАНИЕ

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

Бочкарёва М.С.

Анализ существующих полезных изобретений для деревянных оконных рам 1

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Короткевич А.Д.

Внедрение военного стандарта в систему менеджмента качества: методологические и практические аспекты 6

Sarah J.M.

A multi-criteria decision model for selecting computational approaches to fatigue crack growth prediction. 12

БИОЛОГИЯ

Кукса А.Д., Потапова И.А.

Наночастицы висмута и оксида висмута как объекты современных биомедицинских исследований 22

Кукса А.Д., Языкова М.Ю.

Наночастицы оксида церия в биомедицине: современные исследования и перспективы применения 28

МЕДИЦИНА И ФАРМАКОЛОГИЯ

Осина П.Е.

Особенности ночного сна, процессов засыпания и пробуждения у студентов медицинского вуза 33

Серов И.С.

Сравнительная эффективность и безопасность ингибиторов P2Y₁₂ у пациентов после инфаркта миокарда. Выбор между клопидогрелом, прасугрелом и тикагрелором 39

Серов И.С.

Трансфер международных прогностических индексов и шкал
в стратификацию риска на этапах кардиореабилитации после инфаркта
миокарда. 47

ГЕОГРАФИЯ**Кононенко Д.А., Бурова Ю.С., Нодия М.П.**

Пространственная поляризация миграционных процессов
в Краснодарском крае в 2023 году. 57

ЭКОНОМИКА**Ван Н.Н.**

Business Performance and the Mediating Effect of Marketing Capabilities on
Innovation Commercialization: Evidence from the Iraq Stock Exchange 62

Артемова Е.А., Границына Ю.С., Княжева А.А., Середа К.Д.

Цифровые экосистемы (платформы) как вектор трансформации экономики
и вопросы государственного регулирования цифровых платформ. 71

МЕНЕДЖМЕНТ**Папулова У.А.**

Анализ системы образования в Байкаловском муниципальном районе
Свердловской области. 76

ГОСУДАРСТВО И ПРАВО**Александрова А.А., Николаева П.П., Мыльников Д.М.**

Химико-биологические исследования в почвоведении как инструмент
определения времени смерти в судебной практике. 80

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

Анализ существующих полезных изобретений для деревянных оконных рам

Бочкарёва Мария Сергеевна, студент магистратуры

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина
(г. Краснодар)

В данной статье рассмотрены существующие полезные изобретения для деревянных оконных рам. Выполнено сравнение существующих полезных изобретений. Выполнена классификация проблем, для решения которых применяются соответствующие полезные изобретения.

Ключевые слова: оконный блок, монтаж, оконная рама, герметизация стыков, теплоизоляция, изобретение.

Analysis of existing useful inventions for wooden window frames

This article examines the main issues associated with window frame installation. Examples of window structures exhibiting these phenomena are provided. Existing solutions for improving the thermal insulation of window slopes are described.

Keywords: window block, installation, window frame, joint sealing, thermal insulation, invention.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью классификации полезных изобретений для деревянных оконных рам в условиях широкого и быстрорастущего рынка оконных конструкций, где деревянным окнам уделяется меньше внимания, чем металлопластиковым. Необходимо из широкого спектра научных работ выделить те, что относятся к деревянным окнам и классифицировать их.

Каждое полезное изобретение направлено на решение одной или нескольких задач, стоящих перед изобретателем, строителем, проектировщиком или изготовителем.

Рассмотрим патент № 2577695 «Деревянное окно и способ его изготовления» [1]. Сущность предлагаемого решения заключается в изменении формы сечения оконного профиля. Для производства такого профиля применяется унифицированный комплект ножей, что позволяет автоматизировать производство. Профиль изготавливается из клееного бруса, эффективность данной технологии была доказана более ранними исследованиями в области деревянных оконных рам.

Согласно конструкции, стекло вклеивается в пазы и выполняет несущую функцию. За счёт установки 2–3 стёкол в створку увеличиваются теплоизоляционные характеристики оконного блока.

Профиль имеет Т-образную форму, которая упрощает монтаж подоконника, отливов, откосов, а также служит для надёжной фиксации окна в проёме. Предложенная форма профиля позволяет экономить материал при производстве и увеличить площадь светопрозрачной части за счёт узкой видимой ширины. Использование металлических или ПВХ накладок защищает внешнюю часть рамы от разрушающего воздействия дождя, солнца, ветра и позволяет увеличить срок службы оконной рамы.

При рассмотрении патента № 176748 «Конструкция деревянного оконного и балконного блока» [2] были выделены отличительные особенности конструкции, которые заключаются в использовании сменных внутренних и внешних накладок, а также в повышении герметизации прижимных пазов между створкой и рамой.

Два рассмотренных выше патента предполагают использование дерева в виде клееного бруса или фанеры в качестве основного теплоизоляционного материала. Однако в деревянных окнах теплоизоляционным материалом может выступать и синтетический материал. Например, пенополиуретан, коэффициент теплопроводности которого значительно ниже, чем у древесины. Так патент № 34603 [5] «Оконный блок» предлагает профиль оконной рамы, состоящий минимум из трёх слоёв, где наружные слои могут быть выполнены из дерева или металла, а внутренний из пенополиуретана с коэффициентом плотности не менее 200 кг/м^3 . Преимуществом такого оконного блока является низкая теплопроводность. Требуемая жёсткость конструкции достигается за счёт внешних слоёв, при этом к внутреннему слою также применяются требования по минимальной жёсткости.

К рассмотрению предлагается и другая полезная модель оконной рамы, выполненной из комбинированных материалов. В патенте № 202526 [3] «Профиль для фасадных оконных конструкций» описан профиль окна, состоящий из алюминиевых профилей с герметичными воздушными камерами, служащими для теплоизоляции, и деревянных накладок. Данное изобретение обладает рядом преимуществ. Среди них и применение натурального дерева, обладающего художественно-эстетичной привлекательностью, и возможность монтажа и демонтажа накладок независимо от рамной конструкции. Монтаж накладок по технологии производится после завершения отделочных работ, что позволяет сохранить целостность древесины и аккуратный внешний вид оконного заполнения. В данной конструкции холодный металл и древесина, расположенная со стороны тёплого помещения, не контактируют благодаря термостатическому разрыву в виде армированного стекловолокном полиамида. В результате предотвращается выпадение конденсата внутри конструкции и появление участков гниения на древесине. Описанная конструкция может быть эффективно применена для остекления больших площадей. Например, фасадов административных, офисных и социокультурных зданий, витрин магазинов, жилых домов.

В соответствии с оригинальными архитектурными решениями появляется потребность в нестандартных окнах. Так в патенте № 27622 «Оконный блок» [4] описано изобретение, направленное на решение одной из таких задач. Автор предлагает модуль дугообразного деревянного профиля. Соседние окна стыкуются между собой с помощью пазов, предусмотренных конструкцией.

Описанные выше изобретения направлены на изменение конструкции деревянной оконной рамы. Однако во время эксплуатации окон проблемы могут возникать и в откосах. Автор патента № 74151 «Теплоизоляционное обрамление окон» решает именно такую задачу. Изобретение направлено на утепление оконных откосов и герметизацию стыков между рамой и откосом. Обрамление выполняется из теплоизоляционных твёрдых материалов, что увеличивает сопротивление теплопередаче в монтажных узлах по сравнению с применением четвертей из кирпича. Разработано несколько конструктивных вариантов монтажа для данного изобретения, что позволяет создавать оконные проёмы с объёмными декоративными наличниками по периметру и без них. Теплоизоляционное обрамление возможно применять как в новом строительстве, так и при реконструкции. Монтаж может производиться в стены из кладочного материала и в панельную стену. Данное решение позволяет сделать старые здания энергоэффективными.

Рассмотренное изобретение улучшает характеристики окна при эксплуатации, но увеличивает объём работы при монтаже, тем самым усложняя процесс. Существуют и изобретения, направленные на облегчение монтажа.

Например, такое изобретение описано в патенте № 65543 «Потайное устройство для фиксации дверного короба или оконного блока». Потайное устройство предназначено для облегчения монтажа деревянных оконных блоков и дверных коробов. Оно незаметно при эксплуатации и позволяет монтировать дверные и оконные блоки с минимальным зазором

На основе рассмотренных патентов выделим основные задачи, которые решаются при проектировании новых полезных моделей:

- повышение теплоизоляционных характеристик;
- снижение себестоимости, экономическая выгода;
- унификация и упрощение процесса производства, процесса монтажа;
- повышение устойчивости оконной рамы в проёме;
- герметизация оконных стыков, монтажных узлов;
- нестандартные формы окон: витражные, радиусные, круглые, арочные, эркеры и др.

Существует два подхода к решению поставленных при проектировании задач:

1. изменение конструкции оконной рамы:
 - сечение профиля рамы;
 - применение комбинированных современных материалов;
 - нестандартные формы оконных проёмов;
2. изменение способа монтажа:
 - теплоизоляционное обрамление;
 - нащельники;
 - доборы;
 - потайные фиксирующие устройства.

Преобладающее большинство полезных изобретений для деревянных оконных рам направлено на изменение оконного профиля. Реже встречаются новые решения для улучшения монтажа. Существенное внимание уделяется улучшению эксплуатационных характеристик конструкций, увеличению срока их службы и оптимизации производственных процессов. При этом особое значение придаётся сохранению эстетических качеств оконных систем. Перспективным направлением для улучшения характеристик оконного блока является применение комбинированных материалов.

Литература:

1. Патент № 2577695 С1 Российская Федерация, МПК E06B 3/00. Деревянное окно и способ его изготовления: № 2014134027/12: заявл. 19.08.2014: опубл. 20.03.2016 / А. Н. Хорошавин. — EDN WBNIUO.
2. Патент на полезную модель № 176748 U1 Российская Федерация, МПК E06B 1/34, E06B 3/30, E06B 1/06. Конструкция деревянного оконного и балконного блока: № 2017127222: заявл. 28.07.2017: опубл. 25.01.2018 / С. И. Цуцкий. — EDN TVNGDB.
3. Патент на полезную модель № 202526 U1 Российская Федерация, МПК E06B 3/30. Профиль для фасадных и оконных конструкций: № 2020134442: заявл. 21.10.2020: опубл. 20.02.2021 / Э. Г. Киракосян; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Промпрогресс». — EDN XEQMJH.
4. Патент на полезную модель № 27622 U1 Российская Федерация, МПК E06B 3/00. Оконный блок: № 2002112901/20: заявл. 20.05.2002: опубл. 10.02.2003 / В. А. Агапова, А. М. Николаева. — EDN IXZFQX.
5. Патент на полезную модель № 34603 U1 Российская Федерация, МПК E06B 3/00. Оконный блок: № 2003120173/20: заявл. 03.07.2003: опубл. 10.12.2003 / В. М. Пилипенко, Л. Н. Данилевский, Б. И. Тауругинский [и др.]; заявитель Научно-исследовательское и проектно-технологическое унитарное предприятие «Институт НИПТИС», Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А. Н. Севченко» Белгосуниверситета. — EDN KRCJSH.
6. Патент на полезную модель № 65543 U1 Российская Федерация, МПК E06B 1/04. Потайное устройство для фиксации дверного косяка или оконного блока, монтируемое в стене в области проема: № 2006146537/22: заявл. 27.12.2006: опубл. 10.08.2007 / Ю. В. Эпштейн. — EDN GQADQV.
7. Патент на полезную модель № 74151 U1 Российская Федерация, МПК E06B 3/00. Теплоизоляционное обрамление окон: № 2007126247/22: заявл. 09.07.2007: опубл. 20.06.2008 / Е. Д. Малафеев. — EDN HZNEZN.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Внедрение военного стандарта в систему менеджмента качества: методологические и практические аспекты

Короткевич Алёна Дмитриевна, студент

Научный руководитель: Янушевская Марина Николаевна, кандидат педагогических наук, доцент

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

В статье рассматриваются методологические и практические аспекты внедрения военных стандартов в систему менеджмента качества предприятий оборонно-промышленного комплекса. На основе анализа требований ГОСТ РВ 0015–002–2020 и практического опыта внедрения ГОСТ РВ XXXX — XX.XX-2024 в ОАО «Манотомь» предложен алгоритм внедрения документов по стандартизации оборонной продукции (ДСОП). Выявлены и систематизированы типичные проблемы и ошибки, возникающие при внедрении военных стандартов. Обоснована необходимость комплексного подхода, включающего сравнительный анализ внутренней нормативной документации, разработку организационно-технических мероприятий, обучение персонала и интеграцию требований в производственные процессы.

Ключевые слова: система менеджмента качества, оборонно-промышленный комплекс, стандартизация оборонной продукции, ГОСТ РВ, внедрение стандартов, документы по стандартизации оборонной продукции.

В условиях современной геополитической обстановки и реализации государственной программы импортозамещения перед организациями оборонно-промышленного комплекса (ОПК) Российской Федерации поставлена задача не только наращивания объемов выпуска продукции военного назначения, но и кардинального повышения ее качества при одновременном соблюдении жестких сроков исполнения государственного оборонного заказа. Ключевым инструментом решения данной задачи выступает эффективно выстроенная

и функционирующая система менеджмента качества (СМК), соответствующая актуальным требованиям военных стандартов.

Особую значимость управление качеством на предприятиях ОПК приобретает в период проведения специальной военной операции, когда предприятия адаптируются к новым условиям хозяйствования, возросшему государственному оборонному заказу и испытывают потребность в компетентных специалистах различного профиля. Президент Российской Федерации В. В. Путин подчеркнул: «Наша задача — так развивать оборонно-промышленный комплекс, чтобы нарастить научный, технологический, индустриальный потенциал страны. Нужно максимально рационально распределить ресурсы и выстроить эффективную экономику Вооружённых сил, добиваться максимума на каждый рубль оборонных расходов».

Обновление нормативной базы оборонной стандартизации, в том числе введение новых и актуализация действующих ГОСТ РВ, позволяет не только ужесточить требования к характеристикам изделий, но и внедрить риск-ориентированный подход, цифровую прослеживаемость и современные методы контроля на всех этапах жизненного цикла продукции, что в совокупности обеспечивает стабильность качества и снижает риски несоответствий при выполнении государственного оборонного заказа.

1. Теоретические основы внедрения военных стандартов

1.1. Эволюция системы военной стандартизации в Российской Федерации

Система менеджмента качества на предприятиях ОПК России исторически формировалась под влиянием требований государственного заказчика и необходимости интеграции с международными подходами к управлению качеством. В настоящее время базовым документом, устанавливающим обязательные требования к СМК организаций-исполнителей государственного оборонного заказа, выступает ГОСТ РВ 0015–002–2020 «Система менеджмента качества. Требования». Данный стандарт разработан с учётом специфики оборонной продукции и содержит существенные дополнения, обусловленные особым характером продукции военного назначения.

Принципиальное отличие нормативной базы предприятий ОПК заключается в многоуровневом характере регулирования. Помимо национальных стандартов, деятельность таких организаций регламентируется Федеральным законом № 275-ФЗ «О государственном оборонном заказе», ведомственными нормативными актами Министерства обороны РФ, а также требованиями Единой системы допуска (ЕСД) и Единой системы менеджмента качества (ЕСМК) Минобороны.

Как отмечает Долгова О. В., главный эксперт СДС «Военный Регистр», наличие у организаций системы менеджмента качества, соответствующей требованиям военных стандартов, является обязательным условием получения государственного оборонного заказа и дополнительным преимуществом при участии в закупочных процедурах.

1.2. Фонд документов по стандартизации оборонной продукции

Фонд действующих документов по стандартизации оборонной продукции (ДСОП) составляет свыше 53 тысяч документов и включает нормативно-технические документы системы общих технических требований (НТД системы ОТТ), межгосударственные и государственные военные стандарты, стандарты двойного применения и военные дополнения к ним, а также отраслевые военные стандарты и военные дополнения.

В соответствии с постановлением Правительства РФ от 30 декабря 2016 г. № 1567, одним из принципов стандартизации оборонной продукции является обязательность применения и исполнения документов по стандартизации оборонной продукции в отношении объектов стандартизации. К документам по стандартизации оборонной продукции, в том числе, относятся и государственные военные стандарты.

2. Методология внедрения военных стандартов

2.1. Основные этапы внедрения ДСОП

Процесс имплементации документов по стандартизации оборонной продукции в деятельность организации предусматривает реализацию следующих последовательных этапов: подготовка к внедрению; выполнение работ по внедрению; контроль за соблюдением требований ДСОП. В соответствии с ГОСТ РВ 0001–005–2019, акт о внедрении ДСОП оформляется в срок не позднее одного месяца с момента завершения всех мероприятий по внедрению.

В ходе внедрения стандарта организации необходимо руководствоваться следующими внутренними документами: организационно-распорядительные документы (приказы и распоряжения руководителя); планы организационно-технических мероприятий по внедрению ДСОП; информационные и методические документы по стандартизации.

2.2. Сравнительный анализ внутренней нормативной документации

Обязательным этапом внедрения военного стандарта является сравнительный анализ внутренних нормативных документов предприятия на предмет соответствия требованиям внедряемого стандарта. Анализ внутренних нормативных документов представляет собой процесс оценки их соответствия

законодательству, внутренним требованиям организации, а также выявления противоречий, устаревших положений и пробелов в регулировании.

Практический опыт внедрения ГОСТ РВ XXXX — XX. XX-2024 «Изделия военной техники. Номенклатура показателей качества. Общие положения» в ОАО «Манотомь» показал, что из 32 внутренних нормативных документов только один требовал корректировки — СТО. В. СМК. 5Ш. 040–2025, в котором отсутствовал раздел, регламентирующий номенклатуру показателей качества оборонной продукции. Данное несоответствие было устранено путём разработки и оформления извещения об изменении.

2.3. Организационно-технические мероприятия

В планах организационно-технических мероприятий по внедрению ДСОП могут быть предусмотрены: внедрение межгосударственных и национальных стандартов; корректировка действующей или разработка новой документации; выпуск извещений об изменении конструкторской и технологической документации; проведение испытаний; работы, связанные с постановкой на производство; мероприятия по материально-техническому обеспечению.

2.4. Типичные проблемы и ошибки при внедрении

Анализ практики внедрения военных стандартов на предприятиях ОПК позволяет выделить ряд типичных проблем и ошибок, систематизированных экспертами СДС «Военный Регистр».

2.5. Неправильное планирование работ

Одной из самых типичных ошибок при создании или адаптации СМК является неправильное планирование работ. Руководство принимает решение о внедрении СМК в сжатые сроки, не учитывая, что на реализацию проекта по разработке документов системы менеджмента качества может потребоваться в среднем от 6 до 12 месяцев. Продолжительность разработки зависит от многих факторов: видов деятельности организации, её численности, сложности организационной структуры, технологических и законодательных особенностей создания продукции.

2.6. Феномен «Службы качества-одиночки»

Очень часто функции по адаптации СМК к новому ГОСТ РВ возлагают исключительно на отдел качества. Как отмечают эксперты, при проведении аудитов СМК на предприятиях складывается впечатление, что службы качества — это единственное подразделение, которое реально интересуется состоянием системы. Службы качества разрабатывают документацию, проводят внутренние аудиты, составляют отчёты по анализу системы. Однако нельзя мириться с ситуацией, когда служба качества остаётся единственно заинтересо-

ванным подразделением. Создание работоспособной СМК — это коллективное творчество, поэтому необходимо привлекать к разработке документации и построению СМК как можно большее число специалистов, а не только сотрудников службы качества.

2.7. Необоснованное исключение требований стандарта

Некоторые предприятия пытаются «облегчить» себе жизнь, неправомерно исключая целые разделы стандарта. Например, исключение раздела о статистических методах или защите информации, мотивируя это спецификой продукции. Стандарт допускает исключение требований только раздела 7, причём делать это обоснованно. Такие действия приводят к отказу в сертификации.

2.8. Недостаточное финансирование обучения персонала

Ещё одной проблемой является недостаточное финансирование мероприятий по обучению персонала вопросам построения и функционирования СМК. В лучшем случае деньги выделяются на обучение одного-двух специалистов, как правило, работников службы качества, а все ключевые руководители остаются не охвачены обучением. Отсутствие обучения приводит к непониманию требований стандарта, необоснованной критике разработанных документов и конфликтам.

3. Практический опыт внедрения ГОСТ РВ XXXX — XX. XX-2024

На примере ОАО «Манотомь» рассмотрена практическая реализация внедрения военного стандарта. Предприятие специализируется на выпуске механических и цифровых манометров, датчиков давления и температуры, приборов для измерения уровня, плотности и расхода. Номенклатура продукции включает более 200 наименований и более 15000 модификаций. Предприятие имеет более 20 патентов на собственные разработки, продукция поставляется на экспорт.

Внедрение ГОСТ РВ 0020–57.102–2024 осуществлялось по следующему алгоритму:

1. Сравнительный анализ СТО. В. СМК. 5Ш. 002–2025 с требованиями ГОСТ РВ 0001–005–2019 по девяти ключевым позициям показал полное соответствие, что подтвердило готовность внутреннего стандарта к применению.
2. Разработан план организационно-технических мероприятий, включающий анализ действующей документации, корректировку СМК предприятия, обучение персонала и внутренний аудит внедрения.
3. Проведён сравнительный анализ 32 внутренних нормативных документов, выявивший несоответствие в СТО. В. СМК. 5Ш. 040–2025 (отсутствие раздела о номенклатуре показателей качества).

4. Разработано и оформлено извещение об изменении СТО. В. СМК. 5Ш. 040–2025 с добавлением раздела «Номенклатура показателей качества оборонной продукции», определяющего состав обязательных показателей (назначение, надёжность, технологичность, унификация, стойкость к внешним воздействиям), методы контроля и периодичность, порядок согласования с военным представительством.

