

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный
педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПО ПРИОРИТЕТНЫМ НАПРАВЛЕНИЯМ
БИОЭКОЛОГИИ И БИОТЕХНОЛОГИИ**

Материалы
IX Всероссийской научно-практической конференции
с международным участием
(Ульяновск, 22 мая 2026 г.)

Научное электронное издание

Чебоксары
Издательский дом «Среда»
2026

УДК 57
ББК 28
Ф94

*Рекомендовано к публикации на основании распоряжения
Ульяновского государственного педагогического университета
имени И.Н. Ульянова №1 от 02.03.2026 г.*

Рецензенты: **Беззубенкова Ольга Евгеньевна**, канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярной биологии НИЦ ФППББ, доцент кафедры биологии и химии ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

Фирсова Наталья Викторовна, канд. биол. наук, вед. науч. сотр. лаборатории клеточных технологий НИЦ ФППББ ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

Ефремов Андрей Николаевич, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории молекулярной биологии НИЦ ФППББ ФГБОУ ВО «УлГПУ имени И.Н. Ульянова»

Редакционная коллегия: **Антонова Елена Ивановна**, главный редактор, д-р биол. наук, директор НИЦ ФППББ, профессор кафедры биологии и химии ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

Ленгесова Наталья Анатольевна, канд. биол. наук, доцент кафедры биологии и химии, вед. научн. сотр. лаборатории морфологии НИЦ ФППББ ФГБОУ ВО «УлГПУ имени И.Н. Ульянова»

Фирсова Наталья Викторовна, канд. биол. наук, вед. науч. сотр. лаборатории клеточных технологий НИЦ ФППББ ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

Ф94 **Фундаментальные и прикладные исследования по приоритетным направлениям биоэкологии и биотехнологии** : материалы IX Всерос. науч.-практич. конф. с междунар. участ. (Ульяновск, 22 мая 2026 г.) / гл. ред. Е. И. Антонова. – Чебоксары: Среда, 2026. – 271 с. – 1 CD-ROM. – Загл. с титул. экрана. – Текст : электронный.

ISBN 978-5-908172-15-8

В сборнике представлены статьи участников IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Фундаментальные и прикладные исследования по приоритетным направлениям биоэкологии и биотехнологии». В материалах сборника приведены результаты теоретических и прикладных изысканий представителей научного и образовательного сообщества в области биологии и медицины. Статьи представлены в авторской редакции.

Минимальные системные требования:

PC с процессором Intel 1,3 ГГц и выше ; 256 Мб (RAM) ; Microsoft Windows, MacOS ; дисковод CD-ROM ; Adobe Reader

УДК 57
ББК 28

ISBN 978-5-908172-15-8
DOI 10.31483/a-10871

© ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова», 2026
© Издательский дом «Среда», 2026

ПРЕДИСЛОВИЕ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный педагогический университет имени И.Н. Ульянова» представляет сборник материалов по итогам IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием **«Фундаментальные и прикладные исследования по приоритетным направлениям биоэкологии и биотехнологии»**. В сборнике представлены статьи участников IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Фундаментальные и прикладные исследования по приоритетным направлениям биоэкологии и биотехнологии». В материалах сборника приведены результаты теоретических и прикладных изысканий представителей научного и образовательного сообщества в области биологии и медицины.

По содержанию публикации разделены на основные направления:

1. Актуальные вопросы биоэкологии, систематики, анатомии и морфологии животных и растений.
2. Молекулярная биология.
3. Биомедицинские технологии.
4. Клеточная биология, цитология, гистология, анатомия и физиология.
5. Биохимия и токсикология (биохимические, иммунологические, токсикологические исследования).
6. Педагогические аспекты преподавания дисциплин естественнонаучного цикла.

Авторский коллектив сборника представлен городами (Москва, Великий Новгород, Вологда, Воронеж, Казань, Канаш, Краснодар, Мурманск, Омск, Петрозаводск, Тула, Ульяновск, Чебоксары, Якутск) России, Королевства Саудовская Аравия (Эль-Хубар), Республики Узбекистан (Ташкент).

Среди образовательных учреждений выделяются следующие группы: академическое учреждение (Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина), университеты и институты России (Воронежский государственный технический университет, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, Кубанский государственный университет, МИРЭА – Российский технологический университет, Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого, Омский государственный педагогический университет, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого, Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова, Ульяновский государственный университет, Чувашский государственный аграрный университет, Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова), Королевства Саудовская Аравия (Университет Принца Мохаммеда Бин Фада), Республики Узбекистан (Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека).

Участники конференции представляют собой разные уровни образования и науки: доктора и кандидаты наук, профессора и доценты, научные сотрудники, преподаватели вузов, аспиранты, магистранты, студенты.

Редакционная коллегия выражает глубокую признательность нашим уважаемым авторам за активную жизненную позицию, желание поделиться уникальными разработками и проектами, публикацию в сборнике материалов по итогам проведенной конференции **«Фундаментальные и прикладные исследования по приоритетным направлениям биоэкологии и биотехнологии»**, содержание которого не может быть исчерпано. Ждем Ваши публикации и надеемся на дальнейшее сотрудничество.

Главный редактор
доктор биологических наук, директор НИЦ ФППББ,
профессор кафедры биологии и химии
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный
педагогический университет им. И.Н. Ульянова»
Е. И. Антонова

ОГЛАВЛЕНИЕ

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ БИОЭКОЛОГИИ, СИСТЕМАТИКИ, АНАТОМИИ И МОРФОЛОГИИ ЖИВОТНЫХ И РАСТЕНИЙ

<i>Азамов М.С.</i> Распространение видов рода <i>Jucancistrocerus</i> Blüthgen, 1938 (Hymenoptera: Vespidae: Eumeninae), встречающихся в пустыне Кызылкум Узбекистана.....	8
<i>Барсукова Е.С., Торустанов П.С., Сайфутдинова Д.А., Лукьянов И.А., Красноженова Я.И., Рахматуллова А.З., Шевелев Д.Л., Марьев А.С., Итиякин И.Д.</i> Оценка качества воды рек Ульяновской области.....	11
<i>Бурукина О.А.</i> Пространственная изменчивость депонирования углерода лесными экосистемами национального парка «Лосиный остров» в условиях антропогенной нагрузки	19
<i>Васильева А.С., Фролова М.А., Добросмыслов С.А., Журавлев А.П.</i> Акустический шум как эколого-гигиенический фактор психического и физического состояния человека	26
<i>Го Сыцзяо, Портнова Т.В.</i> Адаптация ассортимента древесно-кустарниковых растений английского пейзажного сада к условиям холодного климата на примере Харбина	30
<i>Гостевойской Н.В., Ленгесова Н.А.</i> Таксономическая структура семейства Staphylinidae (Coleoptera) экосистем Республики Коми и Ульяновской области.....	35
<i>Ефремов А.Н., Пликина Н.В., Свириденко Б.Ф.</i> Рябчик малый (<i>Fritillaria meleagroides</i> Patrin ex Schult. & Schult. f.) в Омской области.....	38
<i>Красноженова Я.И., Шевелев Д.Л., Ленгесова Н.А.</i> Оценка зараженности малого прудовика паразитическими трематодами в реке Свияга в пределах города Ульяновск	41
<i>Крючков С.Н., Буганин С.И.</i> Редкие виды насекомых, внесённые в Красную книгу: результаты полевых наблюдений на территории Геопарка «Ундория»	44
<i>Лепская Т.А.</i> Перспектива создания карбоновых ферм в Арктике	47
<i>Мерзлякова Ю.А., Григорьян Л.Р., Гордин М.И., Тяжолова Е.В.</i> Исследование влияния озонированной воды на микробиологические объекты	50
<i>Нормуродов М.Д., Азимов Н.Н.</i> Современный видовой состав и карта распространения ящериц Южного Кызылкума.....	53
<i>Платонов П.Е., Фролова М.А., Журавлев А.П.</i> Содержание стронция в листьях лопуха большого (<i>Arctium lappa</i> L.) первого года жизни.....	57
<i>Сируляева В.В., Фролова М.А., Добросмыслова И.А., Добросмыслов С.А., Журавлев А.П.</i> Антибактериальные свойства распространённых растений	61
<i>Шевелев Д.Л., Красноженова Я.И., Ленгесова Н.А.</i> Видовое разнообразие чешуекрылых (Lepidoptera) в природных комплексах поселка Поливно (г. Ульяновск)	65
<i>Эргашева А.З., Мирзаева Г.С., Азамов М.С.</i> Распространение настоящих ос в экосистеме ташкентского оазиса	68
<i>Эргашева А.З., Мирзаева Г.С., Азамов М.С.</i> Экологическая характеристика настоящих ос (Hymenoptera: vespidae) в биоценозе ташкентского оазиса	71
<i>Яблонская Е.К.</i> Изучение замедленной флуоресценции хлорофилла у микроводорослей штамма <i>Chlorella</i> под воздействием аминокислот	75
<i>Яблонская Е.К., Козубов А.С., Мачнева Н.Л., Яценко М.М.</i> Влияние различных аминокислот при культивировании микроводоросли <i>Chlorella</i> штамм GKO на накопление пигментов, азота и белка в биомассе.....	75

МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

<i>Антонова Е.И., Куницына А.В., Ачилов А.Б., Шишин С.А.</i> Maldi-tof как инструмент неинвазивного скрининга онкомаркеров в аспекте развития персонализированной медицины.....	81
<i>Антонова Е.И., Фирсова Н.В., Итйякин И.Д., Шевелев Д.Л., Красноженова Я.И.</i> Биомедицинские поисковые системы и платформы – инструмент для оценки активности, новизны и коммерческого потенциала научных исследований	87
<i>Балан О.В., Малышева И.Е., Марусенко И.М., Барышева О.Ю.</i> Роль полиморфизма генов SLC19A1 (rs946631560), IL6 (rs1800795) и длинной некодирующей РНК IL6-AS в формировании терапевтического ответа на метотрексат у больных ревматоидным артритом	90
<i>Бильдякова Л.А., Антонова Е.И.</i> Гематоцитогенетические аспекты диагностики детей с синдромом Дауна	99
<i>Степанкова Д.А., Елбоева П.И., Мартынова Е.В., Давидюк Ю.Н., Кабве Э., Андреева Н.Ю., Хайбуллина С.Ф.</i> Анализ частот генотипов однонуклеотидных полиморфизмов генов раннего иммунного ответа у больных ГЛПС	104

БИОМЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

<i>Альшабан Д.Л., Еникеев А.А.</i> Автономные роботы по уходу на ферме: этика замещения человеческого труда	108
<i>Григорьян Л.Р., Рефатов Э.А.</i> Интеллектуальная система обратной связи для физиотерапевтической реабилитации на основе анализа биосигналов.....	110
<i>Елбоева П.И., Андреева Н.Ю., Степанкова Д.А., Баталин А.Д., Мартынова Е.В., Кабве Э., Давидюк Ю.Н., Хайбуллина С.Ф.</i> Мультиэпитопные вакцины против инфекционных заболеваний: концепция и дизайн вакцинной конструкции in silico.....	113
<i>Фёдоров И.В.</i> Классификация физических параметров оценки медицинских дисплеев.....	117
<i>Шагундоков А.З., Курсачев А.Г.</i> Анализ влияния низкоинтенсивного лазерного излучения на релаксационные характеристики водных растворов методом ЯМР-спектроскопии.....	123

КЛЕТОЧНАЯ БИОЛОГИЯ, ЦИТОЛОГИЯ, ГИСТОЛОГИЯ, АНАТОМИЯ И ФИЗИОЛОГИЯ

<i>Александрова А.В., Фролова М.А., Сапёрова Е.В., Добросмыслов С.А., Журавлев А.П.</i> Здоровье зрительных органов обучающихся	132
<i>Бриантон А.С., Антонова Е.И., Чистякова Н.П.</i> Микробиом кожи человека при онкозаболеваниях кожи	137
<i>Зубова Н.М., Антонова Е.И.</i> Анализ факторов колонизации кишечной микробиоты новорожденных	144
<i>Коннова М.Е., Антонова Е.И.</i> Железодефицитная анемия детей, механизм развития, группы риска	148
<i>Лаврентьева А.О., Фролова М.А., Сапёрова Е.В., Добросмыслов С.А., Журавлев А.П.</i> Влияние музыки различных жанров на поведенческие и физиологические показатели домашних животных.....	157
<i>Монастырев А.А., Васильев Д.Н.</i> Молекулярно-физиологические механизмы сенсорной трансдукции в ноцицептивных нейронах дорсальных ганглиев при хронической боли.....	161
<i>Монастырев А.А., Максимов А.А., Бурнашев В.Н.</i> Влияние хронического стресса на гистологическую структуру и нейрональную возбудимость гиппокампа в возрастном аспекте ...	166
<i>Монастырев А.А., Максимов А.А., Бурнашев В.Н.</i> Роль митохондриальной динамики (деление/слияние) в регуляции сократительной функции кардиомиоцитов при физической нагрузке	170

<i>Николаева П.П., Фролова М.А., Добросмылова И.А., Добросмыслов С.А., Журавлев А.П.</i> Анализ артериального давления при нагрузках	173
--	-----

<i>Страхова Н.А., Антонова Е.И.</i> Интраэпителиальные неоплазии шейки матки – диагностика, прогноз	178
---	-----

<i>Фомина Л.Л., Ошуркова Ю.Л., Баруздина Е.С., Кузнецов А.А.</i> Обоснование необходимости ветеринарного коагулометра для корректной оценки гемостаза у разных видов животных.....	185
--	-----

БИОХИМИЯ И ТОКСИКОЛОГИЯ (БИОХИМИЧЕСКИЕ, ИММУНОЛОГИЧЕСКИЕ, ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ)

<i>Андреева Л.В.</i> Выбор оптимальных параметров процесса извлечения каротиноидов из вторичного сырья шлемника байкальского (<i>Scutellaria baicalensis</i> Georgi)	189
---	-----

<i>Афанасьев Е.С., Клементьев Е.А., Пушкина К.В.</i> Сравнительный химический анализ молока различных торговых марок как инструмент контроля качества пищевой продукции	191
---	-----

<i>Владимирова О.Д., Кудряшова Ю.С., Пушкина К.В.</i> Сульфаты в шампунях и их влияние на состояние волос	196
---	-----

<i>Зимнуров А.Р., Бережко А.Е., Фирсова Н.В., Антонова Е.И.</i> Взаимодействие сигнальных путей и фагоцитарной активности в системе врожденного иммунитета у детей	199
--	-----

<i>Зиновьева Е.И., Антонова Е.И.</i> Гипотиреоз как клинический синдром нарушения функций щитовидной железы	202
---	-----

<i>Какулина В.А., Зозуля Л.В.</i> Биохимические показатели углеводного и липидного обмена у детей с осложненным течением сахарного диабета первого типа	207
---	-----