5. Подготовлена и проведена презентация для обучения сотрудников отдела аудита, стандартизации и сертификации, а также смежных подразделений.

6. Интегрированы требования стандарта в процесс «Технический контроль», определены процедуры, подлежащие внедрению: управление средствами измерений и испытаний (п. 7.4), идентификация и прослеживаемость продукции (п. 8.2), верификация и валидация методов контроля (п. 7.5), управление несоответствующей продукцией (п. 8.3), номенклатура показателей качества (п. 7.3.5), мониторинг и измерение процессов (п. 9.1).

7. Оформлен акт о внедрении ГОСТ РВ XXXX — XX. XX-2024.

8. Разработанный алгоритм внедрения (от приказа до акта) может быть тиражирован для последующих ДСОП, поступающих на предприятие.

Литература:

1. ГОСТ РВ 0015–002–2020. Система разработки и постановки на производство военной техники. Системы менеджмента качества. Требования. — М.: Стандартиформ, 2020.
2. ГОСТ РВ 0001–005–2019. Система стандартизации оборонной продукции. Порядок внедрения документов по стандартизации оборонной продукции. — М.: Стандартиформ, 2019.
3. Постановление Правительства РФ от 30 декабря 2016 г. № 1567 «О порядке стандартизации в отношении оборонной продукции».
4. Савицкий, В. Я. Управление качеством на предприятиях ОПК в условиях геополитических вызовов: монография / В. Я. Савицкий, Ю. М. Голубинский, Е. С. Григорян. — М.: ИНФРА-М, 2026. — 173 с.
5. Васильева, Ю. В. Особенности системы управления качеством предприятия оборонно-промышленного комплекса / Ю. В. Васильева // Научный руководитель — к. э. н. Мишура Л. Г. — Университет ИТМО.

A multi-criteria decision model for selecting computational approaches to fatigue crack growth prediction

Sarah Jaber Mohammed Al-Attabi, assistant lecturer

University of Al-Qadisiyah (Diwaniya, Iraq)

Fatigue crack growth prediction is essential in fracture mechanics and structural integrity assessment. Existing computational methods, including FEM, XFEM, continuum damage mechanics, phase-field modeling, multiscale modeling, and machine learning, differ in accuracy, computational cost, data requirements, and interpretability. This paper proposes a TOPSIS-based multi-criteria framework for selecting suitable computational approaches. The framework ranks alternative methods based on defined criteria, assigned weights, and an illustrative decision matrix. It facilitates a more systematic and clear preliminary selection of fatigue crack growth analysis.

Keywords: fatigue crack growth, computational mechanics, TOPSIS, multi-criteria decision-making, structural integrity.

1 Introduction

1. Fatigue crack growth is one of the most important failure mechanisms that occurs in engineering materials under cyclic loading. It is a gradual process that involves damage accumulation, crack initiation, stable crack propagation and final fracture at a critical crack size. Hence, the prediction of crack growth will be key in the estimation of residual life, the durability analysis and the assessment of the structural integrity [1].

Several computational methods are used to analyze fatigue crack growth. FEM is widely applied to evaluate stress and strain fields near cracks [1, 2]. One of the advantages of XFEM is its ability to represent cracks in a way that is independent of the mesh and minimizes the need for repeated remeshing to model cracks» propagation [2]. Progressive material degradation can be described by damage variables, continuum damage mechanics [3]. Phase-field methods are also well suited for modeling crack initiation, propagation, branching and interaction, but have been shown to be computationally expensive in some cases [4]. Multiscale models are useful if the fatigue behavior depends on the microstructure and machine-learning methods are gaining increasing adoption for crack detection and fatigue prediction [5].

Although such methods exist, it is hard to choose the most appropriate computational method. The more sophisticated the approach, the less likely it is to be the best solution to a given problem. For instance, the use of a phase-field approach might not be necessary for a regular known crack, while classical FEM might not be enough for complex branching or crack paths that are not known. This paper

therefore treats the problem of selecting a method as a multi-criteria decision making problem and proposes a TOPSIS based framework for comparing the computational approaches by evaluating them in terms of accuracy, crack-path capability, damage representation, computational cost, data requirements, simplicity of implementation and physical interpretability [6].

2. Literature Review

Recent studies on fatigue crack growth prediction have developed in several main directions: finite element modeling, damage mechanics, phase-field modeling, multiscale approaches, and data-driven methods. Although there are some newer techniques available, the FEM approach is still widely used in computational fracture mechanics for the ability to assess stress fields, crack-tip parameters, and crack propagation behavior. Alshoaibi and Fageehi [1] and Su et al. [9] summarize modern finite element methods such as FEM, XFEM, cohesive zone modeling, virtual crack closure methods, adaptive remeshing, and probabilistic methods. The XFEM formulation developed by Moës, Dolbow and Belytschko [2] is particularly significant as it enables the modelling of crack growth without the need for continuous remeshing.

Furthermore, there are models for materials under cyclic loading which are important for elastoplastic and damage analysis. Vansovich and Yadrov [7] address the problems of elastoplastic modeling of fatigue cracks while Stratula [8] provides a mathematical model of fatigue fracture under high-frequency bending vibrations in titanium alloys. The continuum damage mechanics model represents a material degradation process by means of damage variables [3]. From this direction, Tumanov and Kosov [10] study parameter identification for the damaged viscoplastic media in the prediction of durability.

Another exciting field of research in computational fatigue fracture is phase-field modeling. Cui, Du and Zhang [4] summarize its use for fatigue fracture modeling, and Yan, Schreiber and Müller [11] provide an overview of efficient implementation of phase-field fatigue crack growth models. Kalina et al. [12] compare different phase-field fatigue models in a common framework. The ability to capture the physics of crack initiation, propagation, branching and interaction is demonstrated in these studies, which are limited by the high computational cost of the phase-field models.

The methods of multiscale approach and data-driven methods have also gained more and more relevance. Naimark et al. [13] address scale-invariant regularities in the stages of fracture and laws of fatigue crack growth. Lucarini, Dunne and Martínez-Pañeda [14] propose a computational framework for micromechanical fatigue cracking by combining a crystal plasticity model and a phase field one. In the field of machine learning-based fatigue analysis, Melching et al. [5] are the ones who

applied explainable machine learning to fatigue crack-tip detection; Li et al. [15] used automated machine learning to predict fatigue crack propagation in marine structures; Zhan et al. [16] reviewed machine learning methods for fatigue behavior and fatigue crack growth prediction.

Overall, the literature indicates that there is no single computational solution that is generally superior. There are methods that are applicable to certain crack geometry, material behavior, loading, level of accuracy required, data available, and computational resources available. Thus, there is a need for a comparative selection framework. The TOPSIS method is appropriate for this purpose as it ranks the alternatives based on their distance from the ideal solution and negative-ideal solution [6].

3. Theoretical Basis of Fatigue Crack Growth Prediction

In linear elastic fracture mechanics, fatigue crack growth is commonly related to the stress intensity factor range:

$$\Delta K = Y\Delta\sigma\sqrt{\pi a} \quad (1)$$

where ΔK is the range of stress intensity factor, Y is the geometry correction factor, $\Delta\sigma$ is the cyclic stress range and a is the crack length.

A common expression for fatigue crack growth rate is:

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m \quad (2)$$

where $\frac{da}{dN}$ is the crack extension per loading cycle, C and m are material constants,

and N is the number of cycles.

The residual life can be estimated theoretically as follows:

$$N_f = \int_{a_i}^{a_c} \frac{da}{C(Y\Delta\sigma\sqrt{\pi a})^m} \quad (3)$$

In the equation above, N_f is the remaining number of cycles, a_i is the initial crack length, and a_c is the critical crack length.

These formulas explain the basic mechanics of fatigue crack growth. However, real materials often involve plasticity, variable loading, residual stresses, complex crack paths, and microstructural effects. For this reason, computational approaches are required to extend classical analytical models.

4. Comparative Analysis of Computational Approaches

Before applying the TOPSIS-based selection procedure, the main computational approaches should be compared in terms of their capabilities, limitations, and typical areas of use. The selected methods are listed in Table 1 based on their modeling principle, advantage, limitation and suitable application. This comparison serves as the basis to define the evaluation criteria used later in this multi-criteria decision-making framework.

Table 1. **Main computational approaches for fatigue crack growth prediction**

Approach	Main idea	Advantages	Limitations	Suitable use
FEM	Stress and strain analysis using finite elements	Reliable, widely used, interpretable	Crack growth may require remeshing	Known crack geometry and preliminary analysis
XFEM	Crack represented using enriched finite element functions	Models crack growth without continuous remeshing	More complex than FEM	Unknown or evolving crack paths
Continuum damage mechanics	Damage represented by internal variables	Suitable for distributed degradation	Requires damage parameters	Early-stage fatigue damage
Phase-field modeling	Crack represented as a diffused damage field	Handles initiation, branching, and multiple cracks	High computational cost	Complex crack evolution
Multiscale modeling	Links microstructure to macroscopic fracture	Captures microstructure-sensitive fatigue	Requires detailed material data	Advanced and heterogeneous materials
Machine learning	Data-driven crack prediction or detection	Fast after training	Requires reliable datasets; limited interpretability	Crack-tip detection and surrogate modeling

The comparison reveals that the selection of the method is dependent on the purpose and nature of the fatigue problem. When the geometry of the crack is known and simple to be described, FEM can be used for simple and interpretable analysis, and when the crack geometry is unknown or is changing with the time, XFEM is more suitable. The distributed degradation can be described by continuum damage mechanics while complex crack initiation, branching and interaction can be described by phase-field modeling. When microstructural effects matter the modeling approach

is multiscale, and when there are reliable datasets for prediction or surrogate modeling, machine learning may be applicable.

5. TOPSIS-Based Methodological Framework

TOPSIS ranks the alternatives by comparing their distance from the positive ideal solution and the negative ideal solution. In this paper, the alternatives are:

A_1 = FEM, A_2 = XFEM, A_3 = Continuum damage mechanics

A_4 = Phase-field modeling, A_5 = Multiscale modeling, A_6 = Machine learning

The evaluation criteria are shown in Table 2.

Table 2. TOPSIS evaluation criteria

Criterion	Description	Type	Weight
C_1	Prediction accuracy	Benefit	0.20
C_2	Crack-path modeling capability	Benefit	0.15
C_3	Damage modeling capability	Benefit	0.15
C_4	Applicability to complex geometry	Benefit	0.10
C_5	Required input data	Cost	0.10
C_6	Computational cost	Cost	0.10
C_7	Implementation simplicity	Benefit	0.10
C_8	Physical interpretability	Benefit	0.10

The decision matrix is written as:

$$X = [x_{ij}] \quad (4)$$

where x_{ij} is the score for alternative A_i according to criterion C_j .

The normalized matrix is calculated as:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (5)$$

where r_{ij} is the normalized value and m is the number of alternatives.

The weighted normalized matrix is:

$$V_{ij} = w_j r_{ij} \quad (6)$$

where w_j is the criterion weight.

The distance from the positive ideal solution is:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - A_j^+)^2} \quad (7)$$

The distance from the negative ideal solution is:

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - A_j^-)^2} \quad (8)$$

The closeness coefficient is:

$$CC_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (9)$$

The highest CC_i value indicates the most suitable alternative under the selected criteria and weights.

6. Illustrative Evaluation

In order to illustrate the proposed TOPSIS framework, an illustrative decision matrix is built based on the above defined criteria. The scores are based on a theoretical scale of 5 points and are only meant to demonstrate the ranking procedure and not be used as a general evaluation.

1 = very low suitability; 2 = low; 3 = moderate; 4 = high; 5 = very high.

Table 3. **Illustrative decision matrix**

Method	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
FEM	4	2	2	4	2	2	5	5
XFEM	4	4	3	4	3	3	3	4
Continuum damage mechanics	3	2	5	3	4	3	3	4
Phase-field modeling	5	5	5	5	4	5	2	4
Multiscale modeling	5	3	5	3	5	5	1	4
Machine learning	4	3	3	4	5	3	3	2

This matrix is used as an input data for TOPSIS calculation and helps to compare and rank the selected computational approaches.

After constructing the decision matrix, the TOPSIS procedure is applied to calculate the distance of each method from the positive and negative ideal solutions. Finally, the closeness coefficient CC_i is calculated and used to rank the computational approaches, as illustrated in Table 4.

Table 4. **Illustrative TOPSIS ranking**

Method	Di^+	Di^-	CC_i	Rank
Phase-field modeling	0.0567	0.0881	0.6082	1
XFEM	0.0528	0.0641	0.5483	2
FEM	0.0748	0.0795	0.5152	3
Multiscale modeling	0.0822	0.0659	0.4452	4
Continuum damage mechanics	0.0794	0.0618	0.4375	5
Machine learning	0.0741	0.0474	0.3900	6

The illustrative ranking shows that, based on the criteria and weights, phase-field modeling is the most appropriate approach. This result is primarily tied to its excellent modelling capabilities for crack initiation, branching and complicated crack evolution. XFEM is second as it has a moderate computational complexity and also can model the crack path. The simplicity, interpretability and engineering applicability of FEM make it important. In this example, machine learning has a lower score because the criteria focus on the physical interpretability and the data demands it.

7. Proposed Algorithm

The proposed procedure starts with problem definition as shown in Fig. 1. The fatigue analysis objective, material behavior, crack condition and loading type are determined at this stage. These inputs lead to the choice of candidate methods such as the finite element method (FEM), the extended finite element method (XFEM), continuum damage mechanics, phase-field modeling, multiscale modeling, and machine learning.

The next step is to establish criteria for evaluation including accuracy, crack path, damage modelling, computational cost, data requirements and interpretation. These are then used to build the decision matrix, and use the TOPSIS procedure. Lastly, the methods are compared by the closeness coefficient and the outcome is discussed bearing the assumptions, limitations and future needs for validation.

8. Discussion

In the proposed TOPSIS based framework, the selection of computational approaches is made more transparent because of the comparison of methods, which is done explicitly by means of the criteria, and not only by novelty. The outcomes demonstrate the area of suitability of each method. The model is suitable for complex crack evolution, unknown crack paths (XFEM), known crack geometries (FEM), distributed degradation (continuum damage mechanics), microstructure-sensitive fatigue (multiscale modeling), and data-rich prediction tasks (machine learning). At the same time, the ranking should be understood as conditional. It depends on the

chosen criteria, the weights assigned to these criteria, and the scoring assumptions. For instance, if simplicity and low computational cost are key considerations, then FEM is likely to be ranked higher. With good and sufficient data sets, machine learning can be more competitive. The framework can be improved in the future with the help of the expert scoring, sensitivity analysis, fuzzy TOPSIS, AHP-TOPSIS weighting and benchmark crack growth problems for validation purposes.

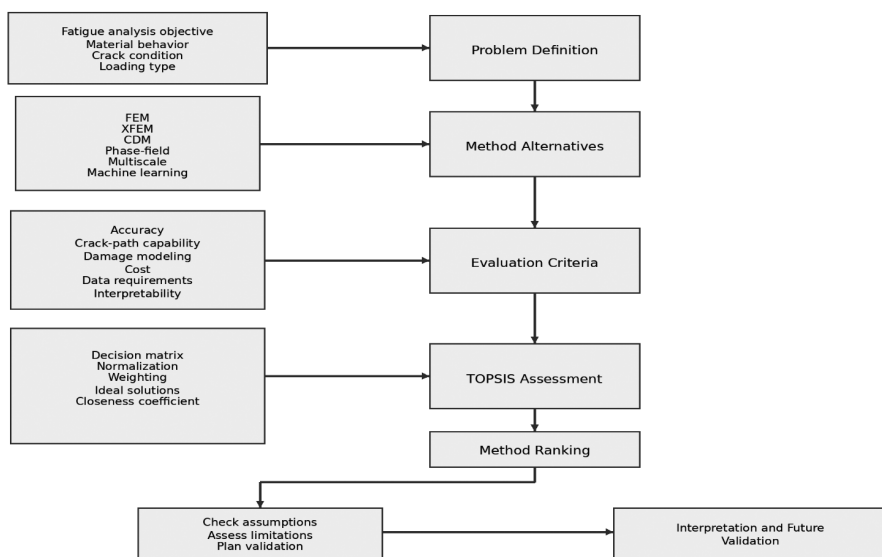


Fig. 1. Structural model for computational method selection

9. Conclusion

This paper proposed a TOPSIS-based framework for selecting computational approaches to fatigue crack growth prediction in engineering materials. The framework provides comparisons of methods based on accuracy, crack-path capability, damage representation, data requirement, computational cost, simplicity, and interpretability. The main conclusion is that method selection should depend on the characteristics of the fatigue problem rather than on the novelty of the method. Under the weights selected, the best results in the illustrative evaluation were obtained with phase-field modeling, followed by XFEM and FEM. This finding is not a universal one, but rather a methodological one. The proposed framework presents a clear and flexible computational method selection tool for preliminary computational method selection.

References:

1. Alshoaibi A. M., Fageehi Y. A. Advances in Finite Element Modeling of Fatigue Crack Propagation // *Applied Sciences*. — 2024. — Vol. 14, № 20. — Article 9297.
2. Moës N., Dolbow J., Belytschko T. A finite element method for crack growth without remeshing // *International Journal for Numerical Methods in Engineering*. — 1999. — Vol. 46. — P. 131–150.
3. Li H., Wang J., Wang J., Hu M., Peng Y. Continuum Damage Mechanics Approach for Modeling Cumulative-Damage Model // *Mathematical Problems in Engineering*. — 2021. — Vol. 2021. — Article 7136846.
4. Cui H., Du C., Zhang H. Applications of Phase Field Methods in Modeling Fatigue Fracture and Performance Improvement Strategies: A Review // *Metals*. — 2023. — Vol. 13, № 4. — Article 714.
5. Melching D., Strohmamm T., Requena G., Breitbarth E. Explainable Machine Learning for Precise Fatigue Crack Tip Detection // *Scientific Reports*. — 2022. — Vol. 12. — Article 9513.
6. Huang Y. S., Li W. H. A Study on Aggregation of TOPSIS Ideal Solutions for Group Decision-Making // *Group Decision and Negotiation*. — 2012. — Vol. 21. — P. 461–473.
7. Вансович К. А., Ядров В. И. Упругопластическое моделирование усталостных трещин // *Омский научный вестник*. — 2024. — № 1. — С. 20–27.
8. Стратула Б. А. Математическое моделирование усталостного разрушения при высокочастотных изгибных колебаниях образцов из титановых сплавов // *Математическое моделирование и численные методы*. — 2021. — № 4. — С. 45–57.
9. Yukun S., Tao M., Xiaoxin Z., Guangliang Z., Jialei Z., Peng Z. Research progress of fatigue crack propagation method based on finite element technology // *Advances in Mechanics*. — 2024. — Vol. 54, № 2. — P. 308–343.
10. Туманов А. В., Косов Д. А., Федоренков Д. И. Численно-экспериментальные методы определения параметров обобщенных моделей поврежденной вязкопластичной среды при прогнозировании долговечности // *Вестник ПНИПУ. Механика*. — 2024.
11. Yan S., Schreiber C., Müller R. An Efficient Implementation of a Phase Field Model for Fatigue Crack Growth // *International Journal of Fracture*. — 2022. — Vol. 237. — P. 47–60.

12. Kalina M., Schneider T., Brummund J., Kästner M. Overview of Phase-Field Models for Fatigue Fracture in a Unified Framework // *Engineering Fracture Mechanics*. — 2023. — Vol. 288. — Article 109318.
13. Наймарк О.Б., Оборин В.А., Банников М.В., Баяндин Ю.В. Автомодельные закономерности стадийности разрушения и степенные законы роста усталостных трещин // *Вестник ПНИПУ. Механика*. — 2024. — № 5. — С. 69–81.
14. Lucarini S., Dunne F. P., Martínez-Pañeda E. An FFT-Based Crystal Plasticity Phase-Field Model for Micromechanical Fatigue Cracking Based on the Stored Energy Density // *International Journal of Fatigue*. — 2023. — Vol. 172. — Article 107670.
15. Li P. et al. Research on Fatigue Crack Propagation Prediction for Marine Structures Based on Automated Machine Learning // *Journal of Marine Science and Engineering*. — 2024. — Vol. 12, № 9. — Article 1492.
16. Zhan Z. et al. Advances in Machine Learning for Predicting Fatigue Behavior: From Material Properties to Fatigue Life and Fatigue Crack Growth // *International Journal of Structural Integrity*. — 2025.

БИОЛОГИЯ

Наночастицы висмута и оксида висмута как объекты современных биомедицинских исследований

Кукса Алексей Дмитриевич, студент;

Потапова Ирина Анатольевна, кандидат химических наук, доцент

Научный руководитель: Языкова Марина Юрьевна, доктор биологических наук, профессор

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Наночастицы висмута привлекают всё большее внимание исследователей благодаря высокой биологической активности и относительной биосовместимости. В статье представлен обзор современных исследований, посвящённых применению наночастиц висмута и оксида висмута в борьбе с опухолевыми, бактериальными, грибковыми и паразитарными заболеваниями. Рассмотрены перспективы их использования для создания новых лекарственных препаратов и медицинских материалов.

Ключевые слова: наночастицы висмута; наночастицы оксида висмута; нанотехнологии; антибактериальность; противоопухолевая активность; биоплёнки.

Рост устойчивости микроорганизмов к лекарствам и высокая распространённость онкологических заболеваний остаются ключевыми проблемами современной медицины. Снижение эффективности терапии связано с антибиотикорезистентностью, формированием биоплёнок и ограниченной селективностью противоопухолевых препаратов. Многообещающим направлением считается применение металлических наночастиц, которые благодаря малым размерам и большой поверхности эффективно взаимодействуют с биологическими системами. Среди них отдельного внимания заслуживают наночастицы висмута, поскольку данный металл отличается сравнительно низкой токсичностью и уже давно используется в фармацевтической практике.

Лейшманиоз — паразитарное заболевание, вызываемым простейшими рода *Leishmania*, лечение которого ограничено токсичностью и устойчивостью к препаратам сурьмы, что стимулирует поиск новых средств.

В связи с этим были разработаны гидратированные наночастицы оксида висмута, стабилизированные меркаптоэтансульфонатом натрия. Они имели размер около 70 ± 23 нм и отрицательный дзета-потенциал ($-38,1$ мВ $\pm 5,5$ мВ) что обеспечивало их значительную коллоидную устойчивость.

В экспериментах *in vitro* они показали выраженную противолейшманиозную активность против *Leishmania amazonensis* и *Leishmania guyanensis*. Значения IC₅₀ для промастигот составили менее 46 наномолей, что значительно превосходило эффективность препарата Глюкантим. Существенное снижение жизнеспособности паразитов наблюдалось уже при 870 наномолях, при этом даже значительно более высокие концентрации Глюкантима оказывались менее эффективными.

Активность наночастиц подтверждена и против внутриклеточных амастигот: доля инфицированных клеток макрофагов снижалась до менее 50% (*L. amazonensis*) и с 70% до 52% (*L. guyanensis*) через 72 часа.

Дополнительно была проведена оценка цитотоксичности материала. Жизнеспособность перитонеальных макрофагов мышей сохранялась выше 90% на протяжении всего эксперимента, что делает их привлекательной основой для разработки новых противопаразитарных препаратов [4].

Злокачественные новообразования остаются одной из ведущих причин смертности, что требует разработки эффективных и малотоксичных противоопухолевых средств. Особый интерес представляют наночастицы оксида висмута (Bi_2O_3), обладающие биосовместимостью и возможностью поверхностной модификации для усиления биологических свойств.

В ходе исследования были синтезированы наночастицы Bi_2O_3 размером 12–16 нм и модифицированы биотинилированным β -циклодекстрином. Полученная наносистема характеризовалась хорошей дисперсностью и коллоидной устойчивостью, при дзета-потенциале +41,2 мВ, что свидетельствует о сниженной агрегации и стабильности частиц.

Противоопухолевая активность оценивалась методом МТТ-теста на клеточных линиях человека: HepG2 (рак печени), MCF-7 (рак молочной железы) и A549 (рак лёгкого) при концентрациях наночастиц 6,25–100 мкг/мл в течение 24 часов. Установлено дозозависимое снижение жизнеспособности клеток: для HepG2 — с 91,69% до 40,11%, для MCF-7 — с 68,78% до 41,57%, для A549 — с 67,45% до 44,58%. Существенное выраженное угнетение наблюдалось при 50–

100 мкг/мл. Значения IC₅₀ составили 62,34 мкг/мл (MCF-7), 67,36 мкг/мл (A549) и 76,74 мкг/мл (HepG2), что подтверждает выраженное противоопухолевое действие наносистемы.

Кроме того, модифицированные наночастицы проявляют антибактериальную активность в отношении как грамположительных, так и грамотрицательных бактерий. Диаметр зон ингибирования роста для *Staphylococcus aureus* составлял 17,54 мм, *Pseudomonas aeruginosa* — 15,31 мм, *Streptococcus pneumoniae* — 14,26 мм и *Klebsiella pneumoniae* — 12,23 мм. Модификация наночастиц создала многофункциональную наносистему, сочетающую противоопухолевые и антибактериальные свойства [1].

Метициллин-резистентный золотистый стафилококк (MRSA) является одним из наиболее опасных возбудителей внутрибольничных инфекций благодаря устойчивости к большинству β-лактамовых антибиотиков и способности образовывать биоплёнки. В исследовании 200 образцов от пациентов ожогового стационара было выделено 65 штаммов MRSA, которые характеризовались высокой антибиотикорезистентностью. Чувствительность к метициллину, рифампицину и ванкомицину составила 8, 4 и 3% соответственно, тогда как к ципрофлоксацину — 85%.

В качестве альтернативного антибактериального средства были исследованы биосинтезированные наночастицы оксида висмута (Bi₂O₃), полученные с использованием бактерии *Bacillus licheniformis* PTCC1320.

Наночастицы получали с использованием внеклеточных метаболитов микроорганизма и нитрата висмута. Спустя 7 суток инкубации наблюдали изменение окраски раствора с жёлтой на коричневую, что указывало на их образование. Сформированные частицы имели преимущественно кубическую форму и средний размер около 45–47 нм, что было подтверждено сканирующей электронной микроскопией и рентгеноструктурным анализом.

Антибактериальные свойства наночастиц оксида висмута изучали в диапазоне 100–1500 ppm. Показано дозозависимое действие: с ростом концентрации усиливалось подавление бактерий, а максимальный эффект (зона задержки роста 17 мм) наблюдался при 1500 ppm, что сопоставимо с активностью некоторых антибиотиков (гентамицин, цефалотин).

Дополнительно оценивали влияние наночастиц на формирование биоплёнок. У MRSA средняя оптическая плотность биоплёнки составляла 1,557, после ципрофлоксацина снижалась до 0,65, а при действии наночастиц оксида висмута — до 1,055, что указывает на частичное разрушение биоплёнки. Исследуемый наноматериал подавлял биоплёнкообразование у 16% штаммов,

при этом рост всех 65 планктонных изолятов ингибировался с увеличением концентрации наночастиц, что свидетельствует о его потенциале в качестве вспомогательного средства для лечения инфекций [3].

Загрязнение водоёмов органическими красителями и патогенными микроорганизмами остаётся серьёзной экологической проблемой. Особую опасность представляет метиленовый синий — стойкий краситель, устойчивый к биологическому разложению и способный накапливаться в окружающей среде. Дополнительную угрозу создают бактерии *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus*, часто обнаруживаемые в загрязнённых водах.

Для решения данной проблемы были синтезированы наноструктуры оксида висмута методом соосаждения, модифицированные поливинилпирролидоном (PVP) и хитозаном. Модификация была направлена на повышение каталитической и антибактериальной активности материала.

В качестве модификаторов наночастиц использовали PVP и хитозан (2 и 4%), что позволило увеличить количество активных центров на поверхности и улучшить функциональные свойства материала.

Каталитическую активность оценивали по степени разложения метиленового синего в присутствии боргидрида натрия при различных значениях pH. Наиболее эффективным оказался образец с PVP и 2% хитозана, обеспечивший деградацию красителя на 94,51% в кислой среде, 97,95% в нейтральной и 98,27% в щелочной. Высокая эффективность объясняется увеличением площади поверхности и количества активных центров. При этом каталитические свойства сохранялись не менее 72 часов.

Антибактериальные испытания показали, что модификация хитозаном и PVP усиливает бактерицидную активность оксида висмута. Наибольший эффект наблюдался для образца с 4% хитозана: зона ингибирования роста *Staphylococcus aureus* достигала 3,09 мм против 1,25 мм у немодифицированного оксида висмута. В отношении *Escherichia coli* антибактериальное действие возрастало до 1,25 мм после модификации наночастицами. Антибактериальное действие связывают с образованием активных форм кислорода и повреждением клеточных структур бактерий. Полученные наноструктуры представляют собой многообещающие материалы для очистки воды и разработки бактерицидных покрытий [2].

Бактериальные и грибковые инфекции остаются серьёзной проблемой, особенно из-за формирования биоплёнок, повышающих устойчивость микроорганизмов к антимикробным препаратам. В связи с этим активно исследуются

новые материалы, включая наночастицы висмута, обладающие антибактериальной и противогрибковой активностью.

В работе были получены наночастицы висмута методом химического восстановления, стабилизированные поливинилпирролидоном (PVP).

Для создания антимикробного материала были синтезированы наночастицы висмута, покрытые поливинилпирролидоном (PVP). Они имели сферическую форму, средний размер $8,4 \pm 6,7$ нм. Наночастицы демонстрировали высокую стабильность в водной среде (до 11 недель), тогда как исходные соединения висмута выпадали в осадок через несколько дней.

Антимикробная активность наночастиц висмута была изучена на *Staphylococcus aureus* и *Candida albicans*. Минимальная ингибирующая концентрация составила всего 1 мкг/мл для *S. aureus* и 16 мкг/мл для *C. albicans*, при этом активность была сопоставима или выше, чем у ряда традиционных антибиотиков и других металлических наночастиц.

Наночастицы висмута эффективно подавляли образование биоплёнок: IC50 составила 1,06 мкг/мл для *S. aureus* и 7,9 мкг/мл для *C. albicans*, что подтверждает их выраженное антимикробное действие в отношении планктонных клеток микроорганизмов, так и их биоплёночных форм.

Сканирующая электронная микроскопия показала, что наночастицы висмута нарушают формирование биоплёнок. У *S. aureus* снижались плотность и толщина биоплёночного слоя, появлялись клетки с изменённой морфологией, а при 8 мкг/мл биоплёнокообразование полностью подавлялось. У *C. albicans* нарушался переход в гифальную форму, а при 64 мкг/мл образование биоплёнок снижалось и наблюдались аномальные клетки. Это позволяет рассматривать наночастицы висмута как перспективную платформу для создания новых антимикробных материалов в медицине [5].

Вместе с тем для перехода от лабораторных исследований к клиническому применению необходимы дополнительные данные о долгосрочной безопасности наночастиц висмута, особенностях их взаимодействия с биологическими системами, фармакокинетики и механизмах биораспределения в организме. Несмотря на существующие ограничения, результаты рассмотренных исследований говорят о разнообразии биологических свойств наночастиц висмута и широких возможностях их использования при создании новых терапевтических, диагностических и многофункциональных наномедицинских платформ.

Литература:

1. Alex J. Surface Modification of Bi_2O_3 Nanoparticles with Biotinylated β -Cyclodextrin as a Biocompatible Therapeutic Agent for Anticancer and Antimicrobial Applications / J. Alex, T.V. Mathew // *Molecules*. — 2023. Vol. 28. — Article 3604.
2. Bari A. Evaluation of bactericidal potential and catalytic dye degradation of multiple morphology based chitosan/polyvinylpyrrolidone-doped bismuth oxide nanostructures / A. Bari, M. Ikram, A. Haider, A. Ul-Hamid, J. Haider, I. Shahzadi, G. Nazir, A. Shahzadi, M. Imran, A. Ghaffar // *Nanoscale Advances*. — 2022. Vol. 4. — P. 2713–2728.
3. Dalvand L. F. Inhibitory Effect of Bismuth Oxide Nanoparticles Produced by *Bacillus licheniformis* on Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* Strains (MRSA) / L. F. Dalvand, F. Hosseini, S. M. Dehaghi, E. S. Torbati // *Iranian Journal of Biotechnology*. — 2018. Vol. 16. — P. 280–286.
4. Grafov A. A Second Wind for Inorganic APIs: Leishmanicidal and Antileukemic Activity of Hydrated Bismuth Oxide Nanoparticles / A. Grafov, A. F. da Silva Chagas, A. de Freitas Gomes, W. Ouedrhiri, P. Cerruti, M. C. Del Barone, B. de Souza Mota, C. E. de Castro Alves, A. M. V. Brasil, A. M. R. F. Pereira et al. // *Pharmaceutics*. — 2024. Vol. 16. — Article 874.
5. Vazquez-Munoz R. Bismuth nanoparticles obtained by a facile synthesis method exhibit antimicrobial activity against *Staphylococcus aureus* and *Candida albicans* / R. Vazquez-Munoz, M. J. Arellano-Jimenez, J. L. Lopez-Ribot // *BMC Biomedical Engineering*. — 2020. Vol. 2. — Article 11.

Наночастицы оксида церия в биомедицине: современные исследования и перспективы применения

Кукса Алексей Дмитриевич, студент;

Языкова Марина Юрьевна, доктор биологических наук, профессор

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

В статье представлен обзор современных исследований, посвящённых применению наночастиц оксида церия в биомедицине. Рассмотрены основные направления их использования, включая лечение дегенеративных заболеваний, повышение эффективности медицинских имплантатов, защиту тканей от окислительного стресса, ускорение процессов регенерации и профилактику повреждений внутренних органов. Данные наночастицы обладают значительным потенциалом для создания новых терапевтических и медицинских технологий.

Ключевые слова: наночастицы оксида церия, нанотехнологии, тканевая инженерия, регенеративная медицина, биомедицина, наномедицина.

Окислительный стресс и хроническое воспаление лежат в основе развития большого числа заболеваний человека, включая дегенеративные процессы опорно-двигательной системы, хронические раны, поражения внутренних органов и нарушения репродуктивной функции. Несмотря на значительные успехи современной медицины, поиск эффективных средств, способных одновременно снижать уровень окислительного стресса, подавлять воспаление и стимулировать восстановление тканей, остаётся одной из актуальных задач науки.

Наночастицы оксида церия (CeO_2) представляют особый интерес благодаря способности ионов $\text{Ce}^{3+}/\text{Ce}^{4+}$ нейтрализовать активные формы кислорода и проявлять ферментоподобную активность. Это обеспечивает их антиоксидантные, противовоспалительные и цитопротекторные свойства, что определяет перспективность их применения в биомедицине.

Дегенерация межпозвоночных дисков относится к числу наиболее распространённых причин хронической боли в пояснице и ограничения подвижности у людей трудоспособного возраста. Заболевание развивается постепенно и сопровождается разрушением межклеточного матрикса, накоплением активных форм кислорода и нарушением работы митохондрий.

Для коррекции данных нарушений были разработаны наночастицы оксида церия с рапамицин, покрытые мембраной клеток пульпозного ядра, которые сохраняли стабильность в сыворотке крови более 4 суток.

В клеточной модели дегенерации, индуцированной интерлейкином IL-1 β , наночастицы снижали уровень активных форм кислорода, подавляли провоспалительные факторы (COX-2, MMP-13, ADAMTS-5) и усиливали синтез матрикса (COL2A1, ACAN), одновременно восстанавливая функцию митохондрий и активируя митофагию через путь PINK1/Parkin.

В экспериментах *in vivo* на 8-недельных самцах крыс дегенерацию дисков вызывали проколом межпозвоночного диска иглой, после чего еженедельно вводили по 10 мкл суспензии наночастиц концентрацией 50 мкг/мл. Через 4 и 8 недель у животных наблюдалось лучшее сохранение высоты межпозвоночного диска, более высокая интенсивность T2-сигнала на МРТ, снижение разрушения тканей и увеличение содержания коллагена II и агрекана по сравнению с контрольной группой. При этом в сердце, печени, лёгких, селезёнке и почках животных не было выявлено признаков токсичности, что указывает на перспективность использования данной системы в регенеративной терапии [3].

Циркониевые имплантаты широко используются в стоматологии благодаря прочности и биосовместимости, однако их биологическая инертность ограничивает остеоинтеграцию и способствует развитию воспалительных осложнений в периимплантатной зоне. Недостаточная интеграция с костной тканью и риск бактериальной колонизации приводят к снижению стабильности имплантатов и увеличению частоты их отторжения.

Одним из способов повышения эффективности циркониевых имплантатов является модификация их поверхности наночастицами оксида церия. В ходе исследования учёными была создана поверхность имплантата, представляющая собой структуру с микроканавками и нанопористым слоем, содержащим наночастицы оксида церия. Такая архитектура обеспечивала двухфазное высвобождение CeO₂: быстрый начальный выброс в первые часы и сутки после имплантации, за которым следовало пролонгированное высвобождение малых концентраций в течение нескольких недель.

Модифицированная поверхность *in vitro* улучшала клеточную адгезию: уже через 30, 60 и 120 минут количество прикрепившихся клеток было значительно выше по сравнению с контролем. Также наблюдался сдвиг макрофагов в противовоспалительный фенотип M2 и выраженный антибактериальный эффект. Одновременно усиливались остеогенные процессы: повышалась активность щелочной фосфатазы, остеогенных маркеров Runx2, Osterix, COL1A1 и минерализация внеклеточного матрикса, что свидетельствует об активной дифференцировке остеобластов.

В модели имплантации бедренной кости кролика через 4 и 12 недель отмечено улучшение остеоинтеграции: увеличение объёма костной ткани и число трабекул, снижалось межтрабекулярное расстояние. Гистологический анализ выявил более плотный контакт кости с имплантатом и минимальное воспаление по сравнению с немодифицированным цирконием, что подтверждает улучшение биологической активности циркониевых имплантатов за счёт наночастиц оксида церия [4].

Болденон — анаболический стероид, который широко используется в ветеринарии для ускорения роста животных, а также нередко спортсменами для увеличения мышечной массы. Под его действием снижается уровень половых гормонов, ухудшается состояние клеток, ответственных за образование сперматозоидов, что может приводить к бесплодию.

Для оценки защитного действия наночастиц оксида церия при воздействии болденона исследователи использовали 24 самца белых крыс, разделённых на четыре группы. В течение 8 недель одной группе вводили болденон (5 мг/кг), второй — наночастицы оксида церия (100 мкг/кг), третьей — их комбинацию, четвёртой (контрольной) — физиологический раствор.

Применение стероида приводило к выраженному нарушению антиоксидантной системы семенников: повышались уровни малонового диальдегида и оксида азота, а содержание восстановленного глутатиона и активность ферментов супероксиддисмутазы и каталазы снижались. Одновременно возрастали концентрации провоспалительных цитокинов TNF- α и IL-6, уменьшались уровни тестостерона, лютеинизирующего и фолликулостимулирующего гормонов. Гистологический анализ выявил сокращение числа зародышевых клеток, воспалительную инфильтрацию и практически полное отсутствие сперматозоидов в семенных канальцах.

Однако при совместном применении наночастиц оксида церия большинство выявленных нарушений значительно ослаблялось. Наночастицы снижали интенсивность воспаления, восстанавливали активность антиоксидантных ферментов и нормализовали гормональный фон. В тканях семенников уменьшалась степень повреждений, а в просвете семенных канальцев вновь обнаруживались сперматозоиды.

Установлено, что наночастицы оксида церия способны снижать уровень окислительного стресса и воспаления, препятствуя развитию репродуктивных нарушений, вызванных анаболическими стероидами [1].

Диабетические раны представляют собой тяжёлое осложнение сахарного диабета, сопровождающимся хроническим воспалением и нарушением процессов регенерации тканей.

В качестве перспективного решения предложено использование наночастиц оксида церия, функционализированных глюкозооксидазой, инкапсулированных в матрицу хитозан/поливиниловый спирт. Полученные гидрогели на их основе демонстрировали контролируемую деградацию: на 8 сутки потеря массы достигала 90,3%, что делает их удобными в качестве временных раневых покрытий.

Антимикробная активность гидрогелей была подтверждена в отношении *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus*: зоны ингибирования роста составляли 6,45–7,63 мм и 7,59–8,97 мм, что свидетельствует о способности материала подавлять бактериальную контаминацию раны.

В экспериментах на мышах с диабетическими ранами применение гидрогеля обеспечивало значительное ускорение заживления и практически полное закрытие раневого дефекта к 7-м суткам. Разработанный гидрогель сочетает антиоксидантные, ферментативные и антимикробные свойства, что расширяет спектр его использования в лечении диабетических ран [2].

Повреждение почек представляет собой серьёзную медицинскую проблему, возникающая при обструкции мочеточника и лекарственной нефротоксичности. Одним из ключевых факторов риска является применение нестероидных противовоспалительных препаратов, таких как ибупрофен, которые усиливают воспалительные процессы в почечной ткани.

В качестве защитного агента рассматривались наночастицы оксида церия. В эксперименте использовалась модель односторонней обструкции мочеточника у крыс (UUO), усиленная введением ибупрофена. В группе UUO + ибупрофен наблюдалось ухудшение функции почек, повышение уровней креатинина и мочевины, а также выраженные патологические изменения: дилатация канальцев, дегенерация клубочков и воспалительная инфильтрация. Введение наночастиц приводило к достоверному снижению биохимических маркеров повреждения и уменьшению гистопатологических изменений. У животных, получавших наночастицы, лучше сохранялась структура почечной ткани, снижалась воспалительная инфильтрация и степень канальцевой дегенерации, что указывает на их эффективность в качестве средства ранней защиты почечной ткани [5].

Несмотря на обнадеживающие результаты, для широкого внедрения наночастиц оксида церия в клиническую практику необходимы дальнейшие

исследования их долгосрочной биобезопасности, метаболизма, выведения из организма, оптимизации методов синтеза и функционализации. Тем не менее полученные данные позволяют рассматривать наночастицы оксида церия как перспективную платформу для создания новых средств диагностики, профилактики и лечения различных заболеваний.