<i>Куланова Д.В., Полтаева Д.М., Фролова М.А., Сапёрова Е.В., Добросмыслов С.А., Журавлев А.П.</i> Физико-биологическая роль воды и зависимость плотности водных растворов от концентрации сахарозы	211
---	-----

<i>Макарова Д.В., Фролова М.А., Добросмылова И.А., Добросмыслов С.А., Журавлев А.П.</i> Экспериментальная оценка токсичности продуктов курения на модельные организмы	217
---	-----

<i>Семёнова О.Г., Добросмылова И.А., Фролова М.А., Сапёрова Е.В., Добросмыслов С.А., Журавлев А.П.</i> Фармаколого-биохимические свойства и практики применения лекарственных растений	221
--	-----

<i>Убейкина З.Н., Даминова А.А., Добросмылова И.А., Фролова М.А., Сапёрова Е.В., Добросмыслов С.А., Журавлев А.П.</i> Роль водородных связей в формировании уникальных свойств воды	229
---	-----

<i>Хорохордина Е.А., Краснов А.А., Аникин Д.А.</i> Экотоксикологические аспекты горения древесно-стружечных плит и биотехнологические подходы к снижению их опасности	233
---	-----

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИН ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОГО ЦИКЛА

<i>Ахмедова Ф.А., Истомина Е.Ю.</i> Использование интерактивных технологии при обучении биологии.....	235
---	-----

<i>Ахмедова Ф.А., Истомина Е.Ю.</i> Развитие навыков soft skills у школьников на уроках биологии при изучении раздела «Зоология»	237
--	-----

<i>Баруздина Е.С., Ошуркова Ю.Л., Фомина Л.Л.</i> Актуальность и примеры использования интерактивных практикоориентированных заданий по дисциплине «Патологическая анатомия и судебно-ветеринарная экспертиза» для подготовки ветеринарных врачей.....	241
--	-----

<i>Гассий М.В.</i> Когнитивные и нейрофизиологические аспекты освоения физических теорий: от нейронных сетей до теории когнитивной нагрузки.....	245
--	-----

<i>Горшанова А.В., Ленгесова Н.А.</i> Игровые технологии как средство повышения познавательной активности учащихся на уроках биологии.....	253
--	-----

6 <i>Фундаментальные и прикладные исследования по приоритетным направлениям биоэкологии и биотехнологии</i>	
--	--

<i>Крючков С.Н., Истомина Е.Ю.</i> Типология и педагогический потенциал палеонтологических музеев Российской Федерации	255
<i>Малофеева А.А.</i> Развитие мотивации к исследовательской деятельности у подростков на уроках биологии	260
<i>Сергеева А.А.</i> Пути использования технологии проблемного обучения в процессе изучения биологии в школе	263
<i>Хуснутдинова А.С., Тютрина Д.В.</i> Использование цифровых технологий и активных методов обучения в преподавании клинических ветеринарных дисциплин	266
<i>Шалимов В.Ю., Якубень З.А., Филипская А.В.</i> Функционирование англоязычных терминов-неологизмов в русскоязычном дискурсе биотехнологии	268

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ БИОЭКОЛОГИИ, СИСТЕМАТИКИ, АНАТОМИИ И МОРФОЛОГИИ ЖИВОТНЫХ И РАСТЕНИЙ

Azamov Mirsobirjon Sobitjon ugli

doctoral student

Institute of Zoology of the Academy of Sciences
of the Republic of Uzbekistan
Tashkent, Republic of Uzbekistan

DISTRIBUTION OF SPECIES BELONGING TO THE GENUS JUCANCISTROCERUS BLÜTHGEN, 1938 (HYMENOPTERA: VESPIDAE: EUMENINAE) OCCURRING IN THE KYZYLKUM DESERT OF UZBEKISTAN

Abstract: this article presents data on the distribution of species belonging to the genus *Jucancistrocerus* Blüthgen, 1938 occurring in the Kyzylkum Desert of Uzbekistan. According to the results of the study, two species of this genus were recorded in the Kyzylkum Desert. These species are of particular importance, as they are recorded from the Kyzylkum Desert for the first time. At present, a total of three species of the genus *Jucancistrocerus* are known from the fauna of Uzbekistan. The obtained data serve as an important scientific basis for clarifying the distribution range of representatives of this genus in Uzbekistan, assessing their faunistic composition in desert ecosystems, and conducting further studies on the subfamily Eumeninae.

Keywords: *Jucancistrocerus*, Vespidae, Eumeninae, Kyzylkum Desert, fauna of Uzbekistan.

Азамов Мирсобиржон Собитжон угли

докторант

ГУ «Институт зоологии
Академии наук Республики Узбекистан»
г. Ташкент, Республика Узбекистан

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВИДОВ РОДА JUCANCISTROCERUS BLÜTHGEN, 1938 (HYMENOPTERA: VESPIDAE: EUMENINAE), ВСТРЕЧАЮЩИХСЯ В ПУСТЫНЕ КЫЗЫЛКУМ УЗБЕКИСТАНА

Аннотация: в статье приведены сведения о распространении видов рода *Jucancistrocerus* Blüthgen, 1938, встречающихся в пустыне Кызылкум Узбекистана. По результатам исследования на территории пустыни Кызылкум выявлены два вида, относящиеся к данному роду. Эти виды имеют особое значение, поскольку впервые зарегистрированы для пустыни Кызылкум. В настоящее время в фауне Узбекистана известно всего три вида рода *Jucancistrocerus*. Полученные данные служат важной научной основой для уточнения ареала распространения представителей данного рода на территории Узбекистана, оценки их фаунистического состава в пустынных экосистемах, а также для проведения дальнейших исследований по подсемейству Eumeninae.

Ключевые слова: *Jucancistrocerus*, Vespidae, Eumeninae, пустыня Кызылкум, фауна Узбекистана.

The desert regions of Uzbekistan are of considerable scientific interest due to the diversity of their insect fauna, including species belonging to the order Hymenoptera. Representatives of the subfamily Eumeninae of the family Vespidae are widely distributed in natural ecosystems; however, some of their genera remain insufficiently studied. One such genus is *Jucancistrocerus* Blüthgen, 1938, for which data on species composition and distribution in the desert regions of

Uzbekistan are limited. The recording of representatives of this genus in the Kyzylkum Desert provides an opportunity to study the regional entomofauna in greater detail, enrich existing faunistic checklists, and clarify the geographical distribution of the species.

At present, 17 species of the genus *Jucancistrocerus*, belonging to the subfamily Eumeninae of the family Vespidae, are known in the world fauna [2]. Three species of this genus have been recorded in the fauna of Uzbekistan according to the scientific literature [4]. The main objective of this study was to investigate the regional distribution and frequency of occurrence of representatives of the genus *Jucancistrocerus* in the Uzbek part of the Kyzylkum Desert.

Field studies aimed at identifying species of the genus *Jucancistrocerus* and studying their distribution were carried out in May 2025 in several areas of the Kyzylkum Desert. The materials were collected from Tomdi and Uchquduq districts of Navoi Region, including the surroundings of Mingbuloq village. During the research, entomological methods recommended by V. Moericke (1951) and other researchers were used [5]. Insect specimens were collected using an entomological net with a diameter of 38–40 cm, yellow plastic Moericke-type traps, Malaise traps, and other standard field methods. Specimens caught with the net were carefully removed using forceps and preserved in 96% ethyl alcohol and in special containers with cotton. Based on the collected entomological materials, collection specimens were prepared in the Entomology Laboratory of the Institute of Zoology of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan.

The identification of representatives of the genus *Jucancistrocerus* belonging to the subfamily Eumeninae was carried out using a ZEISS Stemi 305 microscope. Species identification was based on relevant taxonomic and faunistic sources, including the works of van der Vecht & Fischer (1972), Li et al. (2022), and Medetov et al. (2025) [3; 4; 6]. The study sites, habitats, and host plants on which the species were recorded were photographed using a Canon EOS 5D Mark II camera and a Xiaomi 12X smartphone camera. The geographical coordinates of the sampling sites were recorded using the Maps.me application. Based on the obtained data, distribution maps of the species were prepared using ArcGIS Pro software [1].

According to the results of our research, two species belonging to the genus *Jucancistrocerus* were found to occur in the Kyzylkum Desert of Uzbekistan.

Order – Hymenoptera.

Suborder – Apocrita.

Superfamily – Vespoidea.

Family – Vespidae.

Subfamily – Eumeninae.

Genus – *Jucancistrocerus* Blüthgen, 1938.

1. *Jucancistrocerus consimilis* (Morawitz, 1895).

Material examined: 2♀♀, 1♂, Uzbekistan, Navoi Region, Uchquduq District, Mingbuloq village (42°11'36.4»N, 62°48'43.0»E), 10.V.2025 (Fig. 1).

Distribution: Iran, Turkmenistan, Tajikistan, Uzbekistan, Kazakhstan.



Fig. 1. Collection specimen prepared from *Jucancistrocerus consimilis*

2. *Jucancistrocerus tachkendensis* (Dalla Torre, 1889).

Material examined: 1♀, 2♂♂, Uzbekistan, Navoi Region, Tomdi District (42°01'42.7»N, 64°47'46.9»E), 9.V.2025 (Fig. 2).

Distribution: China, Afghanistan, Pakistan, Turkmenistan, Kazakhstan, Uzbekistan.



Fig. 2. Collection specimen prepared from *Jucancistrocerus tachkendensis*

During the studies conducted in the Kyzylkum Desert of Uzbekistan, two species of the genus *Jucancistrocerus*, belonging to the subfamily Eumeninae of the family Vespidae, were recorded. The identified species, *J. consimilis* and *J. tachkendensis*, were recorded for the first time from the study area.

Список литературы

1. Видовой состав подсемейства Eumeninae (Hymenoptera: Vespidae) в пустыне Кызылкум в Узбекистане / М.С. Азамов, Б.Р. Холматов, Г.С. Мирзаева, М.А. Ембергенов // Актуальные проблемы биоразнообразия: материалы III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Чебоксары, 2026. – С. 9–14.
2. Catalogue of Life Consortium. Catalogue of Life. – 2026. – URL: <https://www.catalogueoflife.org/> (дата обращения: 01.07.2026).
3. Li T.-J. A revision of the genus *Jucancistrocerus* Blüthgen, 1938 from China, with review of three related genera (Hymenoptera: Vespidae: Eumeninae) / T.-J. Li, Y. Bai, B. Chen // Zootaxa. – 2022. – Vol. 5105, № 3. – P. 401–420. – DOI: 10.11646/zootaxa.5105.3.4. EDN WJSDHQ
4. The fauna of Vespidae (Hymenoptera) in Uzbekistan / M. Medetov, M. Embergenov, Z. Minazhatdinova [et al.] // Biosystems Diversity. – 2025. – Vol. 33, № 2. – P. 252–260. – DOI: 10.15421/012526. EDN YNHFUR
5. Moericke V. Eine Farbfalle zur Kontrolle des Fluges von Blattläusen, insbesondere der Pfirsichblattlaus, *Myzodes persicae* (Sulz.) / V. Moericke // Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes. – 1951. – Bd. 3. – S. 23–24.
6. van der Vecht J. Hymenopterorum Catalogus. Pars 8. Palaearctic Eumenidae / J. van der Vecht, F.C.J. Fischer. – 's-Gravenhage: Dr. W. Junk N.V., 1972. – 199 p.

Барсукова Екатерина Сергеевна

младший научный сотрудник

Научно-исследовательский центр фундаментальных
и прикладных проблем биоэкологии и биотехнологии

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный

педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

г. Ульяновск, Ульяновская область

Торутанов Павел Сергеевич

младший научный сотрудник

Научно-исследовательский центр фундаментальных
и прикладных проблем биоэкологии и биотехнологии

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный

педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

г. Ульяновск, Ульяновская область

Сайфутдинова Дина Алмасовна

лаборант-исследователь

Научно-исследовательский центр фундаментальных
и прикладных проблем биоэкологии и биотехнологии

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный

педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

г. Ульяновск, Ульяновская область

Лукьянов Иван Алексеевич

лаборант-исследователь

Научно-исследовательский центр фундаментальных
и прикладных проблем биоэкологии и биотехнологии

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический
университет им. И.Н. Ульянова»

г. Ульяновск, Ульяновская область

Красноженова Яна Игоревна

студентка

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный

педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

г. Ульяновск, Ульяновская область

Рахматуллова Анна Закировна

студентка

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный

педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

г. Ульяновск, Ульяновская область

Шевелев Данил Леонидович

студент

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный

педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

г. Ульяновск, Ульяновская область

Марьев Александр Сергеевич

студент

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный

педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

г. Ульяновск, Ульяновская область

Итййкин Иван Дмитриевич

студент

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный

педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

г. Ульяновск, Ульяновская область

DOI 10.31483/r-168301

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕК УЛЬЯНОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация: в статье представлены результаты комплексного исследования качества воды рек Ульяновской области. Установлена динамика микробиологического состава с учетом антропогенной нагрузки, выявлены сходства и отличия в видовом составе. Так самое

большое видовое разнообразие выявлено в водах реки Сельдь и минимальное в водах реки Волга, что свидетельствует о неравномерном распределении антропогенной нагрузки в регионе. Определены органолептические показатели, показатели цветности и показатель жесткости воды. Полученные данные подтверждают актуальность проблемы загрязнения поверхностных внутренних вод.

Ключевые слова: реки, микробиология, экология, качество воды, общее микробное число (ОМЧ), условно-патогенные бактерии, MALDI-TOF, антропогенная нагрузка, жесткость воды.

Вода – незаменимый ресурс, с точки зрения физиологии, гигиены, и санитарной микробиологии. Вода является совокупностью объектов, к каждому из которых предъявляются свои требования в зависимости от сферы ее использования. Малые и средние реки критически важны для эпидемической безопасности сёл и рекреационных зон. Важность соответствия санитарным нормам с позиции эпидемической безопасности водных объектов, для использования человеком, отражено в документах ВОЗ, СанПИН [15; 17].

Оценка качества водных ресурсов сопряжена с рядом трудностей, таких как: количество и разнообразие патогенных видов микроорганизмов способных находится в экосистемах столь велико, что определить все их невозможно, так как большинство водных микроорганизмов относятся к категории некультивируемых. Когда речь идет о так называемой «микробной тёмной материи» или «некультивируемом микробном большинстве», это подавляющее большинство микроорганизмов, о существовании которых нам известно (поскольку мы можем обнаружить их в метагеномах или исследуя ампликоны гена 16S рРНК), но которые до сих пор не были культивированы в лаборатории. Несмотря на десятилетия исследований, большинство микроорганизмов окружающей среды, в том числе водной, остаются некультивируемыми. Это ограничивает наши возможности в изучении их физиологии и роли в геоэкологических процессах [16]. А также, необходимо учитывать, что наличие патогенных микроорганизмов не постоянно и значительно уступает числу непатогенных или условно-патогенных микроорганизмов, соответственно в структуре заболеваемости населения преобладают заболевания, вызываемые условно-патогенными микроорганизмами [6; 7; 11; 17].