Литература:

1. Hassan H. M. Potential effect of cerium oxide nanoparticles against boldenone-induced oxidative stress, inflammation, and reproductive dysfunction in male albino rats / H. M. Hassan, H. S. Mohammed, N. Anajirih, S. S. Soliman, F. S. Mohammed, A. A. Aldarmahi, A. Abdeen, S. Amer, E. E. ELwakeel, H. M. Abdelkareem, A. F. Rawan, M. Shukry, S. F. Ibrahim, M. Aldehri, A. M. Alshehri, M. F. Abdel-Rahman // Scientific Reports. — 2026. Vol. 16. — Article 17156.
2. Naomi L. G. A Glucose-Responsive CeO₂@GOx Nanozyme Embedded in Chitosan/PVA Hydrogel for Accelerated Diabetic Wound Healing: from Molecular Simulations to In Vivo Validation / L. G. Naomi, D. P. Putra, R. A. Prastika, A. M. Kautsari, D. S. T. Sutrisno, S. Hayaza, M. I. Barliana, W. Handayani, N. A. N. N. Malek, I. Syafarina // Nanotheranostics. — 2026. Vol. 10. — P. 75–92.
3. Niu Z. Membrane-camouflaged nanoparticle alleviates intervertebral disc degeneration via oxidative stress suppression and autophagy activation / Z. Niu, Y. Fan, J. Chen, L. Ji, Y. Tong, L. Yao, S. Ding, H. Xu, J. Chen, Q. Zhang, C. Zhao, J. Chen, Q. Bi, C. Xia // Materials Today Bio. — 2026. Vol. 38. — Article 103038.
4. Song J. Time-sequentially released bilayer sandwich cerium oxide nanoparticles on femtosecond laser-treated zirconia implant surface for enhanced antibacterial and osseointegration capacity / J. Song, W. Guo, X. He, W. Yang, Z. Yang, S. Dong, Y. Ma, K. Wang // Materials Today Bio. — 2026. Vol. 38. — Article 103206.
5. Toruk S. Protective effects of cerium oxide on ibuprofen-induced renal injury in rats with ureteral obstruction / S. Toruk, A. Babacan, M. Arslan, V. Şivgin, Ş. C. Sezen, H. Boyunağa // World Journal of Nephrology. — 2026. — Vol. 15. — Article 114142.

МЕДИЦИНА И ФАРМАКОЛОГИЯ

Особенности ночного сна, процессов засыпания и пробуждения у студентов медицинского вуза

Осина Полина Евгеньевна, студент

Научный руководитель: Ткаченко Павел Владимирович, доктор медицинских наук, профессор, зав. кафедрой

Курский государственный медицинский университет

В работе проанализированы физиологические параметры засыпания, ночного сна и пробуждения у 67 студентов медицинского вуза. Установлено, что у 67,2% опрошенных наблюдается смещение времени засыпания на период после полуночи. Более 80% респондентов в вечернее время используют устройства с экранами, что подавляет выработку мелатонина. У 40,3% зафиксировано засыпание в течение 10–20 минут, у 29,3% отмечены гипнагогические миоклонии и аналогичная доля — ощущение падения. Непрерывный сон до утра характерен для 52,2% участников. Только 38,8% просыпаются с чувством бодрости, тогда как остальные отмечают тревогу, усталость или раздражение. Полученные данные указывают на связь между нарушением гигиены сна и снижением его восстановительной эффективности.

Ключевые слова: сон, циркадные ритмы, гипнагогические феномены, студенты, гигиена сна.

Актуальность. Сон представляет собой циклическое функциональное состояние мозга, характеризующееся закономерной сменой электроэнцефалографических паттернов и специфическими изменениями. С позиций нормальной физиологии, сон обеспечивает восстановление гомеостаза, регуляцию иммунного ответа.

В связи с нагрузкой от учебного процесса и цифровизацией досуга, особый интерес представляет изучение физиологических характеристик сна у студентов. Именно эта возрастная группа наиболее подвержена влиянию факторов, нарушающих сон.

Цель исследования. На основе анализа субъективных ощущений и поведенческих паттернов дать физиологическую характеристику процессам засыпания, структуре ночного сна и особенностям пробуждения у молодежи.

Материалы и методы. Проведен социологический опрос (анкетирование), включавший блоки вопросов о хронотипе, гигиене сна, феноменах засыпания, глубине и фрагментации сна, а также о характеристиках сновидений и состоянии после пробуждения. В исследовании приняло участие 67 респондентов. Обработка данных проведена с использованием методов описательной статистики.

Результаты исследования. В опросе приняло участие 67 человек: женщин — 70,1% (47 респондентов), мужчины составили 29,9% (20 респондентов). Возрастной состав отражает специфику студенческой выборки: подавляющее большинство (76,1%) — молодые люди в возрасте 18–20 лет, 13,4% — 21–23 года, 4,5% — 23–25 лет, и по 3% пришлось на возрастные группы 15–17 лет и старше 25 лет. По роду занятий 64,2% составили студенты, обучающиеся без совмещения с работой, 25,4% совмещают учебу и работу, а 10,4% — только работают. Исследуемая выборка достаточно однородна и представляет собой группу молодых людей с высокой учебной и социальной нагрузкой.

Физиологической нормой для синхронизации циркадных ритмов является засыпание в период с 22:00 до 23:00, что соответствует пику секреции мелатонина эпифизом — ключевого гормона, обеспечивающего запуск и поддержание сна. Однако анализ полученных данных показал существенное отклонение от этой нормы: лишь 28,4% респондентов ложатся спать в интервале 22:00–00:00. Подавляющее большинство опрошенных (59,7%) засыпают в период 00:00–02:00, а 7,5% — после 02:00. Лишь 4,5% соблюдают наиболее физиологичный режим с отходом ко сну до 22:00. Полученные данные свидетельствуют о выраженном сдвиге циркадного пика и формировании синдрома задержки фазы сна у 67,2% респондентов [1].

Ключевым патогенным звеном выступает нарушение сенсорной депривации перед сном. Почти половина опрошенных (47,8%) используют перед сном экраны мобильных устройств для просмотра «рилсов» и видео, 13,4% заняты перепиской, 13,4% — учебой, 7,5% смотрят телевизор. Более 80% респондентов подвергаются воздействию синего спектра света в вечерние часы. Это крайне неблагоприятный фактор: свет синего спектра (длина волны 450–480 нм) через меланопсин-содержащие ганглиозные клетки сетчатки подавляет секрецию мелатонина пинеалоцитами, что проявляется увеличением латентного периода засыпания, снижением представленности наиболее важных для восстановле-

ния стадий медленноволнового сна (дельта-сон) и, как следствие, недостаточностью восстановительных процессов в центральной нервной системе [3].

Переход от бодрствования ко сну — состояние сомноленции — в норме характеризуется сенсорным покоем и появлением сноподобных гипнагогических галлюцинаций, отражающих постепенное торможение коры больших полушарий при сохранении активности подкорковых структур. В нашем исследовании выявлены следующие особенности этого процесса.

Быстрое засыпание (менее 10 минут) отметили 40,3 % респондентов, и столько же (40,3%) сообщили о засыпании в течение 10–20 минут. Быстрое засыпание может показаться положительным показателем, однако с физиологической точки зрения такая скорость (менее 10 минут) может указывать на высокую степень утомления или хроническую депривацию сна. Умеренное увеличение латентного периода (10–20 минут), зафиксированное у 40,3% опрошенных, наиболее близко к физиологической норме. 17,9% тратят на засыпание 20–40 минут, а 1,5% — более 40 минут. Результаты свидетельствуют о преобладании тонической активации коры больших полушарий, когда процессы торможения не могут своевременно возобладать над возбуждением, часто вследствие продолжающейся обработки информации, полученной от цифровых устройств, либо вследствие повышенного уровня тревожности [4].

Особого внимания заслуживает высокая частота встречаемости специфических гипнагогических феноменов, которая является физиологически значимой и отражает сложные процессы торможения в ЦНС. Вопрос о феноменах при засыпании допускал множественный выбор, поэтому общее количество ответов составило 92. Гипнагогические миоклонии — резкие вздрагивания — отметили 29,3% опрошенных. С позиций нейрофизиологии это результат конкурентных взаимодействий соматосенсорной системы и ретикулярной формации при отключении коры: спонтанный разряд в двигательных нейронах может восприниматься как резкое движение, вызывая кратковременное пробуждение и прерывая процесс засыпания. Распространенным оказалось ощущение падения в пустоту (29,3%), которое связано с сенсорной атаксией — рассогласованием проприоцептивной чувствительности и сигналов вестибулярного аппарата. Наименее частым являются зрительные и слуховые галлюцинации засыпания (15,2%), представляющие собой проявление спонтанной активности затылочной и височной коры. 26,1% респондентов не испытывают никаких из перечисленных феноменов, что также укладывается в рамки нормы [2].

После наступления сна, его дальнейшее течение и стабильность определяют качество ночного отдыха. Одним из ключевых показателей стабильности сна

является количество ночных пробуждений. Физиологическим считается 2–3 кратковременных пробуждения, о которых человек, как правило, не помнит утром. Более половины респондентов (52,2%) продемонстрировали стабильный, непрерывный сон (не просыпаются до утра), что является оптимальным показателем; 41,8% просыпаются один раз за ночь с быстрым последующим засыпанием; лишь у 6% наблюдается 2–3 пробуждения за ночь. Полное отсутствие респондентов с пробуждениями более 3 раз свидетельствует о том, что в исследуемой группе не выявлено клинически выраженных нарушений сна [4].

Важно проанализировать не только количество, но и причины пробуждений. Вопрос допускал множественный выбор, общее количество ответов составило 98. «Сон обрывается сам по себе» (20,4%) и пробуждение от эмоций сновидения (14,3%). Эти феномены указывают на высокую активность лимбической системы — в первую очередь миндалевидного тела и гиппокампа. Возможно, это свидетельствует о преобладании REM-фазы с ее яркой эмоциональной насыщенностью. Экзогенные факторы, такие как реакция на внешние шумы и свет (17,3%), а также на звуковое оповещение с улицы (8,2%), могут быть усилены у лиц с поверхностным сном или недостаточной глубиной торможения сенсорных зон коры. Спонтанные пробуждения от позывов к мочеиспусканию (12,2%). Пробуждения, связанные с чувством страха или тревоги (8,2%), отражают эмоциональный компонент и могут коррелировать с уровнем стресса. Обращает на себя внимание высокий процент ответов «Другое» (19,4%), что может указывать на многообразие индивидуальных причин пробуждений [3].

С REM-фазой сна связаны сновидения и важнейшие процессы переработки информации. Наличие сновидений является маркером полноценной реализации парадоксального сна, характеризующегося быстрыми движениями глаз и полной атонией скелетных мышц. Большинство респондентов (37,3%) видят яркие, цветные, радостные сны, что соответствует нормальной деятельности мозга. Значительная часть опрошенных (31,3%) характеризуют свои сны как «странные», с непонятными образами и сюжетами — это может отражать сложные ассоциативные процессы и интеграцию разнородной информации в коре больших полушарий во время быстрого сна. Кошмары и сны-погони встречаются у 11,9% респондентов, что может быть признаком повышенной тревожности. Лишь 3% видят серые, блеклые, скучные сны, а 16,4% не помнят сны вообще — последнее может быть связано как с индивидуальными особенностями памяти на сновидения, так и с пробуждением преимущественно из медленноволнового сна, для которого воспоминания о снах не характерны [1].

Помимо типичных фаз сна, в исследуемой группе выявлены феномены, относящиеся к парасомниям — необычным поведенческим и чувственным проявлениям, связанным со сном. Жестикюляции или вставания с кровати: 52,2% отсутствуют у опрошенных, 35,8% отмечают, что это бывает редко, а 11,9% сообщают о регулярных эпизодах. Регулярность может указывать на неполное пробуждение с диссоциацией между двигательной активностью и сознанием. Значительный интерес представляет сонный паралич — невозможность совершить произвольные движения при пробуждении. Этот физиологический феномен связан с диссоциацией между пробуждением коры и сохранением мышечной атонии, характерной для REM-фазы. Регулярно испытывают сонный паралич 10,4% респондентов, еще 17,9% сталкиваются с ним редко, что в сумме составляет почти треть опрошенных (28,3%). Такая распространенность может указывать на частые нарушения архитектоники сна и резкие переходы между его стадиями. Заслуживают внимания вегетативные реакции при пробуждении: сильное сердцебиение, пот, озноб отмечают 10,4% опрошенных, что может указывать на активацию симпатoadреналовой системы в момент перехода от сна к бодрствованию. Галлюцинаторные феномены при пробуждении (видение или слышание того, чего нет в комнате) встречаются у 10,4% и также относятся к спектру парасомний, связанных с REM-фазой. Важно отметить, что 61,2% респондентов не испытывают никаких из перечисленных феноменов при пробуждении [3].

Завершающий этап цикла — пробуждение — имеет не меньшее физиологическое значение, чем засыпание и сам сон. Переход от сна к бодрствованию представляет собой процесс десинхронизации коры, который протекает по-разному и критически зависит от того, на какую фазу сна пришлось пробуждение. У 43,3% опрошенных этот процесс протекает легко (легкое пробуждение по будильнику), что соответствует пробуждению из REM-фазы или поверхностных стадий медленного сна. У 32,8% «очень тяжело встают», а 10,4% не слышат будильник вовсе, что физиологически может быть следствием пробуждения из глубокого дельта-сна (III стадия медленного сна), характеризующегося высоким порогом пробуждения и замедленным включением корковых структур в активную деятельность. 13,4% опрошенных просыпаются самостоятельно задолго до будильника — это может быть связано как с индивидуальными особенностями циркадных ритмов (утренний хронотип), так и с повышенным уровнем тревожности или действием стрессорных факторов [2].

Наиболее интегративным показателем качества сна является субъективное ощущение после пробуждения, отражающее полноту восстановительных про-

цессов, протекавших в ночное время. Полученные данные демонстрируют неоднородность исследуемой группы: 38,8% просыпаются бодрыми и отдохнувшими, что является оптимальным показателем и свидетельствует о достаточной эффективности сна у данной части респондентов. Однако значительная часть опрошенных (28,4%) просыпаются с тревожными мыслями, что может указывать на повышенный уровень кортизола. Почти четверть респондентов (22,4%) испытывают чувство разбитости, свидетельствующее о недостаточности восстановительных процессов в ЦНС и мышечной системе. 10,4% просыпаются в состоянии агрессии или раздражения, что может быть косвенным признаком дисфункции выработки серотонина, регулирующей настроение и эмоциональный фон. Более 60% респондентов не достигают оптимального состояния после пробуждения, что указывает на недостаточную эффективность восстановительных процессов во сне у значительной части обследованных молодых людей [4].

Анализ качественных ответов на вопрос о содержании сновидений (34 ответа) выявил ряд интересных закономерностей. Сновидения часто отражают переживания респондентов: учеба (экзамены, зачеты, преподаватели), межличностные отношения (партнеры, друзья, бывшие), повседневные события. Характерной особенностью является высокая эмоциональная насыщенность сновидений, появление необычных, сюрреалистических сюжетов, что соответствует возрастным особенностям и высокой пластичности нервной системы в молодом возрасте [3].

Заключение. Проведенный анализ физиологических параметров сна в исследуемой группе молодых людей ($n=67$) выявил ряд закономерностей и отклонений, имеющих значение для понимания адаптационных возможностей организма в условиях современных образовательных и социальных нагрузок. У 67,2% респондентов наблюдается сдвиг циркадных ритмов с засыпанием позднее физиологически оптимального времени, что в 47,8% случаев сочетается с использованием электронных устройств перед сном, а суммарно более 80% подвергаются воздействию синего спектра света в вечерние часы.

Выявлена значительная частота гипнагогических феноменов: миоклонии и ощущение падения встречаются по 29,3%, что отражает особенности процессов торможения в ЦНС и может быть связано с переутомлением. Большинство респондентов (52,2%) имеют стабильный непрерывный сон, что является благоприятным показателем, но лишь 38,8% чувствуют себя бодрыми и отдохнувшими, тогда как остальные испытывают тревогу, разбитость или раздражение.

Выявлена прямая связь между нарушением гигиены сна (использование гаджетов, поздний отход ко сну) и качеством последующего пробуждения.

Полученные данные могут служить основой для разработки физиологически обоснованных рекомендаций по коррекции режима сна-бодрствования с целью оптимизации восстановительных процессов в организме у молодежи.

Литература:

1. Влияние гигиены сна на качество ночного сна и дневную сонливость у студентов-медиков / Л. С. Войцев, О. Н. Павлова, А. В. Захаров, О. Н. Гуленко // Современные вопросы биомедицины. — 2025. — Т. 9, № 3 (33).
2. Мирманова, И. М. Сон. Влияние сна на психоэмоциональное, умственное, физическое состояние / И. М. Мирманова, А. В. Болонина // Столица науки. — 2020. — № 9 (26). — С. 9–12.
3. Ткаченко, П. В. Корреляционные взаимоотношения межполушарной асимметрии амплитудно-временных характеристик компонентов зрительных вызванных потенциалов и показателей уровня бимануальной координации движений / П. В. Ткаченко // Вестник новых медицинских технологий. — 2008. — Т. 15, № 3. — С. 180–182.
4. Ткаченко, П. В. Уровни бимануальной координации и некоторые дифференциально-психофизиологические аспекты двигательной активности / П. В. Ткаченко // Курский научно-практический вестник Человек и его здоровье. — 2006. — № 4. — С. 17–23.

Сравнительная эффективность и безопасность ингибиторов P2Y₁₂ у пациентов после инфаркта миокарда. Выбор между клопидогрелом, прасугрелом и тикагрелором

Серов Иван Сергеевич, аспирант

Ивановский государственный медицинский университет

Цель. Провести сравнительный анализ фармакологических и клинических свойств ингибиторов P2Y₁₂ (клопидогрела, прасугрела и тикагрелора) и на основе современных клинических рекомендаций актуализировать подходы к их выбору у пациентов, перенесших инфаркт миокарда.

Методы. В обзоре сопоставлены фармакодинамические профили препаратов, обобщены результаты ключевых рандомизированных исследований (PLATO,

TRITON-TIMI 38, ISAR-REACT 5, TROPICAL-ACS), а также проанализированы обновлённые положения Европейского общества кардиологов (ESC).

Результаты. Продemonстрировано преимущество прасугрела и тикагрелора перед клопидогрелом у пациентов, подвергающихся чрескожным коронарным вмешательствам (ЧКВ). Определены клинические ограничения для безопасного применения прасугрела. Систематизированы критерии и сроки плановой дезэскалации антитромбоцитарной терапии с учётом современных рекомендаций.

Заключение. Выбор конкретного ингибитора P2Y₁₂ должен основываться на персонализированной оценке баланса ишемического и геморрагического рисков с использованием критериев ARC-HBR; при этом дезэскалация терапии в первые 30 дней после острого коронарного синдрома не рекомендуется.

Ключевые слова: инфаркт миокарда, острый коронарный синдром, двойная антитромбоцитарная терапия, ингибиторы P2Y₁₂, клопидогрел, прасугрел, тикагрелор.

Введение

Современные клинические рекомендации ESC и ACC/AHA постулируют необходимость назначения ДАТТ (ацетилсалициловая кислота + ингибитор P2Y₁₂) сроком на 12 месяцев после острого коронарного синдрома (ОКС) с подъемом и без подъема сегмента ST. Однако за формальным равенством классов рекомендаций скрываются принципиальные различия в фармакодинамике, клинических исходах и профиле безопасности клопидогрела, прасугрела и тикагрелора [1, 2].

Фармакокинетические и фармакодинамические различия: почему это важно

Ключевой недостаток клопидогрела — его статус пролекарства. Для превращения в активный метаболит требуются две последовательные реакции окисления с участием изоферментов цитохрома P450, в первую очередь CYP2C19. Это обуславливает замедленное начало действия: пик ингибирования агрегации тромбоцитов достигается через 6 часов после нагрузочной дозы 300 мг и через 2–4 часа при использовании дозы 600 мг. Кроме того, наблюдается высокая вариабельность ответа: носители аллеля пониженной функции CYP2C19*2 (распространенность промежуточных и медленных метаболизаторов достигает 30% в европейской популяции) имеют значительно более высокий риск тромботических событий, включая тромбоз стента [3, 4].

Прасугрел и тикагрелор лишены этого недостатка, однако различаются по механизму действия. Прасугрел, также являясь пролекарством, требует лишь

одного этапа окисления системой цитохромов (после быстрого гидролиза эстеразами в кишечнике промежуточный тиолактон окисляется CYP3A4 и CYP2B6), поэтому его активация не зависит от полиморфизма CYP2C19. Как и клопидогрел, он относится к тиенопиридинам и необратимо блокирует рецептор тромбоцита. Время наступления эффекта значительно сокращено по сравнению с клопидогрелом — от 30 минут до 1 часа. Стандартная доза составляет 10 мг 1 раз в сутки; для пациентов старше 75 лет или с массой тела менее 60 кг предусмотрена редуцированная доза 5 мг [5].

Тикагрелор представляет собой принципиально иной класс — циклопентилтриазолопиримидин. Это активное вещество, не требующее обязательной метаболической активации (хотя его основной метаболит AR-C124910XX также фармакологически активен), что обеспечивает максимально быстрое начало и, что более важно, завершение антитромбоцитарного эффекта благодаря обратимому аллостерическому антагонизму к рецептору P2Y₁₂. Тикагрелор принимается дважды в сутки по 90 мг, не требует коррекции дозы при почечной недостаточности, но метаболизируется изоферментом CYP3A4, что создает риск межлекарственных взаимодействий (например, с мощными индукторами или ингибиторами CYP3A4) [6].

Доказательная база: эффективность и безопасность в цифрах

Исследования CURE и COMMIT исторически закрепили преимущество ДАТТ с клопидогрелом перед монотерапией аспирином. Однако в эру «сильных» ингибиторов P2Y₁₂ клопидогрел рекомендуется только в ситуациях, когда прасутрел или тикагрелор недоступны или противопоказаны [1]. Его главное клиническое преимущество — наиболее благоприятный профиль безопасности в отношении риска кровотечений, что делает его препаратом выбора у коморбидных пациентов с высоким геморрагическим риском [7, 8].

В исследовании PLATO (n = 18 624) тикагрелор превзошел клопидогрел по снижению комбинированной первичной конечной точки (смерть от сосудистых причин, инфаркт миокарда, инсульт): 9,8% против 11,7% (ОР 0,84; 95% ДИ 0,77–0,92; p < 0,001). Ключевым отличием от других препаратов стало достоверное снижение относительного риска общей смертности на 22% (4,5% против 5,9%; ОР 0,78; p < 0,001), а также сердечно-сосудистой смертности (4,0% против 5,1%; p = 0,001). Частота определенных тромбозов стентов снизилась на 33%. При этом общая частота больших кровотечений по критериям исследования достоверно не различалась (11,6% против 11,2%; p = 0,43), однако отмечен рост не связанных с аортокоронарным шунтированием больших кровотечений по критериям TIMI (2,8% против 2,2%; p = 0,03) и по критериям PLATO (4,5%

против 3,8%; $p = 0,03$). Характерные побочные эффекты тикагрелора, не связанные с гемостазом, включают одышку (13,8% против 7,8% в группе клопидогрела) и бессимптомные желудочковые паузы ≥ 3 секунд на ЭКГ в первую неделю терапии (5,8% против 3,6%; $p = 0,01$) [5–10].

В исследовании TRITON-TIMI 38 ($n = 13\,608$) прасугрел продемонстрировал наиболее выраженное снижение ишемических событий. Комбинированная первичная конечная точка составила 9,9% в группе прасугрела против 12,1% в группе клопидогрела (ОР 0,81; 95% ДИ 0,73–0,90; $p < 0,001$). Особенно значимым было снижение частоты определенных или вероятных тромбозов стентов на 52% (1,1% против 2,4%; ОР 0,48; $p < 0,001$). Это делает прасугрел препаратом выбора при анатомически сложных чрескожных коронарных вмешательствах (ЧКВ) и высоком риске тромбоза стента. Однако данная эффективность была достигнута ценой достоверного увеличения геморрагических осложнений: общая частота больших кровотечений по критериям TIMI составила 2,4% против 1,8% (ОР 1,32; $p = 0,03$), включая рост фатальных кровотечений (0,4% против 0,1%; $p = 0,002$). Пост-хок анализ выявил три группы пациентов с высоким риском геморрагических осложнений: возраст ≥ 75 лет, масса тела < 60 кг, а также перенесённые в анамнезе острое нарушение мозгового кровообращения (ОНМК) или транзиторная ишемическая атака (ТИА). При наличии ОНМК или ТИА в анамнезе применение прасугрела приводило к чистому клиническому вреду, в связи с чем данное состояние является абсолютным противопоказанием. У пожилых и маловесных пациентов клиническая польза препарата нивелировалась за счет роста геморрагических рисков. В то же время у пациентов без указанных факторов риска (базовая когорта) чистая клиническая выгода прасугрела была максимальной, особенно в подгруппе с сахарным диабетом, где польза была выраженной без дополнительного увеличения риска больших кровотечений [5, 11].

Клинический выбор: от универсального подхода к стратификации риска

Универсального «лучшего» антиагреганта не существует. Выбор определяется тремя факторами: тромботическим риском, геморрагическим риском и индивидуальной переносимостью.

Выбор при ОКС с ЧКВ. Согласно действующим рекомендациям ESC по ведению острых коронарных синдромов (2023), более мощные ингибиторы P2Y₁₂ (прасугрел и тикагрелор) имеют строгий приоритет перед клопидогрелом (класс рекомендаций I, уровень доказательности B). При этом у пациентов, направляемых на ЧКВ, прасугрел предпочтительнее тикагрелора (класс рекомендаций IIa, уровень доказательности B) [3–14].

Прасургел (10 мг/сут) является препаратом первой линии для «базового» пациента (моложе 75 лет, масса тела >60 кг, без ОНМК/ТИА в анамнезе), у которого известна анатомия коронарного русла и запланировано стентирование. Его ключевое преимущество — максимальная защита от тромбоза стента и рецидива инфаркта миокарда у пациентов с сахарным диабетом и при многосудистом поражении коронарных артерий.

Тикагрелор (90 мг 2 раза в сутки) выступает в качестве альтернативы прасургелу при ЧКВ у пациентов, не подходящих под критерии «базовой когорты» прасургела (например, с ОНМК в анамнезе), а также остается препаратом выбора при исходно высоком риске смерти, тяжелой почечной недостаточности (не требует коррекции дозы) или при выборе консервативной стратегии лечения ОКС. Важно отметить, что рутинное назначение тикагрелора до выполнения коронароангиографии (претретмент) при ОКС без подъема сегмента ST в настоящее время не рекомендуется (класс III) [2–11].

Клопидогрел остается препаратом резерва для пациентов с исходно высоким геморрагическим риском (соответствие критериям ARC-HBR), при наличии строгих противопоказаний к более активным антиагрегантам, их индивидуальной непереносимости или высокой стоимости лечения [3–9].

Особые клинические ситуации. У пациентов старше 75 лет прасургел в стандартной дозе 10 мг ассоциирован с высоким риском кровотечений без дополнительной ишемической пользы, поэтому при необходимости его назначения рекомендации ESC 2023 предписывают использовать редуцированную дозу 5 мг/сут. При массе тела менее 60 кг снижение поддерживающей дозы прасургела до 5 мг/сут является строго обязательным (класс рекомендаций I). Тикагрелор и клопидогрел не требуют коррекции дозы в зависимости от возраста и массы тела [11–14].

При наличии ОНМК или ТИА в анамнезе прасургел абсолютно противопоказан из-за доказанного чистого клинического вреда; препаратом выбора в данном случае выступает тикагрелор [10–14].

У пациентов с риском случайного пропуска доз (особенно при двукратном режиме приёма) тикагрелор имеет фармакодинамическую уязвимость: из-за обратимого характера связывания с рецептором антитромбоцитарный эффект существенно снижается уже через 24–48 часов после последней принятой дозы. Необратимые ингибиторы (прасургел и клопидогрел) обеспечивают более стабильный блок на протяжении всего жизненного цикла тромбоцита (5–7 дней), что делает их кинетически более «прощающими» при единичных погрешностях в режиме приёма. Однако общая низкая приверженность к терапии оста-

ётся критическим фактором риска тромбоза стента для любого из препаратов [9–13].

Деэскалация терапии — управляемый компромисс. Концепция перехода с прасутрела или тикагрелора на клопидогрел через 1–3 месяца после ОКС (guided или unguided de-escalation) позволяет уменьшить геморрагические риски без критического повышения ишемических событий. При этом проведение деэскалации в первые 30 дней после индексного события не рекомендуется ввиду крайне высокого риска ранних атеротромботических осложнений [9–13].

Исследование TROPICAL-ACS ($n = 2610$) продемонстрировало, что стратегия деэскалации под контролем агрегометрии (Multiplate) не уступает стандартной терапии прасутрелом в течение 12 месяцев по комбинированной конечной точке (сердечно-сосудистая смерть, инфаркт миокарда, инсульт, кровотечение ≥ 2 по шкале BARC): 7,3% против 9,0% (p для не меньшей эффективности $< 0,001$). Современные рекомендации ESC (2023) признают возможность деэскалации в качестве альтернативной стратегии снижения геморрагического риска с высоким классом рекомендаций IIa (уровень доказательности A). Это открывает возможность начинать терапию с мощного антиагреганта в остром периоде с последующим контролируемым переходом на более безопасный клопидогрел у пациентов, стабильно перенесших первый месяц, но сохраняющих высокий риск кровотечений [7–14].

Заключение

Эволюция антитромбоцитарной терапии привела к формированию трехступенчатой системы: клопидогрел (базовая безопасность) → тикагрелор (альтернативный мощный агент с доказанным снижением смертности) → прасутрел (приоритетный выбор при ЧКВ для максимальной защиты стента). Выбор препарата после инфаркта миокарда должен основываться не на «силе» антиагреганта как таковой, а на расчете чистой клинической выгоды и персонализированной оценке баланса ишемических и геморрагических рисков для конкретного пациента [7–12].

Алгоритм принятия решения можно представить следующим образом.

1. Оценка ишемического риска: наличие сахарного диабета, анатомически сложного ЧКВ, многососудистого поражения и рецидивирующих тромботических событий в анамнезе.
2. Оценка геморрагического риска с использованием стандартизованных критериев ARC-HBR.

Далее полученные данные сопоставляются для выбора оптимальной стратегии:

— При высоком ишемическом и низком геморрагическом риске («базовый» пациент без противопоказаний) препаратом выбора при ЧКВ является прасугрел.

— При высоком ишемическом риске, но наличии ограничений к прасугрелу (например, ОНМК или ТИА в анамнезе), либо при консервативной стратегии ведения и низком или умеренном геморрагическом риске назначается тикагре-лор.

— При высоком геморрагическом риске (соответствие критериям ARC-HBR) препаратом выбора изначально становится клопидогрел.

— У пациентов, успешно перенесших острый период (первые 30–90 дней) без повторных ишемических событий, но с тенденцией к росту геморрагических осложнений, целесообразно рассмотреть плановую дезэскалацию с переходом на клопидогрел через 1–3 месяца от начала терапии (класс рекомендаций IIa, уровень доказательности A).

Литература:

1. Secondary prevention of acute coronary syndromes: a summary of the new 2025 Australian guideline / J. Just, D. Brieger, A. Bennett, T. Briffa // Australian Prescriber. — 2026. — Vol. 49. — P. 30–35. — DOI: 10.18773/austprescr.2026.008.
2. International Consensus Statement on Platelet Function and Genetic Testing in Percutaneous Coronary Intervention: 2024 Update // JACC: Cardiovascular Interventions. — 2024. — Vol. 17, No. 22. — DOI: 10.1016/j.jcin.2024.08.027.
3. Clinical Pharmacogenetics Implementation Consortium guidelines for CYP2C19 genotype and clopidogrel therapy: 2013 update / S.A. Scott, K. Sangkuhl, C. M. Stein [et al.] // Clinical Pharmacology & Therapeutics. — 2013. — Vol. 94, No. 3. — P. 317–323. — DOI: 10.1038/clpt.2013.105.
4. Defining high bleeding risk in patients undergoing percutaneous coronary intervention: a consensus document from the Academic Research Consortium for High Bleeding Risk / P. Urban, R. Mehran, R. Colleran [et al.] // European Heart Journal. — 2019. — Vol. 40, No. 31. — P. 2632–2653. — DOI: 10.1093/eurheartj/ehz372.
5. P2Y12 Inhibitors for Non — ST-Segment Elevation Acute Coronary Syndrome: A Systematic Review and Network Meta-Analysis / T. Fujisaki, T. Kuno, A. Briasoulis [et al.] // Texas Heart Institute Journal. — 2023. — Vol. 50, No. 3. — Art. e227916. — DOI: 10.14503/THIJ-22-7916.

6. Greater Clinical Benefit of More Intensive Oral Antiplatelet Therapy With Prasugrel in Patients With Diabetes Mellitus in the Trial to Assess Improvement in Therapeutic Outcomes by Optimizing Platelet Inhibition With Prasugrel — Thrombolysis in Myocardial Infarction 38 / S.D. Wiviott, E. Braunwald, D.J. Angiolillo [et al.] // *Circulation*. — 2008. — Vol. 118, No. 16. — P. 1626–1636. — DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.108.791061.
7. Guided de-escalation of antiplatelet treatment in patients with acute coronary syndrome undergoing percutaneous coronary intervention (TROPICAL-ACS) / D. Sibbing, D. Aradi, J. Jacobshagen [et al.] // *The Lancet*. — 2017. — Vol. 390, No. 10104. — P. 1747–1757. — DOI: 10.1016/S0140-6736(17)32155-4.
8. Prasugrel versus Clopidogrel in Patients with Acute Coronary Syndromes / S.D. Wiviott, E. Braunwald, C.H. McCabe [et al.]; TRITON-TIMI 38 Investigators // *The New England Journal of Medicine*. — 2007. — Vol. 357, No. 20. — P. 2001–2015. — DOI: 10.1056/NEJMoa0706482.
9. Ticagrelor or Prasugrel in Patients with Acute Coronary Syndromes / S. Schüpke, J. Neumann, M. Menichelli [et al.]; ISAR-REACT 5 Investigators // *The New England Journal of Medicine*. — 2019. — Vol. 381, No. 16. — P. 1524–1534. — DOI: 10.1056/NEJMoa1908973.
10. Ticagrelor versus Clopidogrel in Patients with Acute Coronary Syndromes / L. Wallentin, R.C. Becker, A. Budaj [et al.]; PLATO Investigators // *The New England Journal of Medicine*. — 2009. — Vol. 361, No. 11. — P. 1045–1057. — DOI: 10.1056/NEJMoa0904327.
11. 2021 ACC/AHA/SCAI Guideline for Coronary Artery Revascularization / J.S. Lawton, J.E. Tamis-Holland, S. Bangalore [et al.] // *Journal of the American College of Cardiology*. — 2022. — Vol. 79, No. 2. — P. e21–e129. — DOI: 10.1016/j.jacc.2021.09.006.
12. 2023 ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes / R.A. Byrne, X. Rossello, J.J. Coughlan [et al.] // *European Heart Journal*. — 2023. — Vol. 44, No. 38. — P. 3720–3826. — DOI: 10.1093/eurheartj/ehad191
13. 2025 ACC/AHA/ACEP/NAEMSP/SCAI Guideline for the Management of Patients With Acute Coronary Syndromes: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines / S.V. Rao, M.L. O'Donoghue, M. Ruel [et al.] // *Circulation*. — 2025. — Vol. 151, No. 13. — DOI: 10.1161/CIR.0000000000001309.
14. Addition of clopidogrel to aspirin and fibrinolytic therapy for myocardial infarction with ST-segment elevation / M.S. Sabatine, C.P. Cannon,

C. M. Gibson [et al.]; CLARITY-TIMI 28 Investigators // New England Journal of Medicine. — 2005. — Vol. 352, No. 12. — P. 1179–1189. — DOI: 10.1056/NEJMoa050522.

Трансфер международных прогностических индексов и шкал в стратификацию риска на этапах кардиореабилитации после инфаркта миокарда

Серов Иван Сергеевич, аспирант

Ивановский государственный медицинский университет

Цель. Провести аналитический обзор современных зарубежных прогностических индексов и шкал (AACVPR, HFA-PEFF, H₂FPEF) с оценкой возможности их внедрения для прецизионного дозирования физических нагрузок в кардиореабилитации.

Методы. Проанализированы ключевые патофизиологические домены шкал стратификации риска сердечно-сосудистых осложнений во время тренировок. Систематизированы критерии оценки функциональной емкости и скрытой диастолической дисфункции миокарда на основе мета-анализов и клинических рекомендаций 2024–2026 годов.

Результаты. Описаны гемодинамические и эхокардиографические предикторы, лежащие в основе американских и европейских реабилитационных алгоритмов. Обоснована высокая прогностическая ценность оценки метаболических эквивалентов (METs) и параметров жесткости левого желудочка для предотвращения острой правожелудочковой и левожелудочковой недостаточности при физическом стрессе.

Заключение. Интеграция зарубежных расчетных индексов в отечественную клиническую практику позволяет перейти от формального организационного распределения пациентов к индивидуализированному патогенетическому расчету безопасного реабилитационного потенциала.

Ключевые слова: кардиореабилитация, инфаркт миокарда, стратификация риска, шкала AACVPR, индекс HFA-PEFF, шкала H₂FPEF, метаболический эквивалент, диастолическая дисфункция.

Введение

Современная стратегия ведения пациентов, перенесших инфаркт миокарда (ИМ), направлена на максимальное снижение риска повторных сердечно-сосудистых событий и улучшение качества жизни. Успешное выполнение чрескожного коронарного вмешательства (ЧКВ) и назначение оптимальной медикаментозной терапии формируют базис вторичной профилактики, однако долгосрочный прогноз во многом определяется эффективностью кардиореабилитации (КР). Физические тренировки признаны мощным инструментом борьбы с эндотелиальной дисфункцией, системным воспалением и постинфарктным ремоделированием миокарда [2].

Несмотря на очевидные преимущества, классическая модель КР часто опирается на стандартизированные, усредненные протоколы физической активности. Такой подход не учитывает гетерогенность постинфарктной популяции, где за формально сохранной систолической функцией сердца могут скрываться тяжелые нарушения микроциркуляции, скрытая жесткость миокарда и латентная электрическая нестабильность. Применение универсальных нагрузок создает скрытую угрозу развития острых аритмических событий, разрывов хорд или прогрессирования сердечной недостаточности непосредственно во время реабилитационных сессий [1].

В эру прецизионной медицины парадигма КР смещается в сторону персонализации. Ключевым элементом этого процесса становится клиничко-математический расчет прогностических индексов и шкал стратификации риска, разработанных ведущими международными научными и профессиональными организациями, включая AACVPR, ESC и клинику Мейо. Интеграция этих инструментов в клиническую практику позволяет кардиологу и врачу лечебной физкультуры количественно оценить индивидуальный порог безопасности пациента, выраженный в метаболических эквивалентах (METs), и составить персонализированный гемодинамический профиль тренировок [3, 7].

1. Протокол стратификации риска AACVPR: международный эталон безопасности

Основным инструментом для распределения пациентов по группам риска перед началом физических тренировок в мировой практике является протокол Американской ассоциации кардиопульмональной реабилитации (AACVPR). Этот подход не просто оценивает тяжесть состояния больного, а напрямую определяет клинический формат реабилитации: необходимость непрерывного ЭКГ-мониторинга, допустимый уровень депрессии сегмента ST и степень врачебного наблюдения.

Стратификация по протоколу AACVPR интегрирует данные эхокардиографии (систолическую функцию), результаты нагрузочного тестирования (стресс-ЭхоКГ или велоэргометрии) и особенности течения острой фазы ИМ. Пациенты распределяются на три страты риска [1, 9].

1.1. Низкий риск (Low Risk). Пациенты этой группы имеют максимальный функциональный резерв и минимальную вероятность развития ишемии или аритмии при физическом стрессе. Для включения в эту категорию больной должен соответствовать всем перечисленным критериям одновременно:

- Фракция выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ) составляет $>50\%$.
- Отсутствие желудочковых аритмий высоких градаций по классификации Лауна как в покое, так и при проведении нагрузочного теста.
- Отсутствие стенокардии или диагностически значимой депрессии сегмента ST при физической нагрузке.
- Успешная и полная реваскуляризация коронарного русла без признаков остаточной ишемии.
- Гемодинамическая стабильность при нагрузке (адекватный прирост систолического артериального давления).
- Аэробная способность по результатам нагрузочной пробы составляет $\geq 7,0$ METs (метаболических эквивалентов).

Клиническая тактика. Пациентам разрешен быстрый темп наращивания нагрузок. Непрерывный ЭКГ-мониторинг во время тренировок не требуется (достаточно периодического контроля частоты сердечных сокращений и артериального давления). Приверженность программам домашней кардиореабилитации (HBCR) у этой когорты максимальна.

1.2. Умеренный риск (Moderate Risk). Данная категория включает пациентов с пограничными показателями гемодинамики или признаками латентного повреждения миокарда. В отличие от группы низкого риска, где необходимо соответствие всем критериям, для отнесения к умеренному риску достаточно наличия любого одного из приведённых ниже признаков. Риск осложнений возрастает при нагрузках. Критерии группы [1, 9]:

- ФВ ЛЖ находится в диапазоне 40–49%.
- Появление симптомов стенокардии или депрессии сегмента ST (<2 мм) только при достижении высоких нагрузок (более 5,0–6,0 METs).
- Наличие контролируемых нарушений ритма (редкая изолированная желудочковая экстрасистолия) без тенденции к развитию пробежек тахикардии.
- Аэробная способность оценивается в пределах 5,0–6,9 METs.

Клиническая тактика. Назначаются тренировки средней интенсивности. Первые 6–12 сессий лечебной физкультуры в обязательном порядке проводятся под телеметрическим ЭКГ-контролем в условиях реабилитационного центра, после чего возможен переход на частично контролируемые домашние тренировки.

1.3. Высокий риск (High Risk). В эту группу входят пациенты с тяжелым ремоделированием левого желудочка, незавершенным процессом рубцевания или высоким риском внезапной сердечной смерти (ВСС). Критерии группы (достаточно наличия любого из них) [1, 9]:

- Тяжелая систолическая дисфункция: фракция выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ) <40%.
- Перенесенные в острой фазе ИМ кардиогенный шок, отек легких или реанимационные мероприятия по поводу остановки сердца.
- Появление сложных нарушений ритма (парные желудочковые экстрасистолы, неустойчивая желудочковая тахикардия) при минимальной физической активности или в раннем восстановительном периоде.
- Безболевого ишемия миокарда (депрессия сегмента ST ≥ 2 мм) при нагрузке <5,0 METs.
- Парадоксальное падение систолического артериального давления (более чем на 10–15 мм рт. ст.) при увеличении мощности тренировки, что указывает на сократительную недостаточность миокарда.
- Низкая толерантность к физической нагрузке: функциональная емкость <5,0 METs [1, 2].

Клиническая тактика. Жесткое ограничение интенсивности физических нагрузок (тренировки малой мощности). Абсолютно показан постоянный синхронный ЭКГ-мониторинг (телеметрия) на протяжении как минимум 18–24 занятий. Любое расширение двигательного режима выполняется исключительно в условиях специализированного стационара или реабилитационного зала под контролем реанимационной бригады [10].

2. Индекс HFA-PEFF: оценка скрытой постинфарктной диастолической дисфункции

Если систолическая дисфункция миокарда легко верифицируется по снижению фракции выброса (что учитывается в протоколе AACVPR), то нарушения расслабления сердца часто остаются нераспознанными. В эру ЧКВ у значительной части пациентов после ИМ общая сократимость ЛЖ сохраняется (ФВ ЛЖ $\geq 50\%$), однако из-за фокального фиброза и постинфарктной жесткости миокарда существенно страдает диастолическая функция [6].