Состав микробиоценозов водоемов зависит от концентрации органических и минеральных веществ, температуры, pH, концентрации кислорода и углекислого газа, скорости движения воды и от массивности поступления ливневых, фекально-бытовых и промышленных сточных вод [1]. В свою очередь санитарно-микробиологическое состояние поверхностных вод, согласно СанПиН 1.2.3685–21, зависит от количества аэробных бактерий, бактерий группы *Enterobacteriaceae* (БГКП или колиформы) *Enterococcus* (БГСА, *S. pyogenes*), *Proteus*, *Staphylococcus*. Естественное самоочищение водоема от органического загрязнения является в основном биохимическим процессом и неразрывно связано с жизнедеятельностью разнообразной сапрофитной микрофлоры, осуществляющей биodeградацию различных видов загрязнений.

В связи с этим основной целью исследования является комплексный мониторинг водоемов Ульяновской области, особенно рек вдали от областного центра, крупных предприятий.

Материалы и методы. Микробиологический, органолептический и химический анализ проводили в образцах проб, которые отбирали из рек Ульяновской области, таких как:

– Тереньгулька – берёт начало в Теренгульском районе Ульяновской области, юго-западнее села Назайкино, в Белых горах, на высоте около 200 м. над уровнем моря. Протяженность 54 км, питание смешанное. В летний период река мелеет, а в районе истоков может пересыхать. Основное хозяйственное назначение – водоснабжение [4; 8];

– Волга – одна из крупнейших рек мира и самая большая по водности, площади бассейна и протяженности в Европе, впадает в бессточный (внутренний) водоём. Исток расположен на Валдайской возвышенности, устье – в Каспийском море, где река формирует обширную

дельту. Бассейн Волги охватывает густонаселённые и промышленно развитые регионы, в связи с этим является важным природным и хозяйственным объектом [4; 8; 13];

– Рамалейка – левобережный приток реки Инза (бассейн Суры и Волги), протекает по территории Базарносызганского района. Питание смешанное, с преобладанием снегового. Вода используется местным населением в рекреационных целях. Территория вдоль реки преимущественно сельскохозяйственная и лесохозяйственная, что влияет на состояние водных ресурсов. Хозяйственное использование включает обеспечение хозяйственно-бытовых нужд, рекреацию и любительское рыболовство [4; 8];

– Сельдь – левый приток Свияги, протекающая по территории города Ульяновска. Протяженность реки – 66 км, площадь водосбора – 989 км². Река испытывает значительную антропогенную нагрузку и относится к категории сильно загрязнённых. Вода непригодна для купания и рыбохозяйственных целей. Основными источниками загрязнения являются: ливневые стоки с автомобильных дорог, сбросы от частных домовладений с устаревшими септиками, несанкционированные свалки в прибрежной полосе [4; 5; 8; 9; 17];

– Карасёвка – река, протекающая по территории Заволжского района г. Ульяновска. Исток образуют три основных родника, два из которых выступают в роли рукавов реки. На всём протяжении водотока подпитывается мелкими родниками [17].

Забор проб воды проводили в двух точках (в близи – проба №1 и в отдалении от города – проба №2) с глубины 10 см в стерильные ёмкости, с плотно закрывающимися пробками объёмом 1000 мл (ГОСТ 31942-2012).

Микробиологический анализ образцов воды проводили культуральным методом путем заселения на твёрдую агаризованную питательную среду – Эндо, которую готовили согласно инструкции производителя (Оболensk, ФБУН ГНЦ ПМБ, Россия), с последующим культивированием в термостате (LabTech, США) при температуре 37°C в течение 24 часов. В культуре определяли общее микробное число (ОМЧ) путем подсчета колоний, которое характеризует степень общего бактериального загрязнения; общие колиформные бактерии (ОКБ), на определение возможного фекального загрязнения; термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ) и наличие кишечной палочки (*E. coli*), как показатель свежего фекального загрязнения [12].

Все работы проводили в боксовых помещениях лаборатории микробиологии в ламинар боксах SC2–4A1 (Esco, Сингапур).

Видовую идентификацию микроорганизмов проводили по истечении 24 часов культивирования методом времяпролетной масс-спектрометрии в системе MALDI-TOF MS Sepsityper в программе flexControl (Bruker Daltonics, Германия) согласно протоколу производителя. В работе использовали раствор СНСА-матрицы (альфа-циано-4-гидроксикоричная кислота), который вносили на лунки пластины, предварительно покрытые колониями. Интерпретация результатов исследования проводилась в программе MBT Compass по полученным в ходе идентификации масс-спектрам, которые несут в себе информацию о молекулярной массе белка и его структуре (белковое профилирование). Процесс идентификации основан на сравнении полученных масс-спектров с референсными спектрами, в базах данных, которые поставляются производителем вместе с оборудованием. Чувствительность метода обеспечивает возможность идентификации и количественного определения аналитов на основе отношения массы к заряду (m/z) при концентрациях в аттомолярном диапазоне (10–18 аМ, предельно малые концентрации веществ 10–18 моль/л) [2].

Выделение и идентификация микроорганизмов проводились согласно общепринятым методологическим подходам (Приказ об унификации микробиологических методов исследования №535, 2020), а также согласно рекомендациям по выделению и идентификации некоторых возбудителей, изданным Международной Ассоциацией Клинической Микробиологии и Антимикробной Химиотерапии (МАКМАХ) полуавтоматическими и автоматическими методами, а также высокотехнологичными методами.

Жесткость воды определяли согласно протоколу ГОСТ 31954-2012. Уровень pH измеряли на приборе pH-метр S-220 Kit (производства Mettler Toledo, Швейцария), согласно протоколу производителя. Жесткость устанавливали титрованием раствором трилона Б с эриохром чёрный Т или хромовый тёмно-синий. К 10 см³ стандартного раствора Mg²⁺ добавляют 90 см³ бидистиллированной воды, 5 см³ буфера и индикатор. Титруют трилоном Б до изменения окраски: для эриохрома чёрного Т – из красно-фиолетовой в синюю с зеленоватым оттенком, для хромового тёмно-синего – в сине-фиолетовую. Результат – среднее трёх определений. Расчёт проводили по формуле $K = 10 / V$, где V – объём трилона Б на титрование стандарта, см³. Жёсткость воды определяли в градусах жесткости (Ж):

$$Ж = (M \cdot F \cdot K \cdot V_{тр}) / V_{пр}, \text{ где } M = 2 \cdot \text{Стр},$$

где M – коэффициент пересчёта, который связывает объём израсходованного титранта (трилона Б) с градусами жёсткости (Ж), вычисляли по формуле:

$$M = 2 \cdot \text{Стр},$$

где Стр. – концентрация раствора трилона Б в ммоль/дм³ (или, в моль/м³).

При стандартной концентрации трилона Б, равной 0,05 моль/дм³ (что соответствует 50 ммоль/дм³), F – множитель разбавления (обычно 1), K – коэффициент поправки, V_{тр} – объём трилона Б на титрование пробы, см³, V_{пр} – объём пробы, см³.

Органолептические показатели характеризуют свойства воды, воспринимаемые органами чувств человека. Эти параметры имеют большое значение для потребительского восприятия качества воды и могут служить индикаторами различных видов загрязнения (табл. 1). Появление выраженного запаха может свидетельствовать о загрязнении воды органическими веществами, хлором или продуктами жизнедеятельности микроорганизмов. Повышенная цветность может указывать на присутствие гумусовых веществ, соединений железа или антропогенных загрязнителей (ГОСТ 31868–2012).

Все работы выполнялись на базе научно-исследовательского центра фундаментальных и прикладных проблем биоэкологии и биотехнологии ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова» с соблюдением требований СанПИН и ГОСТ: СанПин 2021 года №464н; Методические указания МУ 1.3.2569–09; Приказ Минздрава России 2020 года №785н.

Таблица 1

Шкала органолептических показателей воды в норме

Балл	Запах	Цветность	Градус платинокобальтовой шкалы
0	Отсутствие запаха или привкуса	Очень малая	До 25
1	Очень слабый, обнаруживается только опытным исследователем	Малая	От 25 до 50
2	Слабый, обнаруживается потребителем при обращении внимания	Средняя	От 50 до 80
3	Заметный, легко обнаруживается	Высокая	От 80 до 120
4	Отчетливый, обращает на себя внимание	Очень высокая	Более 120
5	Очень сильный, делает воду непригодной для питья		

Результаты и обсуждение. Выявленное распределение микроорганизмов отражает сложную картину микробиоты речных экосистем Ульяновской области (табл. 2). Так, в частности, по результатам проведенного исследования выявлено 29 видов бактерий, относящихся к 10 родам (табл. 2). Наиболее часто встречались представители родов: *Aeromonas* (8 видов, 26%), *Serratia* (6 видов, 20%), *Acinetobacter* (4 вида, 13%), *Pseudomonas* (4 вида, 13%), *Enterobacter* (2 вида, 6%), а также *Escherichia*, *Yersinia*, *Cronobacter*, *Ewingella* и *Pontoea* (по 1 виду, по 3%).

В большинстве исследованных точек забора вода по показателю ОМЧ соответствует установленным нормам. Так, на реке Теренгульке в точке забора №1; на обеих точках забора в

реке Волга; на реке Рамалейка, Сельдь, Карасевка и Свияга в точке забора №2 значения находятся в пределах от 20 до 50 КОЕ/мл, не превышая нормативных показателей. При этом на реке Волга и Теренгулька в точках забора №1 показатель ОМЧ минимальна (20 КОЕ/мл). В точках забора №2 рек Волга, Карасевка и Свияга, а также в точке забора №1 реки Рамалейка ОМЧ находится по верхней границе нормативных показателей (50 КОЕ/мл). На реке Теренгулька в точке забора №2 и на реках Сельдь и Карасевка в точках забора №1 отмечено самый высокий показатель ОМЧ (10^2 КОЕ/мл), что говорит о неблагоприятном воздействии антропогенных факторов для рек Сельдь и Карасевка, а в случае реки Теренгулька, по всей видимости, отражает нарушение природного механизма самоочищения водной экосистемы.

Анализ видового состава.

В реке Теренгулька выявлено 4 вида микроорганизмов в точке забора №1, среди которых преобладает типичная водная микрофлора, в виде представителей рода *Aeromonas* (вид *Bestarum*, *Encheleia*, *Enteropelogenes*, *Popoffii*). В точке забора воды №2 количество видов снижается до двух представителей условно патогенными для человека микроорганизмами род *Serrata* (*Fonnticola*) и род *Yersinina* (*Intermtidia*).

В реке Волга выявлено 3 вида микроорганизмов в точке забора №1 рода *Pseudomonas* среди которых преобладают естественные сапрофитные микроорганизмы вид *Chlororaphis*, *Japonica*, *Protegens*, которые являются широко распространенной частью естественной микрофлоры, связанные в первую очередь с механизмами самоочищения водной экосистемы. Присутствие *Pseudomonas* указывает на их естественное доминирование в чистых акваториях. В точке забора воды №2 количество видов снижается до двух представителей рода *Aeromonas* – *A. popoffii* и *A. jandaei*.

В воде реки Рамалейка в точке забора №1 выявлено 3 вида рода *Aeromonas* (*Bestarum*, *Ichthismia*) и рода *Yersinina* (*Intermtidia*). В точке забора №2 выявлено 4 вида только рода *Aeromonas* (*Bestarum*, *Ichthismia*, *Jandaei*, *Popoffii*). В обеих точках преобладают представители рода *Aeromonas*, что говорит о стабильном органическом загрязнении по всему течению реки (табл. 2).

В точке забора воды №1 реки Сельдь определено 9 видов 4-х родов микроорганизмов: *Aeromonas* (*Enteropelogenes*, *Jandaei*, *Media*, *Popoffii*, *Veronii*), *Cronobacter* (*sp*), *Enterobacter* (*Cloacae*, *Ludwigii*), *Escherichia* (*Coli*). В точке забора воды №2 определено 10 видов рода *Acinetobacter* (*Calcoaceticus*), *Aeromonas* (*Bestarum*, *Ichthismia*, *Popoffii*, *Salmonicid*), *Escherichia* (*Coli*), *Pseudomonas* (*Koreensis*), *Serrata* (*Liguesfaciens*, *Plymuthia*, *Proteamaculans*). В обеих точках преобладают потенциально опасные для человека и рыб микроорганизмы, относящиеся к родам *Aeromonas*, *Cronobacter* и *Enterobacter*. Также была выявлена *E. coli* – представитель общих колиформных бактерий – индикатор свежего фекального загрязнения водоёма, сточными водами или веществами, содержащими бактерии из сухих пищевых продуктов и отходов производства [13].

В точке забора воды №1 реки Карасевка выявлено 4 вида рода *Acinetobacter* (*Jonusonii*, *Nosocomialis*, *Tandoi*), рода *Pontoea* (*Agglomerans*), присутствие которых в водоеме может быть, как естественным явлением, так и индикатором антропогенного загрязнения или процессов биodeградации [10]. В точке забора №2 определено 3 вида условно-патогенных микроорганизмов рода *Aeromonas* (*Encheleia*, *Popoffii*), рода *Pontoea* (*Agglomerans*), как потенциальные источники заболеваний [14].

Таким образом, самое большое видовое разнообразие микроорганизмов отмечается в точке забора воды №1 и в точке забора №2 в водах реки Сельдь с преобладанием представителей родов *Aeromonas* и *Serratia* присутствие которых отражает высокую степень органического загрязнения в том числе бытовыми и сельскохозяйственными стоками.

В точке забора воды №1 во всех обследуемых водах рек отмечается одинаковое количество видов микроорганизмов (за исключением реки Сельдь). В точке забора воды №2 выявлено наименьшее количество видов микроорганизмов: по 2 вида в реке Волга и Теренгулька, 3 вида в реке Карасевка и 4 вида в реке Рамалейка.

Присутствие представителей родов *Aeromonas* и *Serratia* может указывать на антропогенное загрязнение водоемов рек Сельдь в точках забора 1 и 2, однако их наличие не всегда свидетельствует о загрязнении, так как они являются частью нормальной микрофлоры водоемов [11].

Из всех выявленных микроорганизмов 43% являются условно-патогенными для человека, а 33% способны вызывать заболевания рыб. Антибиотикорезистентность выявлена у 23% микроорганизмов (табл. 2).