Для прецизионного выявления таких больных в кардиореабилитации применяется балльный индекс HFA-PEFF, разработанный Ассоциацией по сердечной недостаточности Европейского общества кардиологов (ESC). Алгоритм состоит из четырёх последовательных шагов (P-E-F-F). Баллы для стратификации риска начисляются только на втором шаге (Е — эхокардиография) в рамках трёх доменов: функционального, морфологического и лабораторного. Остальные шаги — это диагностические действия, а не домены.

2.1. Структура расчета индекса HFA-PEFF

Шаг 1 (P — Pre-test assessment). Оценка предтестовой вероятности СНсФВ на основании клинических факторов: ожирение, артериальная гипертензия, сахарный диабет, пожилой возраст, фибрилляция предсердий. Пациенты с низкой предтестовой вероятностью (<5%) проходят дальнейшее обследование по упрощённому протоколу.

Шаг 2 (E — Echocardiography). Основной диагностический этап. Проводится расчёт HFA-PEFF балла на основе трёх доменов. Каждый домен может принести максимум 2 балла, суммарно от 0 до 6 баллов.

Критерии функционального домена:

- $E/e' \geq 9$ –14 или GLS <16% — 1 балл;
- $E/e' \geq 15$ или TR >2,8 м/с — 2 балла.

Критерии морфологического домена:

- LAVI 29–34 мл/м² или ИММЛЖ $\geq 95/115$ г/м² (ж/м) — 1 балл;
- LAVI >34 мл/м² или RWT >0,42 — 2 балла.

Критерии лабораторного домена:

- NT-proBNP 125–220 пг/мл (при синусовом ритме) — 1 балл;
- NT-proBNP >220 пг/мл (при синусовом ритме) — 2 балла.
- При фибрилляции предсердий пороговые значения NT-proBNP увеличиваются в 3–4 раза.

Интерпретация результата:

- 0–1 балл — низкая вероятность СНсФВ (диагноз маловероятен);
- 2–4 балла — промежуточная вероятность (требуется переход к шагу 3);
- ≥ 5 баллов — высокая вероятность (диагноз СНсФВ считается подтверждённым).

Шаг 3 (F₁ — Functional testing). Проводится только у пациентов с промежуточным баллом (2–4). Выполняется стресс-эхокардиография (физическая или фармакологическая нагрузка) для оценки резерва диастолической функции. Положительный тест: увеличение $E/e' \geq 2$ при нагрузке или пиковая TR >3,4 м/с.

Шаг 4 (F₂ — Final aetiology). Заключительный этап. У пациентов с подтверждённой СНсФВ проводится поиск специфической этиологии (ишемическая болезнь сердца, гипертрофическая кардиомиопатия, амилоидоз, констриктивный перикардит и др.) для назначения этиотропного лечения.

2.2. Клиническое значение индекса для дозирования физических нагрузок. После суммирования баллов по всем доменам определяется реабилитационная тактика [6]:

— 0–1 балл (низкая вероятность диастолической жёсткости). Ограничений по темпу наращивания аэробных нагрузок со стороны диастолической функции нет.

— 2–4 балла (пограничная зона). Требуется проведение дополнительного стресс-теста (диастолической стресс-эхокардиографии) на велоэргометре для оценки динамики давления наполнения при физической нагрузке.

— ≥5 баллов (высокая постинфарктная жёсткость миокарда). Подтверждает тяжёлое нарушение диастолического расслабления и скрытое повышение давления в левом предсердии.

Значение для КР: Пациенты с индексом HFA-PEFF ≥5 баллов представляют особую группу риска в реабилитационном зале. Физическая нагрузка у них вызывает резкое и непропорциональное повышение давления в лёгочных капиллярах. При форсированном наращивании интенсивности тренировок у таких пациентов может развиться острая левожелудочковая недостаточность, манифестирующая тяжёлой одышкой или сердечной астмой, несмотря на нормальную фракцию выброса [4]. Тренировки для этой когорты строятся по интервальному типу низкой мощности под строгим контролем частоты дыхания и сатурации (SpO₂).

3. Метаболическая шкала H2FPEF: экспресс-стратификация риска Клиники Мейо

В условиях реальной клинической практики не всегда возможно оперативно выполнить экспертную эхокардиографию со всеми параметрами тканевой доплерографии для расчета индекса HFA-PEFF [8]. В этой ситуации для врача кардиореабилитации незаменимым инструментом становится шкала H₂FPEF, разработанная специалистами Клиники Мейо (Mayo Clinic, США).

Её главное преимущество — максимальная простота и доступность. Расчет индекса строится на оценке рутинных антропометрических, анамнестических и базовых эхокардиографических параметров, которые у постинфарктного пациента всегда есть на руках в выписном эпикризе [8].

3.1. Алгоритм начисления баллов по шкале H2FPEF. Каждая буква в названии шкалы представляет собой клинический фактор, имеющий определенный математический вес в структуре интегрального риска [8]:

— Н (Heavy) — наличие сопутствующего ожирения с индексом массы тела (ИМТ) $>30 \text{ кг/м}^2$ (2 балла).

— Н (Hypertension) — сопутствующая артериальная гипертензия, требующая приема двух и более гипотензивных препаратов (1 балл).

— F (Atrial Fibrillation) — наличие пароксизмальной или постоянной формы фибрилляции предсердий (3 балла).

— Р (Pulmonary Hypertension) — наличие легочной гипертензии по данным базовой ЭхоКГ с систолическим давлением в легочной артерии (СДЛА) $>35 \text{ мм рт. ст.}$ (1 балл).

— Е (Elderly) — возраст пациента старше 60 лет (1 балл).

— F (Filling Pressure) — косвенные признаки повышения давления наполнения ЛЖ по данным УЗИ сердца (отношение митрального притока $E/e' >9$) (1 балл).

Максимальная сумма баллов составляет 9.

3.2. Дифференцированный подход к тренировкам на основе баллов H2FPEF. Сумма баллов по шкале Клиники Мейо напрямую коррелирует с функциональным резервом сердечно-сосудистой системы и определяет безопасный профиль кардиореабилитации [2, 8]:

— 0–1 балл (низкий риск). Пациент имеет сохранный кардиометаболический профиль. Физическая реабилитация может проводиться в стандартном режиме, аэробные нагрузки дозируются по классическому принципу (на основе частоты сердечных сокращений и шкалы Борга).

— 2–5 баллов (промежуточный риск). Указывает на умеренное снижение адаптационного потенциала. Требуется осторожное, постепенное титрование нагрузок с обязательным контролем артериального давления на пике тренировки.

— 6–9 баллов (высокий метаболический риск). Свидетельствует о крайне жёстком, неэластичном миокарде и высоком риске застойных явлений.

Значение для кардиореабилитации. Пациенты с индексом H2FPEF ≥ 6 баллов имеют критически низкий порог толерантности к физической нагрузке. Наличие ожирения, пожилого возраста и аритмического анамнеза делает их гемодинамику крайне нестабильной при нагрузках. Для этой когорты стандартные протоколы тренировок на беговой дорожке или велоэргометре не подходят. Восстановление должно проходить под строгим асинхронным мониторингом,

с начальной интенсивностью не более 35–40% от пикового потребления кислорода (VO_2 peak), с обязательным привлечением мультидисциплинарной команды: аритмолога (для контроля фибрилляции предсердий) и диетолога (для метаболической коррекции массы тела) [8].

Обсуждение

Интеграция международных прогностических индексов (AACVPR, HFA-PEFF, H_2FPEF) в клиническую практику кардиореабилитации позволяет решить фундаментальную проблему — перейти от формального, организационного распределения пациентов к прецизионному патогенетическому дозированию физических нагрузок [2]. В отечественном здравоохранении базовым инструментом маршрутизации является Шкала реабилитационной маршрутизации (ШРМ), которая незаменима для определения этапа лечения (амбулаторный, стационарный или санаторный) [1]. Однако ШРМ оценивает преимущественно бытовую независимость пациента и степень инвалидизации, оставляя без внимания гемодинамические и скрытые структурные риски, возникающие непосредственно во время физической нагрузки [10].

Сопоставление рассмотренных зарубежных инструментов демонстрирует их комплементарность и позволяет сформировать многоуровневый контур безопасности [5]:

- Американский протокол AACVPR выступает в качестве «первой линии» стратификации. Он регламентирует технические условия тренировочного процесса (необходимость и длительность непрерывной телеметрии, уровень врачебного надзора), опираясь на классические маркеры ишемии и систолической функции [1].

- Европейский индекс HFA-PEFF и шкала Клиники Мейо H_2FPEF решают более сложную задачу — они выявляют пациентов с постинфарктной жёсткостью миокарда и скрытым повышением давления наполнения левого желудочка [4]. Это имеет критическое значение для когорты больных с формально сохранной фракцией выброса ($\text{ФВ ЛЖ} \geq 50\%$), у которых стандартные нагрузочные тесты могут не выявлять скрытую уязвимость [4].

Применение шкал HFA-PEFF и H_2FPEF в постинфарктном периоде позволяет предотвратить развитие острой левожелудочковой недостаточности в реабилитационном зале [4]. Высокие баллы по этим шкалам (≥ 5 для HFA-PEFF и ≥ 6 для H_2FPEF) служат прямым патофизиологическим сигналом к изменению характера тренировок: отказу от длительных непрерывных аэробных нагрузок в пользу интервальных протоколов малой мощности с обязательным мониторингом респираторного статуса и сатурации [3].

Перспективным направлением является автоматизация расчёта данных индексов [3]. Внедрение электронных медицинских карт и развитие телемедицинских платформ позволяют интегрировать эти шкалы в программное обеспечение реабилитационных центров, где итоговый балл риска и рекомендуемый диапазон метаболических эквивалентов (METs) могут рассчитываться автоматически на основе данных выписного эпикриза [3].

Заключение

1. Современная парадигма кардиореабилитации после инфаркта миокарда требует строгого персонифицированного подхода, основанного на количественной оценке индивидуального гемодинамического и метаболического резерва пациента.
2. Протокол стратификации риска AACVPR является мировым стандартом для определения уровня безопасности и режима ЭКГ-мониторинга в реабилитационном зале, разделяя пациентов на целевые страты на основе систолической функции и ишемического порога.
3. Индексы HFA-PEFF и H₂FPEF позволяют своевременно выявлять латентную постинфарктную диастолическую дисфункцию и жёсткость миокарда у лиц с сохранной фракцией выброса, минимизируя риски декомпенсации сердечной недостаточности при физических нагрузках.
4. Внедрение международных расчётных шкал в практику отечественных кардиореабилитологов и врачей лечебной физкультуры позволит существенно повысить безопасность восстановительного процесса, эффективно дополняя существующую организационную систему реабилитационной маршрутизации.

Литература:

1. Core Components of Cardiac Rehabilitation Programs: 2024 Update: A Scientific Statement From the American Heart Association and the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation / T.M. Brown, Q.R. Pack, E.A. Beregg [et al.] // Circulation. — 2025. — Vol. 151, No. 12. — P. e587-e605. — DOI: 10.1161/CIR.0000000000001289.
2. A Simple, Evidence-Based Approach to Help Guide Diagnosis of Heart Failure With Preserved Ejection Fraction / Y.N. V. Reddy, R. P. Carter, M. Obokata [et al.] // Circulation. — 2018. — Vol. 138, No. 9. — P. 861–870. — DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.118.034646.
3. Lower-Socioeconomic Status Patients Have Extremely High-Risk Factor Profiles on Entry to Cardiac Rehabilitation / S. Khadanga, P.D. Savage,

- P.A. Ades [et al.] // Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention. — 2024. — Vol. 44, No. 1. — P. 26–32. — DOI: 10.1097/HCR.0000000000000826.
4. Haemodynamic validation of the three-step HFA-PEFF algorithm to diagnose heart failure with preserved ejection fraction / E. Lanzarone, S. Caravita, C. Baratto [et al.] // ESC Heart Failure. — 2023. — Vol. 10, No. 4. — P. 2588–2595. — DOI: 10.1002/ehf2.14436.
 5. Impact of training on combined cardiopulmonary exercise test with stress echocardiography parameters in HFrEF patients / M. Kirsch, F. Moatemi, T.A. Lamar, O. Kovalska, J.C. Blanchard, F. Ledru, P. Cristofini, D. Vitiello, M.C. Iliou // International Journal of Cardiology. — 2023. — Vol. 371. — P. 252–258. — DOI: 10.1016/j.ijcard.2022.09.041.
 6. How to diagnose heart failure with preserved ejection fraction: the HFA-PEFF diagnostic algorithm: a consensus recommendation from the Heart Failure Association (HFA) of the European Society of Cardiology (ESC) / B. Pieske, C. Tschöpe, R.A. de Boer [et al.] // European Heart Journal. — 2019. — Vol. 40, No. 40. — P. 3297–3317. — DOI: 10.1093/eurheartj/ehz641.
 7. Exercise intensity prescription in cardiovascular rehabilitation: bridging the gap between best evidence and clinical practice / J.G. P. O. Milani, M. Milani, K. Verboven, G. Cipriano, D. Hansen // Frontiers in Cardiovascular Medicine. — 2024. — Vol. 11. — P. 1–22. — DOI: 10.3389/fcvm.2024.1380639.
 8. Prognostic Applications of Current Clinical Scores in Heart Failure with Preserved Ejection Fraction: A Prospective Cohort Study / F.C. Barros [et al.] // Arquivos Brasileiros de Cardiologia. — 2025. — DOI: 10.36660/abc.20240852.
 9. Evaluation of the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation Exercise Risk Stratification Classification Tool Without Exercise Testing / A.G. Bhat, M. Farah, H. Szalai, T. Lagu, P.K. Lindenauer, P. Visintainer, Q.R. Pack // Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention. — 2021. — Vol. 41, No. 4. — P. 257–263. — DOI: 10.1097/HCR.0000000000000584.
 10. 2023 ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes / R.A. Byrne, X. Rossello, J.J. Coughlan [et al.]; ESC Scientific Document Group // European Heart Journal. — 2023. — Vol. 44, No. 38. — P. 3720–3826. — DOI: 10.1093/eurheartj/ehad191.

ГЕОГРАФИЯ

Пространственная поляризация миграционных процессов в Краснодарском крае в 2023 году

Кононенко Данила Александрович, студент;

Бурова Юлия Сергеевна, студент

Кубанский государственный университет (г. Краснодар)

Нодия Мириан Павлович, студент

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина
(г. Краснодар)

В статье анализируются миграционные процессы в Краснодарском крае в 2023 г. на основе официальных данных Краснодарстата. Показано, что при рекордном миграционном приросте (32,5 тыс. чел.) распределение миграционных потоков по территории края крайне неравномерно. Выявлены факторы, определяющие эту поляризацию: агломерационный эффект, приморское положение, наличие курортно-рекреационных кластеров и промышленных центров. Предложена типология муниципальных образований по характеру миграционной динамики.

Ключевые слова: миграция, поляризация, Краснодарский край, миграционный прирост, муниципальные образования.

Введение

Миграционные процессы являются одним из ключевых факторов трансформации пространственной организации населения современной России. В условиях естественной убыли населения в большинстве регионов миграционный прирост становится главным источником демографической динамики. Однако миграционные потоки крайне неравномерны: население концентрируется в ограниченном числе регионов-магнитов, тогда как остальная территория депопулирует.

Краснодарский край на протяжении последних двух десятилетий устойчиво входит в число лидеров по миграционному приросту среди субъектов Российской Федерации. Это обусловлено уникальным сочетанием природно-климатических, экономических и геополитических факторов. Однако за общими позитивными показателями скрывается глубокая пространственная дифференциация: миграционный прирост распределён по муниципальным образованиям крайне неравномерно. В одних территориях наблюдается опережающий рост населения, в других — устойчивый отток.

Цель работы. На основе данных официальной статистики охарактеризовать пространственную структуру миграционных процессов в Краснодарском крае в 2023 г., выявить зоны миграционного притяжения и оттока и определить факторы, обуславливающие поляризацию миграционного пространства региона.

Материалы и методы исследования. Информационной базой послужили данные Управления Федеральной службы государственной статистики по Краснодарскому краю и Республике Адыгея (Краснодарстат), содержащиеся в статистическом бюллетене «Численность и миграция населения Краснодарского края в 2023 году». Использованы таблицы с данными о прибывших, выбывших и миграционном приросте по каждому из 45 муниципальных образований края, а также сведения о среднегодовой численности населения.

Для корректного сравнения территорий разной численности населения рассчитан коэффициент миграционного прироста на 10 тыс. чел. по формуле:

$$K_{\text{мigr}} = \frac{\Delta_{\text{мigr}}}{\bar{N}} \times 10000,$$

где: $\Delta_{\text{мigr}}$ — миграционный прирост (убыль) за год, чел.; \bar{N} — среднегодовая численность постоянного населения, чел.; 10000 — множитель для приведения коэффициента к стандартному.

Визуализация пространственной дифференциации выполнена картографическим методом — картограмма — в ГИС «QGIS» с использованием векторного слоя административно-территориального деления Краснодарского края.

Общая характеристика миграционной ситуации в 2023 г.

В 2023 г. Краснодарский край продемонстрировал рекордный миграционный прирост — 32 496 чел., что в 2,7 раза превышает показатель 2022 г. (11 892 чел.). Общее число прибывших в край составило 165 994 чел., выбывших — 133 498 чел. В структуре миграции преобладают перемещения в пределах России: 145 323 прибывших (87,5% от общего числа) и 120 721 выбывших. Межрегиональная миграция дала прирост 24 602 чел. (100 449 прибывших,

75 847 выбывших). Международная миграция также положительна: 20 671 прибывший, 12 777 выбывших, прирост — 7 894 чел., в основном за счёт стран СНГ.

Основными донорами для края выступают Сибирский (+4 316 чел.), Дальневосточный (+2 599), Уральский (+1 871) и Приволжский (+1 865) федеральные округа. Отрицательное сальдо зафиксировано с Центральным (–1 131) и Северо-Западным (–92) округами, что свидетельствует о частичном оттоке населения в Московский регион и Санкт-Петербург.

Пространственная дифференциация миграционного прироста

Расчёт коэффициента миграционного прироста на 10 тыс. чел. по всем 45 муниципальным образованиям выявил чрезвычайно высокий разброс значений — от +392,7 (городской округ Сириус) до –84,8 (Абинский район). На основе этих данных выделены три типа территорий.

Зоны активного миграционного притяжения (коэффициент $> +50$) охватывают ограниченное число муниципальных образований, формирующих два основных ядра. Первое ядро — Краснодарская агломерация: городской округ Краснодар (коэффициент 130,0; абсолютный прирост +16 054 чел.) и его ближайшие пригороды — Северский район (147,9; +1 822 чел.), Красноармейский район (70,5; +711 чел.). Как отмечают исследователи, «самой высокой привлекательностью обладают столичные агломерации региона», что подтверждается и нашими данными. Второе ядро — азово-черноморское побережье: городской округ Сириус (392,7; +552 чел.), муниципальный округ Анапа (249,8; +5 153 чел.), Темрюкский район (155,6; +1 967 чел.), городской округ Новороссийск (87,9; +3 014 чел.), городской округ Геленджик (58,7; +688 чел.). Здесь ключевую роль играют центры курортно-санаторной индустрии и приморское положение. [1]

Зоны нейтральной миграционной динамики (коэффициент от 0 до +50) охватывают центральные и северные районы: Каневской (51,4), Староминский (50,2), Тимашевский (50,0), Ленинградский муниципальный округ (35,2), Курганинский (35,7), Мостовский (34,7), Кореновский (31,3) и другие. Эти территории не являются основными центрами притяжения, но в целом сохраняют население или имеют незначительный прирост.

Зоны устойчивой миграционной убыли (коэффициент < 0) сосредоточены преимущественно в восточной и юго-восточной частях края. Наиболее низкие значения зафиксированы в Абинском районе (–84,8), Новокубанском (–62,6), Отраденском (–58,1), Белореченском (–54,5) и Лабинском (–46,9) районах. Особое положение занимает городской округ Сочи (–41,4; –2 321 чел.), который, несмотря на высокую туристическую привлекательность, имеет устойчивый миграционный отток из-за экстремально высокой стоимости жилья.

Факторы поляризации миграционного пространства

Пространственная поляризация миграционных процессов в Краснодарском крае обусловлена действием нескольких групп факторов.

Агломерационный фактор. Краснодарская агломерация, включающая Краснодар и первый пояс муниципалитетов (Динской, Северский, Усть-Лабинский районы, город Горячий Ключ), на начало 2025 г. насчитывала 31,4% населения края, при этом агломерация растёт в разы быстрее, чем край в целом. Именно сюда стягивается основная масса мигрантов. [3]

Приморское положение. Муниципалитеты черноморского и азовского побережий обладают устойчивой миграционной привлекательностью благодаря развитой курортно-рекреационной инфраструктуре и благоприятному климату.

Периферийность. Восточные и юго-восточные районы, удалённые от краевого центра и моря, с преимущественно аграрной специализацией и ограниченным рынком труда, теряют население в миграционном обмене. [2]

Пространственные закономерности и выводы

Проведённый анализ позволяет выделить три зоны миграционной динамики в Краснодарском крае:

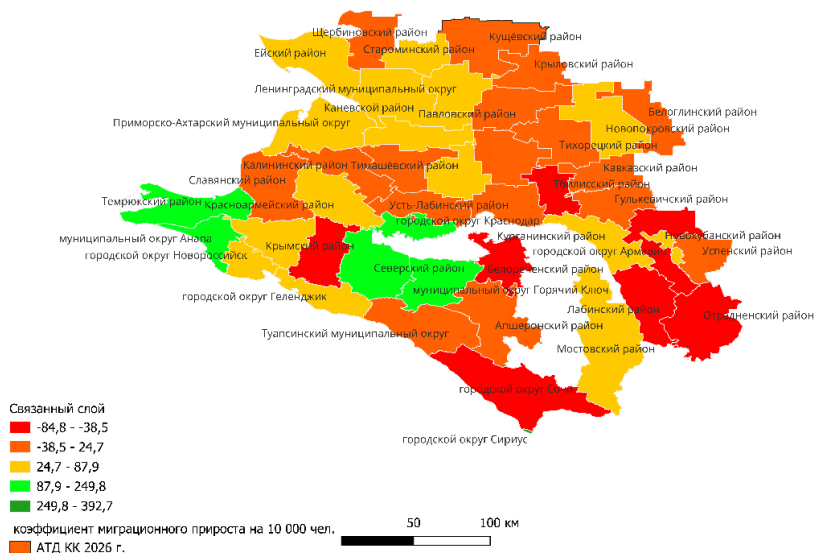


Рис. 1. Картограмма «Коэффициент миграционного прироста на 10 тыс. чел. населения по муниципальным образованиям Краснодарского края в 2023 г. (составлена автором по источнику [1])»

«Зелёная зона» (побережье и агломерация) — устойчивый миграционный прирост, обусловленный агломерационным эффектом и приморским положением.

«Жёлтая зона» (центральные и северные районы) — нейтральная или слабopоложительная динамика, территории-«буферы».

«Красная зона» (восточные и юго-восточные районы) — устойчивая миграционная убыль, связанная с периферийным положением и отсутствием центров экономического роста.

Оранжевый цвет на карте — переходная зона.

Такая модель полностью соответствует общероссийским тенденциям стягивания населения в крупные города и их пригороды и подтверждает выводы исследований о центрально-периферийных механических движениях населения.

Заключение

Исследование показало, что миграционные процессы в Краснодарском крае в 2023 г. характеризуются ярко выраженной пространственной поляризацией. При общем рекордном миграционном приросте (32,5 тыс. чел.) основное стягивание населения происходит в ограниченное число муниципальных образований — Краснодарскую агломерацию и азово-черноморское побережье, тогда как восточные и юго-восточные районы устойчиво теряют население.

Выявленная поляризация создаёт риски усиления межрайонных социально-экономических различий, перегрузки инфраструктуры в зонах опережающего роста и депопуляции периферийных территорий. Полученные результаты могут быть использованы для корректировки региональной миграционной и пространственной политики, направленной на сглаживание территориальных диспропорций.

Литература:

1. Краснодарстат. Численность и миграция населения Краснодарского края в 2023 году: статистический бюллетень / Управление Федеральной службы государственной статистики по Краснодарскому краю и Республике Адыгея. — Краснодар, 2024.
2. Мкртчян Н. В. Пространственная картина центрo-периферийных миграционных взаимодействий в России // Региональные исследования. 2024. № 1 (83). С. 19–33.
3. Мкртчян Н. В., Гильманов Р. И. Крупные города России и их пригороды как центры притяжения внутренних мигрантов // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2023. Т. 68, № 1. С. 44–63.

ЭКОНОМИКА

Business Performance and the Mediating Effect of Marketing Capabilities on Innovation Commercialization: Evidence from the Iraq Stock Exchange

Ban Hameed Jasim, Assistant Lecturer

University of Al-Qadisiyah (Al Diwaniyah, Iraq)

The purpose of the study was to examine the relationship between business performance in bio-industries as a result of innovation commercialization; while also determining if marketing capabilities served as a mediator of this relationship. The researchers used a sample of 187 companies listed on the Iraq Stock Exchange (ISX), using data from 2018 through 2023 ($n = 374$). Ordinary Least Square (OLS) regression analysis was used to analyse the data.

There was significant evidence to suggest that marketing capabilities mediates (i. e. positively influences) the relationship between innovation commercialization and business performance. Furthermore, organizations that demonstrate effective innovation commercialization and superior marketing capabilities also have higher levels of business performance, faster time-to-market, and lower commercialization costs.

Finally, integration between the research and development and marketing functions is an essential factor for success among organizations operating within Iraqi bio-industries (e. g. biotechnology).

Keywords: business performance, marketing capabilities, innovation commercialization, mediation effect, bio-industries, Iraq Stock Exchange, ordinary least square.

1 Introduction

Bio-industries have transformed from academic research activities to a vital economic sector [1, 10]. Despite global investment exceeding \$ 200 billion annually, the commercial success rate of new bio-products remains below 15% [7, 11]. This highlights a persistent gap between scientific research and commercial marketing [3, 8].

A large proportion of new bio-products fail due to poor innovation management and weak translation of scientific outputs into marketable products [11]. This phenomenon is known as the «valley of death» in technology commercialization [2, 8].

Earlier research found conflicting outcomes concerning the direct effect of innovation management on business performance [5, 7]. Based on RBV, according to which competitive advantages result from valuable organizational capabilities [3, 9], marketing capabilities become an important gap that requires investigation. While innovation management produces innovations, marketing capabilities turn innovations into customers' value and earnings [13, 15]. Without strong marketing capabilities, innovations will not be commercialized despite their novelty [1, 2].

Marketing capabilities have received scant attention as a mediator in emerging economies like Iraq [3, 5]. There are many unique aspects of the Iraqi setting, including recovery from conflicts, changing legislation, low availability of foreign markets, and immature financial institutions [2, 15]. Furthermore, evaluation of public pharmaceutical organizations in Iraq revealed ineffective business practices that hindered commercialization [16]. Thus, two questions guide the current study: (1) What is the effect of innovation management on the commercial success of Iraqi bio-industries? (2) How does marketing capabilities moderate this relationship? To answer the questions, data on 187 firms listed at ISX from 2018 to 2023 were collected and analyzed using OLS path analysis by Baron and Kenny [4].

2. Literature review and hypotheses

2.1 Innovation Management and Marketing Capabilities

Innovation management is defined as a management system for turning ideas into monetary gains [12]. Innovation management in the Iraqi biotechnology industry is marked by long-term processes and high technical risk [1]. As per the signaling theory, innovation strategies serve as signals to show that the organization has the competence and is visionary [8]. Marketing capabilities result from organizational knowledge of customers, competitors, and distribution channels [3, 13]. For organizations operating in the Iraqi market environment, their marketing capabilities need to incorporate local conditions such as tribal relationships and regional distribution complexities [14, 15]. The table below provides important prior research on the linkages between innovation management, marketing capabilities, and success.

Table 1. **Summary of Previous Studies on Innovation Management, Marketing Capabilities, and Commercial Success**

Context / Sample	Key Findings	Research Gap Identified		
1	Griffin & Hauser (1996)	Multiple industries / Review of literature	Integrating R&D and marketing functions significantly improves new product success rates	Did not examine the mediating role of marketing capabilities separately from organizational structure
2	Day (2011)	US firms / Conceptual	Marketing capabilities are rare, valuable, and difficult to imitate, making them a source of sustained competitive advantage	Lacked empirical testing of how marketing capabilities mediate the innovation-performance link in emerging markets
3	Chen, Li & Lin (2012)	High-tech firms in Taiwan / Quantitative (survey)	Marketing capabilities positively affect innovation performance; the effect is stronger in turbulent environments	Focused on developed Asian context; did not address bio-industries specifically
4	Morgan (2012)	US and UK firms / Meta-analysis	Marketing capabilities explain significant variance in business performance across multiple industries	Did not isolate the effect of marketing capabilities in mediating innovation management outcomes
5	Ngo & O'Cass (2012)	Australian firms / Quantitative (survey)	Innovation and marketing capabilities interact to create superior customer value and firm performance	Sample limited to developed economy; no examination of partial mediation effects
6	Cooper (2019)	Global / Review of new product development	Marketing activities are among the top three drivers of new product success across industries	Did not quantify the percentage of innovation's effect transmitted through marketing capabilities

Context / Sample	Key Findings	Research Gap Identified		
7	Mohammed & Altaee (2021)	Iraq (Samarra) / Case study of public pharmaceutical company	State-owned pharmaceutical enterprises in Iraq suffer from operational inefficiencies that hinder commercialization	Identified the need for stronger marketing and innovation capabilities in Iraqi public enterprises

Consequently:

H1: Innovation management affects positively on marketing capabilities in Iraqi bio-industries.

2.2. Marketing Capabilities and Commercial Success

Marketing capabilities enhance a firm's ability to cope with changing market demands and overcome product failures [12]. In Iraq, where brand loyalty is still developing, marketing capabilities play a crucial role in differentiating products [14, 15]. Commercial success is measured by sales growth and profitability [4, 5]. Time-to-market represents a major commercial risk, and success corresponds to shorter development cycles [14]. Therefore:

H2: Marketing capabilities have a positive effect on commercial success in Iraqi bio-industries.

2.3. Innovation Management and Commercial Success

Customers are influenced by innovation management activities [16]. Systematic innovation practices foster customer beliefs that the organization adheres to high quality standards [6]. Innovation management results in the development of good will and market resources in the presence of uncertain environments [8]. Companies with effective innovation management systems have better business performance [12]. As a result:

H3: Innovation management has a positive influence on business performance in Iraqi bio-industrie.

2.4. The Mediating Role of Marketing Capabilities

Businesses that perform innovation activities benefit from enhanced customer satisfaction and brand recognition [3]. Good marketing skills help prevent business failure and encourage organizational success [13]. Innovation management serves as a shield and offers credible guarantees in times of market disruption [7]. Therefore:

H4: Innovation management affects business success indirectly through marketing skills in Iraqi bio-industries.

3. Method

The data analysis process used OLS regression model as its analytical tool because that model serves as a suitable instrument for studying research data. The study examined companies which were publicly traded on the Iraq Stock Exchange (ISX) between 2018 and 2023. The Iraq Stock Exchange established its operations in 2004 when it opened its Baghdad market, which enables investors to trade pharmaceutical and biotech and healthcare investments. The research utilized three data sources which included (1) financial information collected from the Iraq Stock Exchange website (www.isx-iq.net) regarding sales and profits (2) innovation management information extracted from annual reports submitted by firms to the Iraqi Ministry of Industry and Minerals, and (3) marketing capabilities information acquired through surveys conducted among marketing managers and research and development directors. The final sample comprised 187 companies with 374 observations.

4. Results

4.1. Descriptive Statistics

Table 2. Descriptive Statistics

Variable	Obs	Mean	SD	Min	Max
Innovation Management (INN)	187	3.87	0.52	2.10	4.95
Commercial Success (CS)	187	3.42	0.68	1.50	4.85
Marketing Capabilities (MC)	187	3.53	0.61	1.80	4.90
Firm Size	187	4.21	1.98	1.00	9.00

Source: Author's analysis based on Iraq Stock Exchange data.

4.2. Correlation Analysis

Table 3 presents the correlation matrix. All correlation coefficients are below 0.8, indicating no multicollinearity [4].

Table 3. Correlation Matrix

Variable	INN	MC	CS
INN	1.00		
MC	0.52**	1.00	
CS	0.48**	0.63**	1.00

Note: $p < 0,01$

4.3. Hypothesis Testing

Mediation was tested following Baron & Kenny's [4] four-step approach: (H1) independent variable to mediator, (H2) mediator to dependent variable, (H3) independent variable to dependent variable, (H4) indirect effect.

Table 4. Path Test Results

No.	Variable	MC	CS
		Coef. (p)	Coef. (p)
1	INN	0.518 (0.000)	0.231 (0.004)
2	MC	—	0.472 (0.000)
Control: Firm Size		0.083 (0.000)	0.012 (0.000)

Source: Author's analysis.

Table 5. Hypothesis Testing Results (Sobel Test)

No.	Effect	Coef.	p	Result
1	INN → MC	0.518	0.000	H1 confirmed
2	MC → CS	0.472	0.000	H2 confirmed
3	INN → CS	0.231	0.004	H3 confirmed
4	INN → MC → CS	0.245	0.000	H4 confirmed (partial mediation)

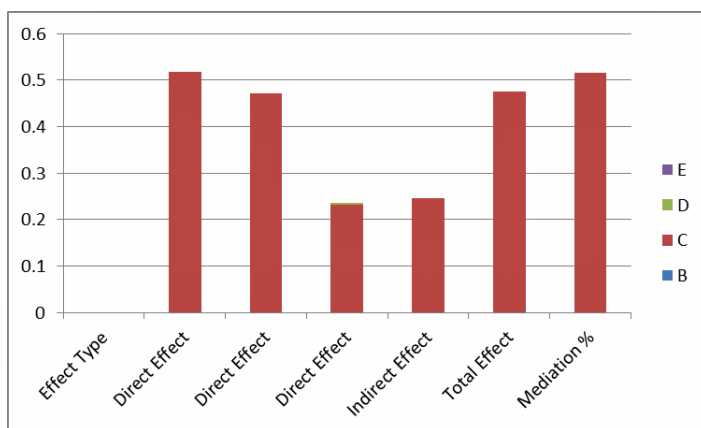


Fig. 1. Direct vs Indirect Effects of Innovation Management on Commercial Success

As shown in Figure 1, the indirect effect (0.245) is slightly larger than the direct effect (0.231). This means that marketing capabilities alone carry more than half of innovation's total effect (51.5%), confirming partial mediation..

4.4 Robustness Test

An alternative proxy for commercial success was tested: time-to-market (months). Results confirm that higher INN and MC scores are associated with shorter time-to-market.

Table 6. **Robustness Hypothesis Test Results**

No.	Effect	Coef.	p	Result
1	INN → MC	0.518	0.000	Significant
2	MC → TTM	−0.398	0.010	Significant
3	INN → TTM	−0.342	0.002	Significant
4	INN → MC → TTM	−0.206	0.013	Significant

Companies with better innovation management and marketing capabilities reached the market approximately **4.2 months faster** on average.

5. Discussion

The results confirm that marketing capabilities play a vital mediating role in translating innovation management into commercial success within the Iraqi context [3, 9].

First, the positive effect of innovation management on marketing capabilities (H1) aligns with Griffin & Hauser [6] and Teece [9], indicating that integrating R&D and marketing creates synergies. For Iraqi managers, innovation management should involve cross-functional teams including marketing personnel from early stages.

Secondly, marketing capability (0.472) was shown to be a better predictor for commercial success than innovation management (0.231) alone, corroborating findings by Day [3] and Cooper [7]. Marketing capability is especially important in the context of Iraq's bio-industrial sector, given that products are complicated and buyers need detailed information about them.

Thirdly, the partial mediation role of 51.5% is consistent with Chesbrough's [8] proposition that business models, rather than just technology, determine commercial success. Thus, marketing capability development can be seen as supplementary to innovation management for Iraqi executives.

Fourthly, small-scale Iraqi companies showed a greater ability to turn innovation into commercial success, possibly because they suffer less from bureaucratic inefficiencies [10, 15].

Managerial Implications for Iraq

The organizations should put in place formal systems that combine R&D and marketing processes. The organizations must look at marketing investments from a strategic point of view, rather than a discretionary one. Technology transfer departments should be established through partnerships with Iraqi universities such as Baghdad University, Technology University, and Al-Nahrain University. Small companies must capitalize on their agility.

Policy Implications for Iraq

The Ministry of Industry, Ministry of Higher Education, and ISX need to work together with marketing organizations because they require training programs and incubation services and need to create partnerships with academic institutions. The establishment of a national bio-industry innovation cluster in either Baghdad or Basra will promote knowledge exchange among its participants.

6. Conclusions

This study proves that commercial success is maximized when innovation management and marketing capabilities are combined within the Iraqi bio-industry context. Marketing capabilities partially mediate the innovation-commercialization relationship (H4 confirmed). Companies with strong innovation management and superior marketing capabilities achieve higher sales growth and shorter time-to-market.

Theoretical Contributions

This study makes several theoretical contributions. First, it extends the Resource-Based View (RBV) by empirically demonstrating that marketing capabilities serve as a key mediating mechanism between innovation management and commercial success. Second, it contributes to signaling theory by showing that in emerging markets such as Iraq, innovation practices signal both technical competence and market orientation. Third, this study is among the first to quantify the indirect effect of innovation management on commercial success (51.5%) transmitted through marketing capabilities. Fourth, by focusing on the Iraqi bio-industry context, it addresses a significant geographical gap in the literature. The time-to-market robustness test establishes a research framework which researchers can use in their upcoming studies.

Limitations: The study examined an insufficient number of participants because multiple companies chose to keep their innovation information confidential.

Future research: The study will proceed by using Bloomberg and Thomson Reuters data to examine the periods before launching and during launching and after launching in three Iraqi regions which are Baghdad and Basra and Erbil and to study

pharmaceutical manufacturing in Samarra and medical device production in Baghdad and biotechnology research in Erbil.

References:

1. Pisano, G. (2006). *Science business: The promise, the reality, and the future of biotech*. Harvard Business Press.
2. Markman, G. D., Siegel, D. S., & Wright, M. (2008). Research and technology commercialization. *Journal of Management Studies*, 45 (8), 1401–1423.
3. Day, G. S. (2011). Closing the marketing capabilities gap. *Journal of Marketing*, 75 (4), 183–195.
4. Baron, R. M., & Kenny, D. A. (1986). The moderator — mediator variable distinction in social psychological research. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51 (6), 1173–1182.
5. Chen, Y. C., Li, P. C., & Lin, Y. H. (2012). How marketing capabilities affect innovation performance. *Journal of Business Research*, 65 (8), 1162–1170.
6. Griffin, A., & Hauser, J. R. (1996). Integrating R&D and marketing: A review and analysis of the literature. *Journal of Product Innovation Management*, 13 (3), 191–215.
7. Cooper, R. G. (2019). The drivers of success in new-product development. *Industrial Marketing Management*, 76, 36–47.
8. Chesbrough, H. W. (2006). *Open innovation: The new imperative for creating and profiting from technology*. Harvard Business Press.
9. Teece, D. J. (2018). Business models and dynamic capabilities. *Long Range Planning*, 51 (1), 40–49.
10. Rothaermel, F. T. (2001). Complementary assets, strategic alliances, and the incumbent's advantage. *Research Policy*, 30 (8), 1235–1251.
11. Narayanan, V. K., & O'Connor, G. C. (2010). *Encyclopedia of technology and innovation management*. Wiley.
12. Tidd, J., & Bessant, J. (2020). *Managing innovation: Integrating technological, market and organizational change* (7th ed.). Wiley.
13. Morgan, N. A. (2012). Marketing and business performance. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 40 (1), 102–119.
14. Fombrun, C. J., & van Riel, C. B. M. (1997). The reputational landscape. *Corporate Reputation Review*, 1 (1), 5–13.
15. Ngo, L. V., & O'Cass, A. (2012). Innovation and business success. *Journal of Business Research*, 65 (8), 1134–1141.

16. Mohammed, T.A. M., & Altaee, A. H. (2021). Evaluating the performance of public companies in the light of financial indicators: Case study of the General Company for Drugs and Medical Supplies / Samarra — Iraq (2014–2019). Journal of Economics and Administrative Sciences, 27 (125), 64–87.

Цифровые экосистемы (платформы) как вектор трансформации экономики и вопросы государственного регулирования цифровых платформ

Артемова Екатерина Андреевна, студент;

Границына Юлия Сергеевна, студент;

Княжева Александра Андреевна, студент;

Середа Кристина Дмитриевна, студент

Научный руководитель: Дрозд Марина Николаевна, преподаватель

Колледж физической культуры и спорта, экономики и технологии Санкт-Петербургского государственного университета

Статья посвящена взаимодействию экономических субъектов и потребителей при использовании цифровых платформ, а также необходимости государственного регулирования такой хозяйственной деятельности для предотвращения недобросовестной конкуренции и для обеспечения прав юридических и физических лиц.

Ключевые слова: экосистема цифровой экономики, цифровая платформа, государственное регулирование платформенной экономики.

Digital ecosystems (platforms) as a vector of economic transformation and issues of state regulation of digital platforms

The article is devoted to the interaction of economic entities and consumers through the use of digital platforms, as well as the need for state regulation of such economic activities to prevent unfair competition and ensure the rights of legal entities and individuals.

Keywords: digital economy ecosystem, digital platform, and government regulation of the platform economy.

В настоящее время в связи с развитием научно-технического прогресса происходит переход от индустриальной платформы экономики к цифровой. В связи с появлением технологий больших данных (big data), искусственного интеллекта (artificial intelligence, AI), концепции «Интернет вещей» (Internet of things, IoT) и других технологий изменяются бизнес-процессы экономических субъектов. Если базой индустриальной платформы были крупные промышленные предприятия металлургии, машиностроения, химической промышленности, то на современном этапе осуществляется переход к экосистемам и цифровым платформам. Ниже приведены понятия цифровой экосистемы и платформы в нормативных документах.

Экосистема цифровой экономики — это партнерство организаций, обеспечивающее постоянное взаимодействие принадлежащих им технологических платформ, прикладных интернет-сервисов, аналитических систем, информационных систем органов государственной власти РФ, организаций и граждан [5, п. 4, пп. с)].

Цифровая платформа — это информационная система, интернет-сайт или программа для обеспечения взаимодействия неограниченного круга лиц, в том числе в целях обмена информацией, ее распространения, продажи товаров (работ, услуг) [3].