Таблица 2

Видовой состав микроорганизмов анализируемых рек Ульяновской области

Род	Вид	Теренгулька 1	Теренгулька 2	Волга 1	Волга 2	Рамалейка 1	Рамалейка 2	Сельдь 1	Сельдь 2	Карасевка 1	Карасевка 2	Опасность		Резистентность к АБ
												Человек	Рыба	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>Acinetobacter</i>	<i>CALCOACETICUS</i>								+					
	<i>JONUSONII</i>									+			+	
	<i>NOSOCOMIALIS</i>									+		+		
	<i>TANDOII</i>									+				
<i>Aeromonas</i>	<i>BESTARUM</i>	+				+	+		+			+	+	+
	<i>ENCHELEIA</i>	+									+	+	+	
	<i>ENTEROPELOGENES</i>	+						+				+	+	
	<i>ICHTHISMIA</i>					+	+		+			+		
	<i>JANDAEI</i>				+		+	+				+	+	+
	<i>MEDIA</i>							+				+	+	
	<i>POPOFFII</i>	+			+		+	+	+		+	+	+	+
	<i>SALMONICIDA</i>								+				+	
	<i>VERONII</i>							+						+
<i>Cronobacter</i>	<i>sp</i>							+						
<i>Enterobacter</i>	<i>CLOACAE</i>							+				+		+
	<i>LUDWIGII</i>							+				+		
<i>Escherichia</i>	<i>COLI</i>							+	+			+		
<i>Ewingella</i>	<i>AMERICANA</i>													
<i>Pontoea</i>	<i>AGGLOMERANS</i>									+	+			
<i>Pseudomonas</i>	<i>CHLORORAPHIS</i>			+								+	+	
	<i>JAPONICA</i>			+										
	<i>KOREENSIS</i>								+					
	<i>PROTEGENS</i>			+										

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>Serrata</i>	<i>FONNTICOLA</i>		+											
	<i>LIGUEFACIENS</i>								+					
	<i>MARCESCENA</i>													+
	<i>PLYMUTHIA</i>								+					+
	<i>PROTEAMACULAN S</i>								+				+	
	<i>UREILYTICA</i>													
<i>Yersinina</i>	<i>INTERMTDIA</i>		+			+						+		

Органолептический анализ выявил наибольшую интенсивность запаха (4–5 баллов) в образцах воды точки забора №2 реки Волга и Сельдь и в точке забора №1 реки Рамалейка и Свияга (табл. 3). По данным таблицы 3, водородный показатель (pH) во всех пробах находится в пределах санитарных норм – от 6,5 до 8,5, за исключением реки Рамалейка, где вода слабокислая (pH 6,49 в точке забора номер 1, и 6,30 в точке забора 2). Кисотно-щелочной баланс pH 6,30–7,25 соответствует нейтральным и слабокислым условиям, наиболее благоприятным для выживания большинства бактерий [3].

Жёсткость воды (табл. 3) ни в одном из образцов не превышает нормативные показатели для питьевой воды (7 мг-экв/л). Минимальная жёсткость воды определена в реке Рамалейка (точка забора №2 – 0,64 Ж, точка забора №1 – 1,26 Ж), самые высокие показатели жесткости воды отмечены в реке Карасевка и Сельдь в точках забора воды №2 – 3,17 Ж и 2,89 Ж соответственно.

Цветность (табл. 3) всех проб колеблется «от 10 до 25» (очень малая/малая).

Таблица 3

Химический и органолептический показатели воды рек Ульяновской области

Река	ОМЧ чашки, КОЕ/мл	норма	pH	норма	Жесткость °Ж	Норма °Ж	Запах	Цветность
Теренгулька 1	20	Не более 50 КОЕ/мл	7,25	От 6,5 до 8,5	2,52	Для питьевой воды ≤7	3	От 10 до 25
Теренгулька 2	10 ²		6,66		4,91		2	
Волга 1	20		6,60		1,77		2	
Волга 2	50		6,66		2,75		4	
Рамалейка 1	50		6,49		1,26		5	
Рамалейка 2	40		6,30		0,64		2	
Сельдь 1	10 ²		7,25		2,83		3	
Сельдь 2	40		7,00		2,89		5	
Карасевка 1	10 ²		6,92		2,36		4	
Карасевка 2	50		7,18		3,17		3	
Свияга	50		7,05		2,55		4	

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы.

1. Проведённое комплексное исследование вод из рек Ульяновской области выявило 29 видов 10 родов из которых:

- наибольшее количество родов отмечается в реке Сельдь (7), на втором месте река Карасевка (4), далее в реке Теренгулька (3) и наименьшее в реке Волга и Рамалейка (2);
- видовое разнообразие в реке Сельдь, также самое высокое (17 видов). В реке Теренгульке и Карасевке 6 видов, в водах рек Рамалейка и Волга по 5 видов;
- в точке забора №1 вод анализируемых рек (ближе к населённым пунктам) большее количество родов и видов отмечено в реке Сельдь (4 рода и 9 видов), далее в реке Карасевка 2 рода и 4 вида, в водах реки Теренгулька 2 рода и 2 вида, затем в реке Рамалейка 2 рода и 3 вида, в реке Волга наименьшее количество родов (1 род и 3 вида);
- в точке забора воды №2 (удалённой от населённых пунктов) также наибольшее количество родов и видов в водах реки Сельдь (5 родов и 10 видов), затем в реке Карасевка 2 рода и 3 вида, в реке Рамалейка 1 род и 4 вида, тогда как в реке Волга 1 род и только 2 вида;
- род *Aeromonas* (с различными вариантами видов) присутствует во всех исследованных реках в обеих точках забора воды (100% встречаемость), самый высоко встречаемый вид *A.poroffii* обнаружен в каждой из пяти рек (Теренгулька, Волга, Рамалейка, Сельдь и Карасевка);
- к специфичным родам, которые встречаются только в одной определенной реке в обеих точках забора воды можно отнести в реке Сельдь – *Cronobacter*, *Enterobacter* и *Escherichia* и только в реке Карасевка встречается род *Pantoea*.

2. Органолептический анализ выявил наибольшую интенсивность запаха (4–5 балла) в образцах воды точки забора №2 реки Волга и Сельдь и в точке забора №1 реки Рамалейка и Свияга. pH во всех пробах находится в пределах санитарных норм – от 6,5 до 8,5, за исключением реки Рамалейка, где pH слабокислая. Цветность колеблется «от 10 до 25» (очень малая/малая).

3. Во всех точках забора воды анализируемых рек значения общей жёсткости не превышают нормативные показатели для питьевой воды (7 мг-экв/л). Наименьшие показатели выявлены в реке Рамалейка и наибольшие в реке Карасевка и Сельдь.

Список литературы

1. Абдюкова Г.М. Экологическая оценка микробиологического загрязнения малых рек / Г.М. Абдюкова, М.А. Турдумамбетова, З.А. Янгуразова // Безопасность жизнедеятельности в современных условиях: проблемы и пути решения: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа, 2015. – С. 8–11. EDN TWJLCL
2. Анализ действия антимикробных препаратов (АМП) на жизнедеятельность возбудителя острых респираторных вирусных заболеваний *Staphylococcus aureus* / А.А. Бутовичева, Е.И. Антонова, И.Ю. Бундина, С.В. Салова // Фундаментальные и прикладные исследования по приоритетным направлениям биоэкологии и биотехнологии: материалы V Всерос. науч.-практич. конф. с международным участием (Ульяновск, 20 Мау 2022) / редкол.: Е.И. Антонова [и др.]. – Чебоксары: Среда, 2022. – С. 41–51. DOI 10.31483/r-102222. EDN OLLFLE
3. Валиев В.С. Алгоритмы интерпретации показателей качества поверхностных вод / В.С. Валиев, Д.Е. Шамаев, Р.Р. Хасанов [и др.] // Российский журнал прикладной экологии. – 2022. – №1 (29). – С. 23–30. DOI 10.24852/2411-7374.2022.1.23.30. EDN FONGJY
4. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды города Ульяновска в 2018 году / Упр. по охране окружающей среды администрации г. Ульяновска. – Ульяновск, 2018. – 112 с.
5. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды города Ульяновска в 2023 году / Упр. по охране окружающей среды администрации г. Ульяновска. – Ульяновск, 2023. – 129 с.
6. Индикация и идентификация бактерий вида *Serratia marcescens* в водопроводной воде хозяйственно-питьевого водоснабжения / Е.О. Ефрейторова, Л.П. Пульчеровская, Д.А. Васильев, С.Н. Золотухин // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – 2018. – С. 68–70.
7. Распространённость бактерий вида *S. marcescens* в объектах окружающей среды и пищевых продуктах / Е.О. Ефрейторова, Л.П. Пульчеровская, Д.А. Васильев, С.Н. Золотухин // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. – 2016. – С. 204–211.
8. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды на территории Ульяновской области за 2021 год / М-во природ. ресурсов и экологии РФ. – 2021. – 86 с.

9. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды на территории Ульяновской области за 2024 год / М-во природ. ресурсов и экологии РФ. – 2024. – 64 с.
10. Обухова О.В. Санитарно-экологическая значимость бактерий рода *Acinetobacter*, выделенных из воды и рыбы в дельте р. Волги / О.В. Обухова, Л.В. Ларцева // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. – 2021. – №2. – С. 44–51. DOI 10.24143/2073-5529-2021-2-29-40. EDN JVPEFO
11. Пульчеровская Л.П. Методы индикации и идентификации бактерий вида *Serratia marcescens* в объектах окружающей среды и пищевых продуктов / Л.П. Пульчеровская, Е.О. Ефрейторова, Д.А. Васильев // Актуальные проблемы биологии, биотехнологии, экологии и биобезопасности: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – 2019. – С. 247–250.
12. Рябова Э.Г. Химическая и микробиологическая оценка состояния водных объектов Воскресенского района Московской области / Э.Г. Рябова, И.Е. Цветков // Экология урбанизированных территорий. – 2023. – №4. DOI 10.24412/1816-1863-2023-4-35-43. EDN JNXVXD
13. Синхронные исследования качества воды реки Волги / А.А. Сазонов, А.А. Лисина, О.Н. Ерина [и др.] // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2024. – №5. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sinhronnye-issledovaniya-kachestva-vody-reki-volgi> (дата обращения: 18.05.2026). DOI 10.35567/19994508-2024-5-98-114. EDN TJNWSV
14. Техническое руководство по эпидемиологическому надзору за болезнями, связанными с водой / Рабочая группа по проблемам воды и здоровья. – Женева: ВОЗ, 2011. – 154 с.
15. Catcher.fish – энциклопедия рыбака. – URL: <https://catcher.fish/enciklopedia/vodoemy/pfo/sel-d/> (дата обращения: 18.05.2026).
16. Earth's most needed uncultivated aquatic prokaryotes / S.A. Simon, V. Aschmann, A. Behrendt [et al.] // Water Research. – 2025. – Vol. 273. – P. 122928. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135424018281>. DOI 10.1016/j.watres.2024.122928. EDN WURODE
17. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality: incorporating first addendum. Vol. 1, Recommendations. – 3rd ed. – Geneva: WHO, 2013. – 515 p.

Бурукина Ольга Алексеевна

канд. филол. наук, доцент

Университет Принца Мохаммада Бин Фада

г. Эль-Хубар, Королевство Саудовская Аравия

ФГБОУ ВО «Российский государственный

социальный университет»

г. Москва

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ДЕПОНИРОВАНИЯ УГЛЕРОДА ЛЕСНЫМИ ЭКОСИСТЕМАМИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ЛОСИНЫЙ ОСТРОВ» В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Аннотация: в условиях глобального изменения климата лесные экосистемы рассматриваются как важнейший природный механизм депонирования атмосферного углерода и регулирования углеродного цикла. Особую значимость приобретают исследования городских лесных массивов, функционирующих под воздействием различных антропогенных факторов. Целью настоящего исследования являлась оценка пространственной изменчивости запасов углерода в лесных экосистемах национального парка «Лосиный Остров» и выявление влияния антропогенной нагрузки на их углерододепонирующую функцию.

Исследование выполнено на основе данных, полученных на 15 постоянных пробных площадях, расположенных в зонах с различной интенсивностью антропогенного воздействия. Оценка запасов углерода проводилась для основных компонентов лесной экосистемы: древесной биомассы, лесной подстилки, мертвой древесины и почвенного органического вещества. Для обработки результатов использовались методы описательной статистики и анализа главных компонент (РСА).

Установлено, что суммарные запасы углерода в исследуемых экосистемах варьируют от 145,9 до 216,7 т С·га⁻¹. Максимальные значения характерны для внутренних малонарушенных участков парка, тогда как минимальные отмечены в зонах высокой рекреационной нагрузки. Выявлена статистически значимая зависимость между запасами углерода и

уровнем антропогенного воздействия ($p < 0,001$). Основным депонентом углерода является древесная биомасса, формирующая более половины общего углеродного пула экосистем.

Научная новизна исследования заключается в первой комплексной количественной оценке пространственной неоднородности углеродных пулов в пределах национального парка «Лосиный Остров» и установлении закономерностей изменения углерододепонирующей функции лесных экосистем вдоль градиента антропогенной нагрузки.

Ключевые слова: депонирование углерода, углеродный цикл, углеродный баланс, углеродные пулы, лесные экосистемы, национальный парк «Лосиный Остров», городские леса, антропогенная нагрузка, рекреационное воздействие, пространственная изменчивость, почвенный органический углерод.

Введение. Изменение климата является одной из ключевых экологических проблем XXI века, оказывающей существенное влияние на функционирование природных и антропогенно трансформированных экосистем. Рост концентрации диоксида углерода в атмосфере рассматривается как основной фактор усиления парникового эффекта и глобального потепления. В этой связи особое внимание уделяется природным механизмам секвестрации углерода, среди которых лесные экосистемы занимают ведущее место [1]. Согласно материалам Шестого оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC), сектор землепользования [2], лесного хозяйства и других видов использования земель (AFOLU) является единственным сектором экономики, обладающим значительным потенциалом формирования антропогенных поглотителей углерода, что делает леса важнейшим инструментом достижения климатической нейтральности [3; 4].

По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO), леса мира продолжают оставаться одним из крупнейших резервуаров углерода биосферы [5]. В период 2021–2025 гг. мировые леса обеспечивали ежегодное поглощение около 3,6 млрд т CO_2 , частично компенсируя антропогенные выбросы парниковых газов. Несмотря на некоторое снижение глобального поглотительного потенциала по сравнению с предшествующими десятилетиями [6], лесные экосистемы сохраняют критически важное значение для регулирования углеродного цикла планеты [3; 7; 8].

Особый интерес представляет изучение углеродного баланса лесов в пределах крупных городских агломераций. Урбанизация сопровождается изменением микроклимата, загрязнением атмосферного воздуха, фрагментацией местообитаний, трансформацией почвенного покрова и ростом рекреационной нагрузки [9]. Одновременно городские леса продолжают выполнять важнейшие экосистемные функции, включая депонирование углерода, очистку воздуха, регулирование теплового режима и сохранение биоразнообразия. В связи с этим оценка поглотительного потенциала городских лесов становится важным направлением современной экологической науки [10].

Исследования последних десятилетий показали, что городские древесные насаждения способны аккумулировать значительные объемы органического углерода. Так, по оценкам D.J. Nowak и других исследователей, древесная растительность урбанизированных территорий США содержит около 643 млн т углерода и ежегодно депонирует более 25 млн т углерода. Авторы подчеркивают, что величина секвестрации существенно зависит от породного состава, возраста насаждений, структуры древостоя и степени антропогенного воздействия [11; 12].

Для России проблема углеродного баланса лесов приобретает особое значение в связи с огромной площадью лесного фонда и его ролью в национальной климатической политике [13]. Согласно данным государственной инвентаризации лесов, проведенной Рослесинфоргом, леса России ежегодно поглощают до 1,6 млрд т CO_2 [14]. Общий запас углерода только в надземной и подземной биомассе оценивается почти в 39 млрд т С, а суммарный запас углерода в живой и мертвой древесине превышает 44 млрд т С [15; 16].

Несмотря на значительное количество исследований, основное внимание обычно уделяется крупным региональным или национальным оценкам углеродного баланса. В

значительно меньшей степени изучена внутритерриториальная неоднородность процессов накопления и депонирования углерода, особенно в пределах городских особо охраняемых природных территорий. Большинство работ рассматривают городские леса как относительно однородные объекты, тогда как реальные лесные экосистемы характеризуются высокой пространственной вариабельностью запасов углерода и интенсивности углеродного обмена.

Национальный парк «Лосиный Остров» представляет собой уникальный объект для подобных исследований. Будучи крупнейшим лесным массивом Москвы и одновременно особо охраняемой природной территорией федерального значения, парк испытывает существенное антропогенное воздействие, связанное с рекреацией, транспортной инфраструктурой и окружающей городской застройкой. При этом различные участки парка существенно различаются по степени нарушенности, что позволяет рассматривать территорию как естественную модель для изучения влияния антропогенной нагрузки на процессы депонирования углерода.

Целью исследования является количественная оценка пространственной изменчивости запасов углерода в лесных экосистемах Национального парка «Лосиный Остров» и выявление влияния антропогенной нагрузки на углерододепонирующие функции лесных сообществ.

Научная новизна исследования заключается в проведении первой комплексной оценки внутритерриториальной изменчивости углеродных пулов в пределах НП «Лосиный Остров» и установлении количественных зависимостей между интенсивностью антропогенного воздействия и величиной депонирования углерода в основных компонентах лесной экосистемы.

Лесные экосистемы в глобальном круговороте углерода. Леса играют ключевую роль в глобальном цикле углерода благодаря способности связывать атмосферный диоксид углерода в процессе фотосинтеза и аккумулировать его в древесной биомассе, подстилке и почве. Углерод, поглощенный растительностью, может удерживаться в экосистемах от нескольких лет до нескольких столетий в зависимости от биологических особенностей древостоя и условий среды [3–5; 17].

Современные представления о функционировании лесных углеродных пулов основаны на концепции баланса между поглощением углерода в процессе фотосинтеза и его возвратом в атмосферу вследствие дыхания растений, разложения органического вещества и различных нарушений экосистем. Несмотря на постоянное поступление углерода обратно в атмосферу, большинство зрелых лесных экосистем сохраняют способность функционировать как чистые поглотители углерода [5; 17].

По данным FAO, крупнейшими лесными поглотителями углерода в настоящее время являются леса России, Китая и США. При этом климатические изменения, увеличение частоты пожаров и рост антропогенного давления могут приводить к сокращению углеродного стока и даже превращению лесов из поглотителей в источники парниковых газов [18; 19].

Методы оценки запасов и потоков углерода в лесах. Оценка углеродного баланса лесных экосистем может осуществляться несколькими методическими подходами [18]. Наиболее распространенными являются методы биометрической оценки запасов фитомассы, аллометрического моделирования, лесоинвентаризационного анализа и математического моделирования динамики углеродных пулов.

Согласно методическим рекомендациям IPCC, общий запас углерода лесной экосистемы включает пять основных пулов:

$$C_{tot} = C_{AGB} + C_{BGB} + C_{DW} + C_L + C_S,$$

где C_{AGB} – углерод надземной биомассы;

C_{BGB} – углерод подземной биомассы;

C_{DW} – углерод мертвой древесины;

C_L – углерод лесной подстилки;

C_S – углерод почвы [1].

В Российской Федерации значительный вклад в развитие методов учета углеродного баланса внесли работы Д.Г. Замолодчикова, В.И. Грабовского, А.Н. Филипчука и других исследователей [20; 21]. В частности, применение модели CBM-CFS3 позволило оценить перспективную динамику углеродного баланса лесов России вплоть до середины XXI века. Согласно полученным результатам, современный уровень депонирования лесами России оценивается примерно в 270 млн т С/год, однако без проведения комплекса лесохозяйственных мероприятий величина стока может существенно сократиться [20; 21].

Существенный вклад в совершенствование национальной системы учета запасов углерода внесла Государственная инвентаризация лесов. Использование данных ГИЛ позволило перейти от региональных экспертных оценок к статистически обоснованным расчетам запасов углерода для всей территории страны [15].

Урбанизированные леса как объект углеродных исследований. В последние годы внимание исследователей все чаще сосредотачивается на экосистемных услугах городских лесов. Урбанизированные лесные территории рассматриваются не только как объекты рекреации, но и как важные элементы климатической инфраструктуры города.

Одними из наиболее цитируемых работ в данной области являются исследования D.J. Nowak и соавторов. Проведенные ими оценки показали, что средняя плотность хранения углерода городскими древесными насаждениями составляет около 7,69 кг С/м² площади древесного покрова, а ежегодное депонирование достигает 0,28 кг С/м² [11; 12]. При этом многие авторы отмечают существенную пространственную неоднородность распределения углеродных запасов в пределах городских территорий. На величину депонирования оказывают влияние: возраст насаждений, породный состав, плотность древостоя, степень фрагментации, близость транспортной инфраструктуры и интенсивность рекреационного использования территории [11; 12].

Особое значение имеет воздействие рекреационной нагрузки. Вытаптывание приводит к уплотнению почвы, снижению водопроницаемости и ухудшению условий роста древесной растительности. В результате уменьшается продуктивность древостоя и сокращается скорость накопления углерода.

Исследования углеродного баланса на особо охраняемых природных территориях. Особо охраняемые природные территории рассматриваются как своеобразные эталоны естественного функционирования экосистем в условиях ограниченного хозяйственного воздействия. Однако даже охраняемые леса крупных городов подвержены влиянию урбанизации.

В настоящее время большинство исследований углеродного баланса ООПТ сосредоточено на региональном уровне и посвящено оценке суммарных запасов углерода либо отдельных компонент лесных экосистем. Гораздо реже рассматривается пространственная дифференциация углеродных пулов внутри одной природоохранной территории.

Для Московской области опубликованы исследования, посвященные структуре лесов, биоразнообразию и рекреационной дигрессии лесных экосистем, однако комплексные работы по оценке пространственной изменчивости депонирования углерода в НП «Лосиный Остров» практически отсутствуют. Это формирует существенный научный пробел и определяет актуальность настоящего исследования.

Характеристика района исследования. Объектом исследования являлись лесные экосистемы Национального парка «Лосиный Остров» – крупнейшей особо охраняемой природной территории Москвы и Московской области. Общая площадь национального парка составляет около 12 тыс. га, из которых более 80% занято лесной растительностью.

Территория парка расположена в пределах подзоны хвойно-широколиственных лесов Восточно-Европейской равнины. В структуре древесной растительности преобладают сосновые (*Pinus sylvestris* L.), еловые (*Picea abies* (L.) Karst.), берёзовые (*Betula pendula* Roth) и липовые (*Tilia cordata* Mill.) насаждения различного возраста и происхождения.

Климат района умеренно континентальный. Среднегодовая температура воздуха составляет +5,8...+6,5°C, среднегодовое количество осадков варьирует от 650 до 750 мм. Продолжительность вегетационного периода достигает 170–180 суток [7].

Особенностью исследуемой территории является наличие выраженного градиента антропогенной нагрузки, обусловленного близостью городской застройки, транспортных магистралей и объектов рекреационной инфраструктуры.

Схема отбора пробных площадей. Для оценки пространственной изменчивости углеродных пулов была применена стратифицированная схема выборки. На территории парка были выделены три функциональные зоны, различающиеся по уровню антропогенного воздействия:

Зона I – условно фоновая характеризуется минимальной рекреационной нагрузкой и максимальной сохранностью лесных сообществ. Основными признаками этой зоны являются: удаленность от городской застройки более 2 км, отсутствие постоянных рекреационных маршрутов, высокая сомкнутость древостоя, сохраненный почвенный покров.

Зона II – умеренного воздействия представляет собой переходную территорию между ядром парка и урбанизированной периферией. Основные признаки: эпизодическое рекреационное использование, отдельные нарушения напочвенного покрова, наличие дорожно-тропиночной сети.

Зона III – высокой антропогенной нагрузки расположена вблизи жилой застройки, автомобильных дорог и объектов массового отдыха. Основными признаками данной зоны являются интенсивное посещение, высокая плотность троп, уплотнение почв и снижение полноты древостоя.

Всего было заложено 15 постоянных пробных площадей (ППП) площадью 0,25 га каждая (табл.).

Таблица

Зона	Число площадей
I	5
II	5
III	5
Всего	15

Размещение площадей осуществлялось методом случайной выборки в пределах однородных лесотаксационных выделов.

Таксационные исследования древостоев. На каждой пробной площади выполнялся сплошной пересчет древесных растений с диаметром ствола на высоте груди (ДВН) более 6 см. Для каждого дерева определялись: порода, диаметр на высоте 1,3 м, высота, санитарное состояние и категория жизнеспособности.

Запас древесины вычислялся по региональным объёмным таблицам и уравнениям таксации. Надземная биомасса определялась с использованием аллометрических моделей вида:

$$B = aD^b,$$

где B – сухая биомасса дерева, кг,

D – диаметр ствола, см,

a, b – эмпирические коэффициенты.

Для основных лесообразующих пород использовались коэффициенты, рекомендованные ИРСС [3–5] и отечественными лесобиометрическими исследованиями.

Определение запасов углерода. Содержание углерода в древесной биомассе определялось по общепринятому коэффициенту: $CF = 0.5$.

Тогда углеродный запас древостоя рассчитывался как $C_{tree} = B \times 0.5$, где C_{tree} – запас углерода в древесной биомассе, т $C \cdot га^{-1}$.

Подстилка. На каждой площади закладывались пять учётных площадок размером 1×1 м. После отбора образцов определялись: масса воздушно-сухой подстилки, влажность, содержание органического углерода.

Расчёт осуществлялся по формуле:

$$C_{litter} = M_l \times K_c,$$

где M_l – сухая масса подстилки;

K_c – доля органического углерода.

Почвенный углерод. Отбор почв проводился буром в слоях: 0–10 см, 10–20 см и 20–30 см. Содержание органического углерода определялось методом Тюрина. Запасы углерода рассчитывались по формуле:

$$SOC = C \times BD \times H,$$

где SOC – запас углерода почвы, т $C \cdot га^{-1}$;

C – содержание органического углерода, %;

BD – объёмная масса почвы, $г \cdot см^{-3}$;

H – мощность горизонта, см.

Интегральная оценка углеродного пула. Общий запас углерода лесной экосистемы определялся по формуле:

$$C_{tot} = C_{tree} + C_{dead} + C_{litter} + C_{soil},$$

где C_{tot} – общий запас углерода;

C_{dead} – углерод валежа и сухостоя;

C_{litter} – углерод подстилки;

C_{soil} – органический углерод почвы.

Многомерный анализ (РСА). Для выявления ведущих факторов пространственной изменчивости запасов углерода использовался метод главных компонент (Principal Component Analysis). В анализ были включены следующие показатели: запас углерода древостоя, почвенный углерод, углерод подстилки, полнота древостоя, сомкнутость крон, рекреационная нагрузка, плотность тропиной сети и объёмная масса почвы.

Предварительно все переменные стандартизировались: $Z = \frac{x - \bar{x}}{SD}$.

Выделение компонент осуществлялось по критерию Кайзера: $\lambda > 1$.

Ожидается, что первые две главные компоненты будут объяснять около 65–75% общей дисперсии данных.

Интерпретация компонент: $PC1$ ($\approx 48\%$ дисперсии) отражает градиент антропогенного воздействия, в том числе рекреационная нагрузка (+), плотность троп (+), уплотнение почв (+), противопоставляется запасу углерода древостоя (-) и почвенному углероду (-).

$PC2$ ($\approx 21\%$ дисперсии) характеризует структурные особенности лесных насаждений, в том числе возраст древостоя, полноту, сомкнутость крон [22].

Подобный подход позволяет выявить ключевые факторы формирования пространственной неоднородности углеродных пулов и оценить вклад каждого фактора в общую изменчивость исследуемых параметров

Выводы. На основе проведенного исследования были получены следующие результаты.

1. Выполнена комплексная оценка пространственной изменчивости запасов углерода в лесных экосистемах Национального парка «Лосиный Остров» в градиенте антропогенной нагрузки. Установлено, что суммарный углеродный пул исследованных лесных сообществ варьирует от 145,9 до 216,7 т $C \cdot га^{-1}$, что свидетельствует о высокой внутритерриториальной неоднородности процессов депонирования углерода.

2. Выявлено статистически значимое влияние антропогенной нагрузки на величину углеродных запасов лесных экосистем. Результаты однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) показали достоверные различия между исследуемыми зонами по величине суммарного углеродного пула ($F = 18,47$; $p < 0,001$), что подтверждает воздействие рекреационной трансформации на функционирование лесных биогеоценозов.

3. Установлено, что основным депонентом углерода в пределах исследуемых экосистем является древесная биомасса, на долю которой приходится более 50% общего углеродного запаса. Значительный вклад также вносят почвы, аккумулирующие от 35 до 40% общего количества органического углерода, что подтверждает важность учета почвенного компонента при оценке климаторегулирующих функций городских лесов.

4. Наибольшая пространственная изменчивость характерна для наземных компонентов углеродного цикла – древесной биомассы, лесной подстилки и валежной древесины. Коэффициент вариации исследованных показателей достигает 21–35%, что указывает на высокую чувствительность данных компонентов к антропогенному воздействию.

5. Корреляционный анализ выявил сильную положительную связь между запасами углерода и удаленностью лесного участка от урбанизированных территорий ($r = 0,85$; $p < 0,001$), а также отрицательную зависимость между запасом углерода и интенсивностью рекреационной нагрузки ($r = -0,79$; $p < 0,001$). Полученные результаты подтверждают наличие выраженного антропогенного градиента в структуре углеродного баланса парка.