Цифровая экосистема — более широкое понятие, чем цифровая платформа. Экосистемы, как партнерство организаций, развиваются на базе цифровых платформ за счет интеграции с другими цифровыми сервисами. Отличительной особенностью экосистемы является присутствие более чем на двух рынках или осуществление различных видов деятельности. Цифровые платформы выступают технологической и организационной основой экосистем. Они представляют инфраструктуру, правила взаимодействия и инструменты, которые позволяют экосистемам функционировать и расширяться. Таким образом, цифровая экосистема — клиентоцентричная бизнес-модель, объединяющая две или более группы продуктов, услуг, источников информации для удовлетворения конечных потребностей клиентов [4]. Примерами успешных экосистем в России являются Сбер, Яндекс. Цифровая трансформация экономики требует в том числе новых подходов в государственном регулировании.

Основными субъектами цифровой экономики являются: государство, экономические субъекты и потребители товаров (работ, услуг). Риски, возникающие в результате развития экосистем/платформ, структурированы в таблице 1.

Таблица 1. Риски развития экосистем/платформ цифровой экономики

Государство и экономика страны в целом	Экономические субъекты (бизнес-структуры)	Потребители товаров (юридические и физические лица)
Киберриски, риски безопасности данных клиентов; риски конкурентоспособности национальной экономики при доминировании иностранных экосистем	Монополизация рынков, недобросовестная конкуренция, преимущество крупных поставщиков по сравнению с малым и средним бизнесом	Навязывание товаров и услуг; нарушение прав потребителей; недостаток ответственности платформ за товары и услуги

Таким образом, по таблице 1 можно сделать вывод, что государственное регулирование цифровых экосистем/платформ посредством создания правовых основ обусловлено необходимостью:

- поддержать качественную конкуренцию, защитить интересы клиентов и поставщиков;
- обеспечить технологический суверенитет (развитие собственных технологий и снижение зависимости от иностранных экосистем и платформ);
- создать правовые условия для стабильного социально-экономического развития в условиях цифровой экономики.

Далее рассмотрим основные направления законодательного регулирования экосистем цифровой экономики в международной практике. На мировом рынке странами, где наиболее развиты экосистемы цифровой экономики, являются США и Китай. По итогам 2025 года доля рынка электронной коммерции Китая составляет 42%, США — 22%, на 3–4 местах — Великобритания и Япония. Россия занимает 5-е место по объему онлайн-покупок [6].

В список 20 лидирующих платформ для прямых продаж товаров и услуг (мировых публичных онлайн-ритейлеров), по данным ECDB Compass, входит Ozon — 13 млрд долларов капитализации¹ (для сравнения: Amazon — 2237 млрд долларов, Alibaba — 340 млрд долларов) [6]. Россия показывает высокий прирост продаж через онлайн-ритейлеров. По оценкам Министерства экономического развития РФ, наша страна может стать третьей страной с масштабными национальными экосистемами [4].

В области государственного регулирования экономики Китай использует модель с многоуровневым и жестким контролем государства.

В США исторически преобладает подход *light touch* (минимального вмешательства), но в последние годы наблюдается тенденция к усилению государ-

¹ Капитализация — рыночная стоимость предприятия, за которую его можно продать.

ственного регулирования в части антимонопольного законодательства и прозрачности деятельности.

В России для минимизации рисков развития цифровой экономики принят Федеральный закон от 31.07.2025 № 289-ФЗ «Об отдельных вопросах регулирования платформенной экономики в Российской Федерации», который вступит в силу с 1 октября 2026 года. Преимущественно закон призван урегулировать недобросовестную практику платформ по отношению к продавцам; в частности, он запрещает платформам ретроактивное изменение правил, обязывает составлять единый договор с продавцами и повышает ответственность платформ за информационную полноту карточек товаров. Для конечных потребителей закон предусматривает защиту при возврате товаров: продавец не имеет права отказать при возврате, но расходы на обратную доставку и риск повреждения ложатся на покупателя. Платформы будут обязаны регистрироваться в специальном реестре Министерства экономического развития России. Платформам с иностранным собственником, чтобы иметь право быть включенным в реестр, необходимо подтвердить аудиторию не менее 100 тысяч пользователей в сутки на территории России.

Таким образом, объективными предпосылками трансформации современной экономики являются новые технологии, которые изменили существующие бизнес-процессы. В цифровой экономике основным фактором производства и повышения его эффективности являются данные в цифровом виде. В связи с этим возникают новые форматы взаимодействия государства, бизнеса и потребителей через экосистемы и цифровые платформы, но появляются и риски, которые необходимо нивелировать с помощью государственного регулирования. Как правило, такие дополнения вносятся в действующие законы: например, для противодействия монополизации экосистем — в Федеральный закон № 135-ФЗ «О защите конкуренции» [1]; для защиты персональных данных — в Федеральный закон № 152-ФЗ «О персональных данных», который должен обеспечить защиту личных данных пользователей в сервисах экосистем [2]; и так далее. В настоящее время появляются специальные нормативные акты: например, Федеральный закон № 289-ФЗ «Об отдельных вопросах регулирования платформенной экономики в РФ» определяет правовые основы платформенной экономики в Российской Федерации и регулирует отношения, возникающие между операторами посреднических цифровых платформ, их партнерами, пользователями и иными лицами в связи с продажей товаров, выполнением работ, оказанием услуг [3]. Кроме того, сами экосистемы и цифровые платформы

на отраслевом уровне для привлечения клиентов стараются создать прозрачные и справедливые условия взаимодействия.

С учетом стремительной цифровой трансформации государственное регулирование в Российской Федерации должно, с одной стороны, стимулировать развитие инноваций, а с другой — минимизировать риски развития экосистем/платформ цифровой экономики.

Литература:

1. Федеральный закон «О защите конкуренции» от 26.07.2006 № 135-ФЗ (ред. от 08.03.2026). — Текст: электронный // КонсультантПлюс: [сайт]. — URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61763/ (дата обращения: 21.06.2026).
2. Федеральный закон «О персональных данных» от 27.07.2006 № 152-ФЗ (ред. от 24.06.2025). — Текст: электронный // КонсультантПлюс: [сайт]. — URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61801/ (дата обращения: 21.06.2026).
3. Федеральный закон «Об отдельных вопросах регулирования платформенной экономики в Российской Федерации» от 31.07.2025 № 289-ФЗ. — Текст: электронный // Президент России: [сайт]. — URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/52331> (дата обращения: 21.06.2026).
4. Концепция общего регулирования цифровых платформ и экосистем. — Текст: электронный // Министерство экономического развития РФ [сайт]. — URL: https://www.economy.gov.ru/material/departments/d31/koncepciya_gos_regulirovaniya_cifrovyh_platform_i_ekosistem/ (дата обращения: 21.06.2026).
5. Указ Президента РФ от 09.05.2017 № 203 «О стратегии развития информационного общества в РФ на 2017–2030 годы». — Текст: электронный // Президент России: [сайт]. — URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41919> (дата обращения: 21.06.2026).
6. ECDB Global E-Commerce Compass 2026. — Текст: электронный // adindex.ru: [сайт]. — URL: [https://adindex.ru/publication/analytics/search/342888/img/ECDB%20Statista_Global%20E-Commerce%20Compass_2026%20\(97%20pgs\).pdf](https://adindex.ru/publication/analytics/search/342888/img/ECDB%20Statista_Global%20E-Commerce%20Compass_2026%20(97%20pgs).pdf) (дата обращения: 21.06.2026).

МЕНЕДЖМЕНТ

Анализ системы образования в Байкаловском муниципальном районе Свердловской области

Папулова Ульяна Александровна, студент магистратуры

Уральский государственный экономический университет (г. Екатеринбург)

Статья посвящена анализу системы дополнительного образования детей в Байкаловском районе. Рассмотрены внутренние аспекты и приоритетные направления, реализуемые системой дополнительного образования. Дополнительное образование рассматривается через ряд факторов деятельности, влияющих на сферу. Уточняются рекомендации для дальнейшего качественного развития системы дополнительного образования в Байкаловском муниципальном районе.

Ключевые слова: образование, дополнительное образование детей, система дополнительного образования, организация работы в сфере образования.

Внутренняя среда системы образования Байкаловского муниципального района представляет собой сложную многоуровневую структуру, охватывающую разные виды образовательных учреждений и направлений деятельности. Данный анализ позволит выявить сильные стороны, слабые места и определить возможные пути развития данной системы.

Система образования Байкаловского района включает в себя:

- 8 средних общеобразовательных школ, реализующих базовые программы обучения.
- 3 основные школы, предназначенные для начальной ступени школьного образования.
- 14 дошкольных образовательных учреждений, обеспечивающих подготовку детей к школьному обучению.
- 4 учреждения дополнительного образования, среди которых выделяют детскую школу искусств, спортивный центр и детско-юношеский центр «Созвездие».

Все перечисленные учреждения функционируют в тесном сотрудничестве друг с другом, обеспечивая непрерывность образовательного процесса и интеграцию традиционных методов обучения с современными педагогическими технологиями.

Дополнительное образование в Байкаловском муниципальном районе представлено тремя учреждениями:

— Байкаловская детская школа искусств. Основная цель школы заключается в выявлении талантливых детей и формировании у них базовых профессиональных компетенций в искусстве. Проводится активная работа по вовлечению детей в культурную жизнь района посредством проведения культурных мероприятий, фестивалей и конкурсов.

— Центр «Созвездие». Здесь реализуется шесть направлений дополнительного образования: художественное, спортивное, естественнонаучное, социально-гуманитарное, туристско-краеведческое и техническое. Особое внимание уделяется формированию у детей необходимых практических навыков и подготовке к поступлению в специализированные учебные заведения.

— Спортивная школа. Основное направление деятельности связано с развитием физической культуры и спорта среди школьников. Учащиеся активно участвуют в соревнованиях разного уровня, демонстрируя высокие результаты.

Концертно-выставочные мероприятия и участие в городских и региональных культурных событиях способствуют росту престижа образовательной системы района. Например, учащиеся детской школы искусств приняли участие в 64 конкурсных мероприятиях в 2023–2024 учебном году, а в следующем году этот показатель увеличился до 67.

Кроме того, регулярно проводятся выставки декоративно-прикладного и изобразительного творчества, концерты и тематические вечера, способствующие популяризации художественных традиций и культурного наследия региона.

Одной из важных составляющих успешного функционирования системы образования является высокий профессионализм педагогов. В последние годы наблюдается рост числа квалифицированных кадров, что позволяет внедрять современные методики обучения и повышать качество образовательных услуг.

Методическое сопровождение осуществляется через разработку программ дополнительного образования, участие в инновационных педагогических инициативах и внедрение федеральных стандартов.

В Байкаловском районе внедряются новые технологии и подходы в обучении, что обеспечивает соответствие образовательных программ современным требованиям рынка труда и запросов учеников. Примером служат инициативы

по открытию специализированных центров «Точка роста», где школьники получают дополнительные знания в области естественных наук и технологий.

Управление системой образования Байкаловского района регулируется федеральными законами и нормативно-правовыми актами субъекта федерации. В данном аспекте особое значение имеет соблюдение требований к качеству предоставляемых образовательных услуг и обеспечению равных возможностей для всех категорий обучающихся.

Организация работы системы образования строится на принципах партнерства с семьей, местным сообществом и различными ведомственными структурами. Программы патриотического воспитания, духовно-нравственного развития и формирования гражданской ответственности помогают формировать ответственное отношение к обществу и окружающей среде.

Для дальнейшего развития сферы образования рекомендуются следующие шаги:

- Повышение квалификации учителей и совершенствование методик преподавания.
- Увеличение объемов финансирования для приобретения современного оборудования и учебных пособий.
- Интеграция лучших практик российского и зарубежного опыта в систему образования.
- Укрепление связей между образовательными учреждениями и работодателями для лучшего соответствия профессиональной подготовки потребностям рынка труда.

Эти шаги позволят создать условия для эффективного функционирования системы образования и повысить её привлекательность для жителей района.

Таким образом, анализ внутренней среды системы образования Байкаловского района демонстрирует значительный потенциал для дальнейшего развития. Несмотря на существующие трудности, такие как недостаток финансирования и ограниченный кадровый резерв, наблюдаются положительные тенденции в повышении качества образования и вовлеченности школьников в активную культурную и социальную жизнь.

Литература:

1. Государственная программа Российской Федерации «Развитие образования на 2018–2025 годы»;

2. Панферова Н. Н. Управление в системе образования: Учебное пособие. Ростов н/Д: Феникс, 2020. 248 с;
3. Пушкарева, Ю. В. Особенности муниципального управления развитием системы образования и его нормативно-правовое регулирование / Ю. В. Пушкарева. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2022. — № 43 (438). — С. 262–265. — URL: <https://moluch.ru/archive/438/95753/> (дата обращения: 06.03.2025).
4. Статья 75. Дополнительное образование детей и взрослых [Электронный ресурс]: федер. закон от 29.12.2012 г. № 273-ФЗ. — Режим доступа: base.garant.ru;
5. Тихонов Е. В. Проблемы дополнительного образования и способы их решения [Текст] / Е. В. Тихонов // Международный научный журнал «Вестник науки» № 4 (61) т. 4, 2023 г.

ГОСУДАРСТВО И ПРАВО

Химико-биологические исследования в почвоведении как инструмент определения времени смерти в судебной практике

Александрова Анастасия Алексеевна, студент;

Николаева Полина Павловна, студент;

Мыльников Даниил Михайлович, преподаватель

Орловский автодорожный техникум

В статье рассматриваются методы химического и биологического анализа почвы как инструмента определения времени смерти в судебной практике. Проводится анализ ключевых параметров почвы, которые изменяются под влиянием разложения органического материала: pH, содержание азота, калия и фосфора, электропроводность, а также структурные изменения в микробных сообществах. Описаны современные методы анализа, включая секвенирование 16S рРНК, метабаркодирование, высокоэффективную жидкостную хроматографию (ВЭЖХ) и геофизические методы. Обоснована необходимость учета внешних факторов (тип почвы, климат, глубина захоронения) для повышения точности экспертных выводов. Были предложены способы интеграции данных почвоведения в криминалистическую практику.

Ключевые слова: судебная экспертиза, тафономия, разложение органических останков, микробиом почвы, секвенирование 16S рРНК, давность захоронения.

Вопрос определения давности смерти остается одним из ключевых вопросов в расследовании преступлений, связанных с захоронением органических останков. Точность определения хронологии событий напрямую влияет на полноту доказательной базы. Органические останки, как биологические объекты, становятся локальным источником значительного количества биоэлементов в окружающую почву после захоронения. Как справедливо отмечают исследователи, процесс разложения приводит к кратковременному, но интенсивному высвобождению веществ, которые трансформируют микробные сообщества и изменяют поток питательных веществ. В то же время продолжи-

тельность сохранения органических останков в почве остается недостаточно изученной, и ее идентификация может служить надежным маркером предписания захоронения.

Целью исследования является оценка возможностей современных методов почвоведения для определения времени смерти и разработка рекомендаций по их применению в правоохранительной деятельности.

Задачи исследования:

1. Систематизировать ключевые химико-биологические параметры почвы, изменяющиеся при разложении тела животного.
2. Описать современные методы анализа данных параметров.
3. Проанализировать влияние внешних факторов (тип почвы, климат, глубина захоронения) на скорость разложения.
4. Предложить алгоритмы интеграции почвенных данных в криминалистику.

Органические останки являются точечными источниками биоэлементов, которые в больших количествах попадают в почву. Количество элементов, попадающих в почву, зависит от веса тушки и стадии разложения. Стабильность изменения концентрации элементов зависит от свойств почвы, влияющих на их транспортировку и удержание.

Химическая трансформация почвы начинается практически сразу после того, как тело животного помещается в землю. Продукты разложения тела — аминокислоты, жирные кислоты и электролиты — попадают в раствор почвы, что влечет за собой ряд изменений, поддающихся характерному измерению. Показатель pH почвы является одним из наиболее информативных параметров. Отклонение от исходного уровня, обычно в щелочном направлении, указывает на активность гнилостных процессов и служит ранним индикатором начала разложения [1].

Второй значимой группой маркеров является изменение элементного состава. При разложении тканей выделяются следующие химические элементы: азот (в основном в виде аммония), фосфор и калий. Данные элементы могут долго сохраняться в почве в повышенных концентрациях, образуя стабильные биогеохимические отклонения от нормы [2]. Кроме того, изменение ионного состава влаги в почве приводит к увеличению электропроводности, что определяется геофизическими методами, включая электротомографию [3].

Особый интерес для современной криминологии представляют микробиологические методы. Почвенный микробиом имеет характерное свойство к регулярному изменению, а также участию в разложении. Использование секвенирования «16S rRNA» позволяет идентифицировать таксономический состав

бактериальных сообществ на разных стадиях распада [4]. В свою очередь, метод метабаркодирования позволяет идентифицировать специфические таксоны микроорганизмов, связанные с определенными фазами танатологических изменений [5]. Динамика микробных сообществ показывает высокую корреляцию с возрастом захоронения, что подтверждается экспериментальной работой на исследуемых объектах [6].

Высокоинформативным методом химического анализа является градиентная микроколоночная высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ). С помощью данного метода можно отдельно определить кислотные растворимые компоненты фракции мышечной ткани, что позволяет установить связь между временем захоронения и степенью сохранности органических молекул в различных типах почв.

Однако ни один из рассмотренных методов не дает абсолютно точного результата без учета внешних факторов. Проведенные наблюдения, в соответствии с литературными данными, показывают, что тип почвы играет ключевую роль. Глинистые почвы с высокой сорбционной способностью замедляют миграцию продуктов разложения и снижают скорость уничтожения микробов. Рыхлые песчаные почвы, напротив, способствуют быстрому распространению трупных выбросов и ускоряют минерализацию органического вещества [2]. Глубина захоронения, присутствие почвенных химических веществ, климатические условия (температура, влажность, сезонность) могут существенно изменить характер и скорость изменения параметров почвы.

Практический опыт показывает, что наиболее точные результаты достигаются при комплексном подходе. Сочетание химических, микробиологических и геофизических методов позволяет: определить профиль вертикального распределения маркеров распада; следить за динамикой изменения индикатора с течением времени; оценить пространственную структуру зоны биогеохимической аномалии [3].

Проведенный анализ исследования позволяет выделить несколько областей развития в изучаемой области. Во-первых, необходимо разработать комплексные модели, объединяющие почвенные, энтомологические и тафономические данные. Такие модели повысят точность определения времени смерти за счет совместной проверки различных показателей. Во-вторых, следует внедрить портативные устройства для быстрого анализа почвы непосредственно на месте происшествия. Это сократит время, необходимое для получения предварительной информации и оптимизации тактики проверки. В-третьих, нужно создать региональные базы данных показателей почвенного фона, ко-

торые обеспечат точную интерпретацию аналитических результатов в различных природных и климатических зонах.

Выводы

Исходя из проведенного исследования необходимо выделить следующие общие выводы:

— Химические и биологические параметры почвы (рН, содержание азота, фосфора, электропроводность, состав микробных сообществ) являются надежными маркерами рецепта захоронения.

— Современные методы анализа, включая секвенирование 16S рРНК, метабаркодирование, ВЭЖХ и геофизическое профилирование, позволяют количественно и качественно оценить танатологические изменения в почве.

— Точность результатов существенно зависит от учета внешних факторов: типа почвы, глубины захоронения, наличия почвенных химических веществ, климатических условий и сезонности.

— Интеграция наземных данных с другими методами судебной экспертизы повышает надежность экспертных выводов и расширяет доказательную базу.

Литература:

1. Fiedler, S. Cadaver imprint on soil chemistry and microbes — Knowns, unknowns, and perspectives / S. Fiedler, K. Kaiser, B. Fournier // *Frontiers in Soil Science*. — 2023. — Vol. 3.
2. Keenan, S. W. Microbial community coalescence and nitrogen cycling in simulated mortality decomposition hotspots / S. W. Keenan, A. L. Emmons, J. M. Debruyne // *Ecological Processes*. — 2023. — Vol. 12, No. 1. — P. 45.
3. Carter, D. O. Cadaver decomposition in terrestrial ecosystems / D. O. Carter, D. Yellowlees, M. Tibbett // *Naturwissenschaften*. — 2007. — Vol. 94, No. 1. — P. 12–24.
4. Stochasticity Highlights the Development of Both the Gastrointestinal and Upper-Respiratory-Tract Microbiomes of Neonatal Dairy Calves in Early Life / A. N. Frazier, L. Ferree, A. D. Belk [et al.] // *Animals*. — 2025. — Vol. 15, No. 3. — P. 361.
5. Soil microbial sensitivity to temperature remains unchanged despite community compositional shifts along geothermal gradients / G. Y. K. Moinet, M. K. Dhami, J. E. Hunt [et al.] // *Global Change Biology*. — 2021.
6. Carter, D. O. Microbial decomposition of skeletal muscle tissue (*Ovis aries*) in a sandy loam soil at different temperatures / D. O. Carter, M. Tibbett // *Soil Biology and Biochemistry*. — 2006. — Vol. 38, No. 5. — P. 1139–1145.

Научное издание

Исследования молодых ученых

Выпускающий редактор Г.А. Письменная
Ответственные редакторы Е.И. Осянина, О.А. Шульга, З.А. Огурцова
Подготовка оригинал-макета О.В. Майер

Материалы публикуются в авторской редакции.

Подписано в печать 07.07.2026. Формат 60х84/16. Усл. печ. л. 10,3.
Тираж 300 экз.

Издательство «Молодой ученый».
420029, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова,
д. 25, пом. 1, 3, 4, 5, 6.

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый»,
Республика Татарстан, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова,
д. 25, пом. 1, 3, 4, 5, 6.