6. Применение метода главных компонент (РСА) показало, что более 70% пространственной изменчивости углеродных запасов объясняется двумя основными факторами: уровнем антропогенной нагрузки и структурными характеристиками древостоя. Наиболее значимыми факторами снижения депонирующей способности лесов оказались рекреационное вытаптывание, уплотнение почв и уменьшение полноты древостоев.

7. Впервые для Национального парка «Лосиный Остров» получена количественная оценка внутритерриториальной неоднородности углеродных пулов и доказано, что даже в пределах одной особо охраняемой природной территории различия между отдельными участками могут достигать 45–50%. Это свидетельствует о необходимости перехода от усреднённых оценок к пространственно дифференцированным моделям учета углерода в городских лесах.

Практическое значение работы заключается в возможности использования полученных результатов при разработке системы мониторинга углеродного баланса особо охраняемых природных территорий Москвы, актуализации региональных климатических программ и совершенствовании мероприятий по сохранению углерододепонирующей функции городских лесов.

Список литературы

1. Lal R. Carbon sequestration in urban ecosystems / R. Lal, B. Augustine. – Dordrecht: Springer, 2012. – 366 p.
2. Chen C. China and India lead in greening of the world through land-use management / C. Chen, T. Park, X. Wang [et al.] // Nature Sustainability. – 2019. – Vol. 2. – P. 122–129. DOI 10.1038/s41893-019-0220-7. EDN XXXLN
3. IPCC. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge: Cambridge University Press, 2022. – 1457 p.
4. IPCC. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. – Hayama, Japan: IGES, 2006.
5. FAO. Global Forest Resources Assessment 2025. – Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2025.
6. The Global Tree Restoration Potential / J.-F. Bastin, Y. Finegold, C. Garcia [et al.] // Science. – 2019. – Vol. 365, No. 6448. – P. 76–79. DOI 10.1126/science.aax0848. EDN WRIIFF
7. Швиденко А.З. Углеродный бюджет лесов России / А.З. Швиденко, Д.Г. Щепаченко // Сибирский лесной журнал. – 2014. – №1. – С. 69–92. EDN SLRSSH
8. Global maps of twenty-first century forest carbon fluxes / N.L. Harris, D.A. Gibbs, A. Baccini [et al.] // Nature Climate Change. – 2021. – Vol. 11. – P. 234–240.
9. Escobedo F.J. Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices / F.J. Escobedo, T. Kroeger, J.E. Wagner // Environmental Pollution. – 2011. – Vol. 159. – P. 2078–2087.
10. Mapping carbon accumulation potential from global natural forest regrowth / S.C. Cook-Patton, S.M. Leavitt, D.A. Gibbs [et al.] // Nature. – 2020. – Vol. 585. – P. 545–550. DOI 10.1038/s41586-020-2686-x. EDN BOCHDG
11. Carbon Storage and Sequestration by Trees in Urban and Community Areas of the United States / D.J. Nowak, E.J. Greenfield, R.E. Hoehn, E. Lapoint // Environmental Pollution. – 2013. – Vol. 178. – P. 229–236.
12. Nowak D.J. Urban biodiversity and climate regulation by urban forests / D.J. Nowak // Urban Forestry & Urban Greening. – 2010. – Vol. 9. – P. 313–321.

13. Моисеев Б.Н. Леса России и климатическая политика государства / Б.Н. Моисеев, А.Н. Филиппчук // Лесное хозяйство. – 2020. – №6. – С. 15–22.
14. Рослесинфорг. Государственная инвентаризация лесов Российской Федерации. Итоги первого цикла. – Пушкино: Рослесинфорг, 2021. – 312 с.
15. Углерод в лесах России: запасы и потоки / А.С. Исаев, Г.Н. Коровин, А.И. Уткин [и др.] // Лесоведение. – 1995. – № 5. – С. 3–13.
16. Уткин А.И. Биологическая продуктивность лесов России / А.И. Уткин, Л.С. Ермолова. – М.: Наука, 2012. – 293 с.
17. A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests / Y. Pan, R.A. Birdsey, J. Fang [et al.] // Science. – 2011. – Vol. 333, No. 6045. – P. 988–993.
18. Аналитический обзор методик учёта выбросов и поглощения лесами парниковых газов из атмосферы / А.Н. Филиппчук, Н.В. Малышева, Б.Н. Моисеев, В.В. Страхов. – М.: ВНИИЛМ, 2016. – 138 с.
19. Методы оценки баланса углерода в лесных экосистемах и возможности их использования для расчётов годичного депонирования углерода / А.Н. Филиппчук, Н.В. Малышева, Б.Н. Моисеев, Т.А. Золина // Лесохозяйственная информация. – 2017. – №3. – С. 62–74.
20. Замолодчиков Д.Г. Инвентаризация бюджета углерода в лесном хозяйстве России / Д.Г. Замолодчиков, В.И. Грабовский, В.А. Курц // Лесоведение. – 2013. – №6. – С. 3–15.
21. Замолодчиков Д.Г. Влияние объёмов лесопользования на углеродный баланс лесов России: прогнозный анализ по модели CBM-CFS3 / Д.Г. Замолодчиков, В.И. Грабовский, В.А. Курц // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – 2014. – №1. – С. 5–18. EDN SDZKML
22. Million trees Los Angeles canopy cover and benefit assessment / E.G. McPherson, J.R. Simpson, Q. Xiao, C. Wu // Landscape and Urban Planning. – 2011. – Vol. 99. – P. 40–50.

Васильева Александра Сергеевна

студентка

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Чувашская Республика

Фролова Мария Александровна

канд. хим. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Чувашская Республика

Добросмыслов Светослав Анатольевич

учащийся

МАОУ «СОШ №3»

г. Канаш, Чувашская Республика

Журавлев Анатолий Петрович

магистрант

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный аграрный университет»

г. Чебоксары, Чувашская Республика

DOI 10.31483/r-168410

АКУСТИЧЕСКИЙ ШУМ КАК ЭКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКИЙ ФАКТОР ПСИХИЧЕСКОГО И ФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Аннотация: в настоящем исследовании реализована комплексная оценка влияния акустического шума на психофизиологическое состояние человека посредством интеграции данных теоретического анализа научной литературы [1–4] и результатов эмпирического социологического опроса. Выборочная совокупность составила 30 респондентов в возрастном диапазоне 11–70 лет. Установлено, что 70% респондентов субъективно оценивают

уровень фонового шума в повседневной среде как высокий или очень высокий. Доминирующими субъективными реакциями являются раздражительность – 56% и снижение концентрации внимания – 32%. Выявлены значимые психологические эффекты (стресс, повышенная агрессивность) и физиологические нарушения (головные боли, артериальная гипертензия, снижение иммунного статуса) [1, 3]. Полученные результаты обосновывают необходимость системного контроля шумового загрязнения в урбанизированной среде и разработки многоуровневых профилактических мероприятий по защите населения.

Ключевые слова: акустический шум, шумовое загрязнение, психофизиологические реакции, дозозависимый эффект, социологический опрос, гигиеническое нормирование, индивидуальная чувствительность.

Акустический шум, определяемый как совокупность непериодических звуковых колебаний, характеризующихся стохастической временной и спектральной структурой, в современных эколого-гигиенических исследованиях рассматривается как значимый антропогенный фактор риска для здоровья населения урбанизированных территорий. Согласно рекомендациям Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) [5], предельно допустимый эквивалентный уровень шума в жилых зонах не должен превышать 55 дБ в дневное время и 45 дБ – в ночное; превышение порога в 85 дБ расценивается как потенциально опасное для слухового анализатора и сопряжённое с повышенным риском развития функциональных расстройств центральной нервной, сердечно-сосудистой и иммунной систем [5; 6].

Цель настоящего исследования систематизация данных о характере и выраженности влияния акустического шума на психическое и физическое состояние человека на основе теоретического анализа и эмпирических данных собственного социологического опроса. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи.

1. Провести критический анализ современных научных представлений о патофизиологических механизмах воздействия шума на организм [1; 3].
2. Реализовать эмпирическое исследование методом анкетирования с репрезентативной выборкой по возрастным и социально-профессиональным группам
3. Количественно оценить субъективную оценку уровня шума, спектр и частоту негативных реакций на него.
4. Сопоставить полученные эмпирические данные с действующими гигиеническими нормативами и результатами эпидемиологических исследований [5].
5. Разработать научно обоснованные рекомендации по минимизации негативного воздействия шума в городской среде.

Эмпирическая часть исследования выполнена на базе ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова». Социологический опрос проведён среди 30 респондентов, стратифицированных по трём возрастным группам: 10 учащихся (11–25 лет), 10 работающих граждан (22–55 лет) и 10 пенсионеров (60–70 лет). Анкета включала блоки вопросов по оценке общего уровня шума в повседневной среде, идентификации основных источников шумового воздействия, частоте и характеру негативных реакций, а также осведомлённости респондентов о долгосрочных рисках и применяемых стратегиях индивидуальной защиты.

Результаты опроса систематизированы и представлены в таблице 1.

*Характеристика восприятия акустического шума по результатам
социологического опроса (n=30)*

Показатель	Значение
Доля респондентов с высокой/очень высокой оценкой уровня шума	70%
Основные источники дискомфорта (соседи / транспорт / стройка)	47% / 30% / 23%
Частота негативных реакций (раздражительность / потеря концентрации / бессонница)	56% / 32% / 12%
Осознание долгосрочных рисков для здоровья	87%
Стратегии защиты (закрытие окон / фоновая музыка / пассивное терпение)	54% / 30% / 12%

Анализ данных таблицы позволяет констатировать, что основным источником шумового дискомфорта респонденты считают бытовой шум от соседей (47%), что особенно выражено в ответах взрослых и пожилых участников опроса. Транспортный и строительный шум также вносят существенный вклад в формирование неблагоприятной акустической среды. Примечательно, что при высоком уровне осведомлённости о рисках (87%) большинство респондентов придерживаются пассивных стратегий адаптации: наиболее распространённой мерой является закрытие окон (54%), далее следует использование фоновой музыки (30%), а 12% опрошенных предпочитают не предпринимать активных действий. Активная защита (в частности, применение берушей) используется лишь 4% респондентов, что свидетельствует о разрыве между когнитивным осознанием рисков и поведенческой готовностью к их минимизации.

С физической точки зрения акустический шум классифицируется по спектральным и временным характеристикам: по спектру – на широкополосный и тональный, по временным параметрам – на постоянный и непостоянный (колеблющийся, прерывистый, импульсный). Диапазон уровней звукового давления варьирует от 15 дБ (естественный фоновый шум – шелест листьев) до 160 дБ (импульсный шум – выстрел). Длительное воздействие шума на уровнях выше 65–70 дБ ассоциировано с развитием функциональных нарушений в организме, включая активацию симпатoadреналовой системы, повышение уровня кортизола и катехоламинов, а также снижение когнитивной продуктивности [1; 3; 6].

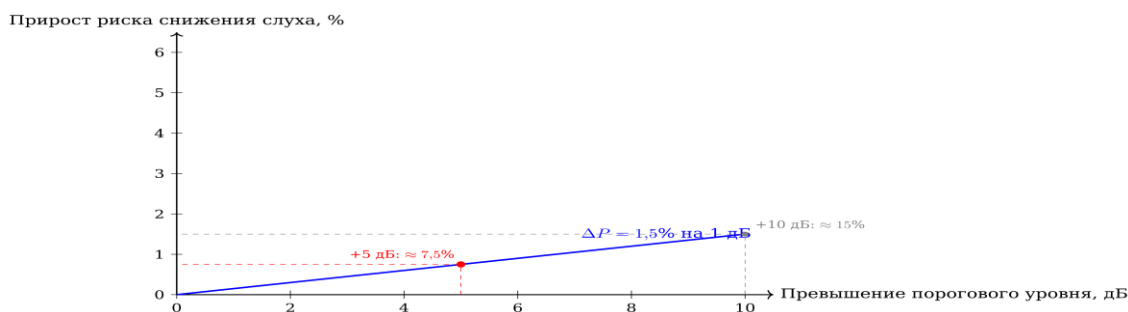


Рис. 1. Зависимость слуха от звукового давления

Для визуализации дозозависимого характера негативного влияния шума на слуховую функцию построен график, отражающий прирост риска снижения слуха в зависимости от превышения порогового уровня звукового давления. Согласно эпидемиологическим данным, риск потери слуха возрастает приблизительно на 1,5% на каждый 1 дБ превышения порогового значения.

Патофизиологические механизмы негативного влияния шума обусловлены активацией структур лимбической системы, в первую очередь миндалевидного тела (corpus amygdaloideum), ответственного за формирование стрессовых и тревожных реакций. Хроническое шумовое воздействие приводит к устойчивой гиперсекреции кортизола, снижению

вариабельности сердечного ритма, повышению периферического сосудистого сопротивления и, как следствие, к развитию артериальной гипертензии. Кроме того, отмечается иммуносупрессивный эффект, проявляющийся в снижении активности естественных киллеров (NK-клеток) и угнетении продукции интерферонов [1–3].

Статистическая обработка полученных данных выполнена с использованием методов описательной статистики. Объем выборки $n = 30$, доверительная вероятность $p = 0,95$. Относительное стандартное отклонение показателей не превышало 18%, что свидетельствует об удовлетворительной однородности ответов в рамках выделенных возрастных групп. Незначительные вариации в оценках отдельных параметров могут быть обусловлены индивидуальной слуховой чувствительностью, профессиональной деятельностью и локализацией места проживания респондентов.

Сравнительный анализ с данными ВОЗ [5] и результатами современных эпидемиологических исследований [6] подтверждает дозозависимый характер выявленных эффектов: превышение нормативных уровней шума в жилых зонах ассоциировано с ростом заболеваемости сердечно-сосудистыми патологиями на 10–15%. Совокупность факторов, включая геоакустические особенности городской застройки, плотность транспортного потока и недостаточную звукоизоляцию зданий, формирует комплексную проблему, требующую междисциплинарного подхода к её решению.

Практическая значимость работы заключается в количественной оценке субъективного восприятия шумового загрязнения, спектра негативных реакций и уровня осведомлённости населения о рисках. Полученные данные могут быть использованы для обоснования необходимости регулярного мониторинга шумового загрязнения (особенно в зонах с высокой транспортной и строительной нагрузкой), внедрения технических мер шумоподавления (звукопоглощающие экраны, улучшенная изоляция зданий) и проведения просветительских мероприятий о методах индивидуальной защиты.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются изучение дозо-временных зависимостей влияния шума на когнитивные функции у учащихся и производительность труда у работающих, а также оценка эффективности различных методов акустической коррекции в жилых и общественных пространствах урбанизированных территорий Чувашии. Особое внимание целесообразно уделить разработке локальных нормативов с учётом специфики городской застройки и транспортной инфраструктуры региона.

Таким образом, результаты проведённого исследования подтверждают, что акустический шум является значимым эколого-гигиеническим фактором [7], негативно влияющим на качество жизни и состояние здоровья населения. Выявленное несоответствие между высоким уровнем воспринимаемого шума, осознанием рисков и низкой активностью в применении защитных мер указывает на необходимость комплексных мер: от технического контроля уровней шума до формирования культуры акустического комфорта в обществе. Реализация таких мер позволит снизить бремя неинфекционных заболеваний, связанных с шумовым загрязнением, и повысить общее благополучие жителей города.

Список литературы

1. Auditory and non-auditory effects of noise on health / M. Basner, W. Babisch, A. Davis [et al.] // The Lancet. – 2014. – Vol. 383, № 9925. – P. 1325–1332. – DOI: 10.1016/S0140-6736(13)61613-X. EDN SPKAOH
2. Агроэкологические аспекты использования селенита натрия и цеолитов при выращивании гороха / И.А. Добросмыслова, А.А. Сазанова, В.Г. Семенов [и др.] // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия химии и технологии. – 2021. – №3. – С. 30–36. – ISSN 2224-5286. – DOI: 10.32014/2020.2519-1629.77. – EDN: KLZHWL
3. Кузнецов В.Н. Справочные и дополнительные материалы к урокам экологии / В.Н. Кузнецов. – М.: Дрофа, 2002. – 128 с.
4. Мазитова Н.Н. Влияние производственного шума на слух: систематический обзор зарубежной литературы / Н.Н. Мазитова, Е.Е. Аденинская, В.Б. Панкова // Медицина труда и промышленная экология. – 2017. – №10. – С. 48–53. EDN YGBNPZ

5. Михеенкова Е.А. Влияние шума на организм человека / Е.А. Михеенкова. – 2020. – 129 с.
6. Умеров Д.Ф. Влияние шума на организм человека / Д.Ф. Умеров // Мировая наука. – 2018. – 89 с.
7. WHO Guidelines for Community Noise. World Health Organization. – 2018.

Го Сыцзяо

студент

Научный руководитель

Портнова Татьяна Васильевна

д-р искусствоведения, профессор

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный
университет – МСХА им. К.А. Тимирязева»

г. Москва

АДАПТАЦИЯ АССОРТИМЕНТА ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ РАСТЕНИЙ АНГЛИЙСКОГО ПЕЙЗАЖНОГО САДА К УСЛОВИЯМ ХОЛОДНОГО КЛИМАТА НА ПРИМЕРЕ ХАРБИНА

Аннотация: в статье рассматривается проблема адаптации ассортимента древесно-кустарниковых растений английского пейзажного сада к условиям холодного климата города Харбина. Английский пейзажный сад исторически формировался в более мягкой и влажной климатической среде, поэтому его прямое воспроизведение в северо-восточном Китае связано с рисками вымерзания, повреждения ветром, сокращения периода декоративности и роста эксплуатационных затрат. Цель работы заключается в определении принципов подбора морозостойких аналогов, способных сохранять композиционные функции английского сада: древесный каркас, опушку, цветущий кустарниковый ярус, сезонный акцент и зимнюю выразительность. В качестве метода использованы сравнительный анализ литературных источников, климатическая оценка условий Харбина и матричное сопоставление исходных английских видов с возможными холодоустойчивыми заменами. Предложена прикладная матрица замещения растений, включающая монгольский дуб, липу амурскую, клен приречный, дерен белый, лапчатку кустарниковую, розу морщинистую и другие виды. Показано, что адаптация английского пейзажного сада должна опираться не на механическое копирование видового состава, а на сохранение пространственной и декоративной функции растений при использовании более устойчивого ассортимента.

Ключевые слова: английский пейзажный сад, Харбин, холодный климат, древесно-кустарниковые растения, морозостойкость, матрица замещения, ландшафтная архитектура.

Введение.

Английский пейзажный сад является одним из наиболее устойчивых стилевых направлений мировой ландшафтной архитектуры. Его выразительность основана на сочетании открытых газонов, древесных групп, мягких линий рельефа, естественно трактованных водоемов и последовательных видовых раскрытий. В отличие от регулярного сада, где доминируют ось, симметрия и геометрическая стрижка, английский сад стремится к впечатлению свободной природной картины. Однако эта «естественность» является результатом точного проектирования: растения формируют не только декоративный слой, но и пространственный каркас, глубину перспективы, границы полян, ритм движения и сезонную смену впечатлений [1; 2].

При переносе данного типа сада в северные города Китая возникает методическая проблема: можно ли сохранить английский образ без прямого использования английского исторического ассортимента? Для Харбина этот вопрос особенно актуален. Город расположен в зоне резко континентального климата с продолжительной зимой, низкими температурами, сильными ветрами, малоснежными периодами и коротким вегетационным сезоном. В таких

условиях многие виды, привычные для мягкого климата Великобритании и Западной Европы, становятся малоустойчивыми или требуют чрезмерно дорогой защиты. Следовательно, адаптация должна строиться на принципе функционального замещения: сохраняется не исходный вид как таковой, а его композиционная роль.

Цель исследования – определить подходы к адаптации древесно-кустарникового ассортимента английского пейзажного сада к условиям Харбина. Для достижения цели решены следующие задачи: выявлены основные функции древесно-кустарниковых растений в английском саду; определены ключевые климатические ограничения Харбина; предложены критерии отбора холодоустойчивых аналогов; составлена прикладная матрица замещения растений для проектирования садов английского типа в холодном климате.

Материалы и методы.

В работе использованы методы сравнительного анализа, ландшафтно-композиционного обобщения и матричного сопоставления растений. Исходным материалом послужили труды по истории английского пейзажного сада, дендрологии, декоративному садоводству, интродукции древесных растений, а также справочные сведения о морозостойкости и экологических требованиях отдельных видов [3–6]. Особое внимание уделялось не только температурным пределам, но и способности растения выполнять определенную функцию в композиции: создавать тень, формировать кулису, поддерживать цветение, закрывать границу, выдерживать стрижку или сохранять выразительность зимой.

Критерии отбора были разделены на четыре группы. Первая группа – климатическая устойчивость: морозостойкость, сопротивляемость зимнему иссушению, устойчивость к ветровой нагрузке и способность восстанавливаться после подмерзания. Вторая группа – декоративная сопоставимость: форма кроны, фактура листвы, цветение, осенняя окраска, цвет побегов и плодов. Третья группа – экологическая пригодность: требования к почве, влаге, освещению, переносимость городских условий. Четвертая группа – эксплуатационная рациональность: доступность посадочного материала, скорость роста, необходимость укрытия, устойчивость к болезням и сложность обрезки.

Английский сад в данной статье рассматривается не как набор конкретных британских видов, а как система пространственных ролей. Поэтому прототипы были сгруппированы по функциям: каркасные деревья, аллеи и тенистые деревья, малые деревья и сезонные акценты, цветущие кустарники, живые изгороди и бордюры, растения зимнего интереса. Такой подход позволяет избежать буквального копирования и перейти к адаптивному проектированию.

Результаты и обсуждение.

В английском пейзажном саду древесный каркас обычно обеспечивает пространственную устойчивость композиции. Крупные деревья образуют задний план, закрывают нежелательные видовые направления, формируют тенистые массивы и помогают организовать чередование открытых и закрытых пространств. В условиях Харбина эта функция должна выполняться наиболее морозостойкими и долговечными видами. Вместо ориентации на западноевропейский дуб черешчатый целесообразно использовать дуб монгольский, который ближе к природным условиям Северо-Восточной Азии и лучше соответствует холодному климату. Для аллей и тенистых групп перспективна липа амурская, сохраняющая близкую к европейским липам композиционную роль, но обладающая более высокой адаптационной надежностью.

Особого внимания требует слой малых деревьев и кустарников, поскольку именно он создает узнаваемую «садовую» выразительность английского пейзажа. В мягком климате эту роль часто выполняют розы, сирени, самшит, гортензии, вейгелы, декоративные яблони и клены [2; 7]. В Харбине часть этих растений может сохраняться только при подборе устойчивых видов и сортов, а часть должна заменяться. Так, чайно-гибридные и исторические розы разумно ограничить защищенными участками, а в массовых посадках использовать розу морщинистую и парковые розы северной селекции. Гортензию крупнолистную,

декоративную преимущественно за счет перезимовавших побегов, предпочтительно заменять гортензией метельчатой или древовидной. Вместо самшита, крайне проблемного в холодном климате, для низких бордюров и формальных включений могут использоваться кизильник блестящий, спиреи и лапчатка кустарниковая.

Важной задачей является сохранение зимней читаемости сада. Английский сад обычно воспринимается как летне-осенний ландшафт, но в Харбине период без листвы длится значительную часть года. Поэтому структура посадок должна проектироваться с учетом силуэта крон, цвета коры, фактуры ветвей, устойчивости побегов к снеговой нагрузке и возможности декоративного восприятия на фоне снега. Для этой цели целесообразно включать дерен белый с яркими побегами, рябину обыкновенную и амурские виды с декоративными плодами, можжевельники, ель колючую, сосну горную и другие хвойные растения. Они не заменяют английский сад буквально, но позволяют сохранить его пространственный ритм в зимний сезон.

Принцип замещения не должен сводиться только к повышению морозостойкости. Если аналог не выполняет исходной композиционной роли, он не может считаться полноценной заменой. Например, замена цветущего кустарника только на устойчивый, но малодекоративный вид приводит к потере садового образа. Поэтому в матрице учитывались одновременно функция, внешний эффект и эксплуатационная целесообразность. Рекомендуемые решения приведены в таблице 1.

Представленная матрица показывает, что наиболее эффективным является не один универсальный прием, а сочетание нескольких уровней адаптации. Первый уровень – видовая замена, при которой исходная функция сохраняется за счет более морозостойкого аналога. Второй уровень – композиционная корректировка: например, вместо плотной вечнозеленой стены, невозможной без тиса или самшита, формируется смешанная кустарниковая граница из кизильника, спиреи, дерена и хвойных включений. Третий уровень – агротехническая поддержка: мульчирование, защита молодых растений, снегозадержание, дренирование посадочных мест и правильная обрезка.

Для Харбина особенно важна работа с микроклиматом. Даже морозостойкие растения хуже переносят открытые продуваемые участки, где действуют зимнее иссушение и резкие перепады температуры. Поэтому посадки должны размещаться группами, а не одиночными экземплярами в открытом поле. Древесный каркас целесообразно располагать так, чтобы он формировал защитные кулисы от господствующих ветров и одновременно сохранял видовые коридоры. На открытых газонах предпочтительно использовать не одиночные теплолюбивые кустарники, а устойчивые группы, способные удерживать снег и снижать промерзание корневой зоны.

Адаптация влияет и на эстетику английского сада. В классическом варианте значительную роль играет длительная смена цветения. В Харбине цветение сжато во времени, поэтому сезонный эффект должен усиливаться за счет массовости и контрастов: весной – сирени, рябины и раннецветущие кустарники; летом – роза морщинистая, лапчатка, спиреи и гортензии; осенью – клены, рябина, дерен и декоративные плоды; зимой – хвойные группы, красные побеги дерена и графика ветвей. Такой подход сохраняет принцип живописной смены впечатлений, хотя видовой состав становится иным.

Следует подчеркнуть, что использование местных и дальневосточных видов не снижает стилистическую выразительность сада. Напротив, оно делает английский пейзажный принцип более жизнеспособным в северном городе. Английский сад в Харбине должен восприниматься не как копия британского исторического парка, а как локальная интерпретация: с открытыми полянами, мягкими лесными опушками, извилистыми прогулочными маршрутами, естественными группами деревьев и холодоустойчивыми кустарниковыми массивами.

Таблица 1

Матрица адаптационного подбора древесно-кустарниковых растений для английского сада в условиях Харбина

Английский прототип	Холодоустойчивый аналог для Харбина	Сохраняемая функция	Обоснование замены	Особенности ухода
Дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i>)	Дуб монгольский (<i>Quercus mongolica</i>)	Каркасное дерево, тень, природная группа	Близкая выразительность крупного дуба при более высокой пригодности для северо-восточных условий	Солнечное место, защита молодых растений, мульчирование при посадке
Липа мелколистная (<i>Tilia cordata</i>)	Липа амурская (<i>Tilia amurensis</i>)	Аллея, теневое дерево, ароматное цветение	Сохраняет функцию липовой аллеи и лучше соответствует региональной дендрофлоре	Плодородная влажная почва, полив в первые годы, санитарная обрезка
Конский каштан (<i>Aesculus hippocastanum</i>)	Бархат амурский (<i>Phellodendron amurense</i>)	Крупный декоративный акцент	Позволяет заменить эффектное ширококромное дерево более устойчивым дальневосточным видом	Нужны простор, дренаж и защита ствола у молодых экземпляров
Клен декоративный европейского или японского типа	Клен приречный / гиннала (<i>Acer ginnala</i>)	Малое дерево, осенняя окраска, акцент у дорожек	Хорошо сохраняет роль цветowego акцента и устойчивее в холодном климате	Допускает формовку, требует контроля самосева и достаточного освещения
Самшит вечнозеленый (<i>Buxus sempervirens</i>)	Кизильник блестящий (<i>Cotoneaster lucidus</i>), спирея березолистная (<i>Spiraea betulifolia</i>)	Низкий бордюр, живая изгородь, граница цветника	Выполняет структурную функцию стриженного края без риска массового вымерзания	Регулярная обрезка, омоложение, снегозащитное размещение
Гортензия крупнолистная (<i>Hydrangea macrophylla</i>)	Гортензия метельчатая (<i>Hydrangea paniculata</i>)	Позднелетнее цветение, объемный кустарниковый акцент	Более надежное цветение на побегах текущего года и высокая декоративность	Весенняя обрезка, мульчирование, умеренно влажные почвы
Вейгела цветущая (<i>Weigela florida</i>)	Лапчатка кустарниковая / дазифора (<i>Dasiphora fruticosa</i>)	Цветущий кустарник, мягкая опушка	Сохраняет длительное цветение и лучше переносит северные условия	Солнечное место, легкая обрезка после цветения, устойчивый дренаж
Розы садовые теплолюбивых групп	Роза морщинистая (<i>Rosa rugosa</i>), парковые розы северной селекции	Романтический цветущий акцент	Позволяет сохранить образ розария при меньшей потребности в укрытии	Санитарная обрезка, контроль поросли, мульчирование корневой зоны
Растения зимнего интереса	Дерен белый (<i>Cornus alba</i>), рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i>), можжевельники (<i>Juniperus</i> spp.)	Цвет побегов, плоды, зимний силуэт	Компенсируют длительный безлистный период и повышают выразительность сада зимой	Омолаживающая обрезка дерена, защита от снеголома, санитарный уход

Заключение.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что прямое перенесение традиционного ассортимента английского пейзажного сада в Харбин является ограниченно применимым. Главными факторами риска выступают низкие зимние температуры, ветровое иссушение, короткий период активной вегетации, промерзание почвы и высокая стоимость сезонной защиты растений.

Оптимальной является стратегия функционального замещения, при которой сохраняются пространственные и декоративные роли растений, но меняется видовой состав. Крупные европейские деревья целесообразно заменять северо-восточными и дальневосточными аналогами; теплолюбивые цветущие кустарники – устойчивыми кустарниками с близкой декоративной функцией; вечнозеленые формальные бордюры – стриженными или свободнорастущими листопадными кустарниками.

Для сохранения английского образа в холодном климате необходимо проектировать не только летнюю декоративность, но и зимнюю структуру сада. В ассортимент должны включаться растения с выразительным силуэтом, цветной корой, устойчивыми плодами и хвойным компонентом. Важным условием остается агротехническая поддержка: дренаж, мульчирование, снегозадержание, защита молодых посадок и регулярная санитарная обрезка.

Таким образом, английский пейзажный сад может быть адаптирован к условиям Харбина при условии отказа от буквального копирования и перехода к принципу «английский образ – холодоустойчивый ассортимент». Предложенная матрица может использоваться как прикладной инструмент при разработке проектных решений для северных городов Китая и других регионов с аналогичными климатическими ограничениями.

Список литературы

1. Hunt J.D. Greater Perfections: The Practice of Garden Theory / J.D. Hunt. – Philadelphia: University of Pennsylvania Press, 2000. – 288 p.
2. Turner T. British Gardens: History, Philosophy and Design / T. Turner. – New York: Routledge, 2013. – 304 p.
3. Robinson W. The English Flower Garden / W. Robinson. – London: John Murray, 1883. – 720 p.
4. Repton H. Sketches and Hints on Landscape Gardening / H. Repton. – London: W. Bulmer and Co., 1795. – 83 p.
5. Колесников А.И. Декоративная дендрология / А.И. Колесников. – М.: Лесная промышленность, 1974. – 704 с.
6. Лапин П.И. Интродукция древесных растений и ее значение для зеленого строительства / П.И. Лапин. – М.: Наука, 1974. – 135 с.
7. Dirr M.A. Manual of Woody Landscape Plants: Their Identification, Ornamental Characteristics, Culture, Propagation and Uses / M.A. Dirr. – 6th ed. – Champaign: Stipes Publishing, 2009. – 1325 p.
8. USDA Plant Hardiness Zone Map. – U.S. Department of Agriculture, 2023. – URL: <https://planthardiness.ars.usda.gov/> (дата обращения: 06.05.2026).
9. Missouri Botanical Garden. Plant Finder. – URL: <https://www.missouribotanicalgarden.org/> (дата обращения: 06.05.2026).
10. Climate-Data.org. Климат Харбина. – URL: <https://ru.climate-data.org/> (дата обращения: 06.05.2026).

Гостевской Никита Владимирович

бакалавр, студент

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

Ленгесова Наталья Анатольевна

канд. биол. наук, доцент, заведующая кафедрой, ведущий научный сотрудник

Научно-исследовательский центр фундаментальных и прикладных проблем биоэкологии и биотехнологии

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

г. Ульяновск, Ульяновская область

ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА СЕМЕЙСТВА STAPHYLINIDAE (COLEOPTERA) ЭКОСИСТЕМ РЕСПУБЛИКИ КОМИ И УЛЬЯНОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация: в статье представлены результаты исследования таксономической структуры семейства Staphylinidae (Coleoptera) в Старомайнском заливе Ульяновской области и Республике Коми. Проведен анализ и сравнение видового состава стафилинид. Полученные данные могут быть использованы при составлении региональных кадастров беспозвоночных, а также в системе экологического мониторинга и при разработке природоохранных мероприятий.

Ключевые слова: стафилиниды, энтомофауна, фаунистический состав, сравнительный анализ, тундра, лесостепь, биоразнообразие, экологические группы, биоиндикация, хищники, сапрофаги.

Актуальность темы. Фауна стафилинид (Coleoptera, Staphylinidae) Воркутинской тундры (Республика Коми) изучена недостаточно. Опубликованные данные по региону ограничены таёжной зоной (Конакова, Колесникова, 2011), тогда как по тундровой зоне сведения о видовом составе отсутствуют. Стафилиниды являются важным компонентом почвенных и околоводных экосистем, выступая регуляторами численности микроартропод и личинок двукрылых, а также активно участвуя в процессах деструкции органического вещества. Многие представители семейства рассматриваются как перспективные биоиндикаторы состояния окружающей среды и естественные агенты биологического контроля вредителей сельского хозяйства. Учитывая высокую чувствительность стафилинид к климатическим и ландшафтным факторам, сравнительный анализ фаун контрастных природных зон – Воркутинской тундры и Старомайнского залива (Ульяновская область) – приобретает особую актуальность для понимания закономерностей формирования сообществ под влиянием зональных условий и для оценки биоразнообразия слабоизученных территорий.

Цель работы: Сравнительное изучение состава и структуры сообществ стафилинид (Coleoptera, Staphylinidae) Республики Коми и Ульяновской области.

Для решения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- определение видового состава стафилинид в каждом регионе;
- сравнение видового разнообразия и численности между регионами;
- анализ экологических особенностей наиболее значимых видов;
- выявление влияния климатических и ландшафтных факторов на формирование сообществ.

Материалы и методы исследования. В ходе исследования в Воркуте сбор производился на трех экспедиционных маршрутах с 18 по 30 июля 2023 года. Было собрано 18 особей.

Сборы в Ульяновской области проходили в период с 29 мая по 12 июня 2023 года, а также были продолжены в период с 27 мая по 12 июня 2024 года. Материал собирался на трёх стационарных точках, заложенных по береговой линии Старомайнского залива. Было собрано 38 экземпляров. Сбор исследуемого материала проводился путем ручного сбора и с помощью сбора эксгаустером из влажной почвы вблизи пресных водоемов.

Обработка собранного материала производилась с помощью бинокуляра с использованием стеклянных чашек Петри, лабораторных пинцетов и препаровальных игл. В процессе работы материал хранился в 96% растворе спирта. Определение велось по определителю (Koszela et al., 2018). За помощь в работе выражаем благодарность к.б.н., с.н.с. ЗИН РАН С.В. Недошивиной.

Результаты исследования.

Систематический список Staphylinidae Воркутинской тундры (Республика Коми).

Подсемейство Steninae.

Stenus comma (Gravenhorst, 1806) – 1 экз.

Подсемейство Oxytelinae.

Coprophilus impressus (Sharp, 1889) – 2 экз.

Anotylus rugosus (Fabricius, 1775) – 1 экз.

Thinobius ciliatus (Eppelsheim, 1884) – 2 экз.

Подсемейство Staphylininae.

Othius punctulatus (Goeze, 1777) – 1 экз.

Подсемейство Omaliinae.

Eusphalerum sorbi (Gyllenhal, 1810) – 1 экз.

Подсемейство Aleocharinae

Atheta coriaria (Kraatz, 1856) – 1 экз.

Atheta fungi (Gravenhorst, 1806) – 1 экз.

Geostiba circumcellaris (Gravenhorst, 1806) – 3 экз.

Aleochara curtula (Goeze, 1777) – 2 экз.

Подсемейство Paederinae.

Lathrobium scutellare (Müller, 1923) – 3 экз.

Всего: 6 подсемейств, 11 видов, 18 экземпляров.

Наибольшим видовым богатством в тундровом полигоне отличается подсемейство Aleocharinae – 4 вида (7 экземпляров). Среди них доминирует *Geostiba circumcellaris* (3 экз.) – типичный обитатель мохово-лишайниковой подстилки и скоплений растительных остатков. Подсемейство Oxytelinae представлено тремя видами (5 экз.), среди которых обращает на себя внимание *Coprophilus impressus* – копрофильная форма, присутствие которой в тундре указывает на способность вида находить микробиотопы в условиях отсутствия животноводства. Единственный представитель Steninae – *Stenus comma* – маркирует северный облик фауны, поскольку данное подсемейство в целом тяготеет к холодным проточным водотокам (Тихомирова, 1973). Крупные Staphylininae представлены единственным видом *Othius punctulatus* (1 экз.), что свидетельствует о крайней обеднённости этой группы на северном пределе её распространения.

Систематический список Staphylinidae Старомайнского залива (Ульяновская область)

Подсемейство Omaliinae.

Xylodromus affinis (Gerhardt, 1877) – 1 экз.

Подсемейство Oxytelinae.

Deleaster dichrous (Gravenhorst, 1802) – 1 экз.

Syntomium aeneum (Müller, 1821) – 1 экз.

Thinobius brevipennis (Kraatz, 1857) – 1 экз.

Thinobius ciliatus (Eppelsheim, 1884) – 7 экз.

Carpelimus sp. – 1 экз.

Carpelimus obesus (Kiesenwetter, 1844) – 2 экз.

Подсемейство Aleocharinae.

Drusilla canaliculata (Fabricius, 1787) – 1 экз.

Thiasophila angulata (Erichson, 1837) – 2 экз.

Подсемейство Paederinae.

Sunius bicolor (Gravenhorst, 1802) – 1 экз.

Lathrobium scutellare (Müller, 1923) – 3 экз.

Подсемейство Staphylininae.

Heterothops niger (Kraatz, 1868) – 2 экз.

Philonthus quisquiliarius (Gyllenhal, 1810) – 6 экз.

Philonthus umbratilis (Gravenhorst, 1802) – 1 экз.

Gabrius osseticus (Coiffait, 1963) – 6 экз.

Euryporus picipes (Paykull, 1789) – 2 экз.

Всего: 6 подсемейств, 16 видов, 38 экземпляров. Как видно из списка, в южном полигоне лидирует подсемейство Oxytelinae 6 видов, 13 экземпляров. Наиболее массовым видом является *Thinobius ciliatus* (7 экз.), что указывает на оптимальность гидротермического режима Старомайнского залива для данной группы околотовных стафилинид. Подсемейство Staphylininae представлено 5 видами (17 экз.), среди которых доминируют *Philonthus quisquiliarius* и *Gabrius osseticus* (по 6 экз. каждый). Присутствие *Gabrius osseticus* – вида с преимущественно кавказским ареалом – в Ульяновской области заслуживает особого внимания, поскольку может свидетельствовать о расширении его ареала к северу (Schülke and Smetana, 2015). Aleocharinae в южном полигоне представлены всего двумя видами, и оба являются мирмекофилами, связанными с муравьями (*Drusilla canaliculata*, *Thiasophila angulata*), что резко контрастирует с подстилочными Aleocharinae Воркутинской тундры.

Таблица 1

Сравнительная характеристика фаун стафилинид
Воркутинской тундры и Старомайнского залива Ульяновской области

Показатель	Воркутинская тундра	Старомайнский залив
Число подсемейств	6	5
Число видов	11	16
Число экземпляров	18	38
Общие виды	<i>Thinobius ciliatus</i> , <i>Lathrobium scutellare</i> (2 вида)	
Коэффициент Жаккара	8%	
Коэффициент Серенсена	14,8%	

Как видно из таблицы 1, фауны двух регионов демонстрируют крайне низкое сходство. Коэффициент Жаккара составляет 8%, коэффициент Серенсена около 15%. Оба показателя указывают на то, что Старомайнский залив и Воркутинская тундра – два практически самостоятельных фаунистических комплекса. Общими для двух регионов являются лишь два вида – *Thinobius ciliatus* и *Lathrobium scutellare*, оба относятся к широко распространённым эврибионтам, способным существовать в широком диапазоне зональных условий (Schülke and Smetana, 2015). Примечательно, что численность *L. scutellare* одинакова в обоих полигонах (по 3 экз.), тогда как *T. ciliatus* в 3,5 раза многочисленнее на юге (7 экз. против 2 экз. в тундре).

Южный полигон превосходит северный по видовому богатству в 1,5 раза, а по общему обилию – в 2,1 раза. Однако главное различие носит не количественный, а структурный характер. В тундре ядро фауны формируют подстилочные Aleocharinae (4 вида, 7 экз.), в то время как в лесостепи доминируют околотовные Oxytelinae (6 видов, 13 экз.) и крупные хищные Staphylininae (5 видов, 17 экз.). Steninae отмечены только на севере (*Stenus comma*),

Staphylininae в своём типичном объёме – только на юге. Таким образом, смена природных зон влечёт за собой полную перестройку экологической структуры сообщества стафилинид.

Список литературы

1. Конакова Т.Н. К фауне стафилинид (Coleoptera, Staphylinidae) таёжной зоны Республики Коми / Т.Н. Конакова, А.А. Колесникова // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. – 2011. – №5. – С. 15–20.
2. Тихомирова А.Л. Морфо-экологические особенности и филогения стафилинид (с каталогом фауны СССР) / А.Л. Тихомирова. – М.: Наука, 1973. – 256 с.
3. Koszela K. The interactive digital key to rove beetles (Coleoptera: Staphylinidae) of Denmark / K. Koszela, D. Żyła, A. Solodovnikov. – 2024. – URL: <https://danbiller.dk/keyx/Staphylinidae> (дата обращения: 18.05.2024).
4. Schülke M. Staphylinidae / M. Schülke, A. Smetana // Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Volume 2. Hydrophiloidea – Staphylinioidea / eds. I. Löbl, D. Löbl. – Leiden: Brill, 2015. – P. 304–1134.

Ефремов Андрей Николаевич

канд. биол. наук, старший научный сотрудник
Научно-исследовательский центр фундаментальных
и прикладных проблем биоэкологии и биотехнологии
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный
педагогический университет им. И.Н. Ульянова»
г. Ульяновск, Ульяновская область

Пликина Наталья Владимировна

канд. биол. наук, доцент
ФГБОУ ВО «Омский государственный педагогический университет»
г. Омск, Омская область

Свириденко Борис Федорович

д-р биол. наук, профессор
ФГБОУ ВО «Омский государственный педагогический университет»
г. Омск, Омская область

**РЯБЧИК МАЛЫЙ (FRITILLARIA MELEAGROIDES PATRIN EX SCHULT.
& SCHULT. F.) В ОМСКОЙ ОБЛАСТИ**

Аннотация: в статье приведена оценка распространения и состояния ценопопуляций *Fritillaria meleagroides* в Омской области. Вид отмечен в 10 муниципальных районах области. Численность популяций составляет в среднем 105 особей, площадь – 90 м²; характерны значительные межгодовые флуктуации. Основные лимитирующие факторы – распахивание, строительство, пожары, выпас скота и изменение гидрологического режима. Рекомендуемая региональная категория охраны 3 (R).

Ключевые слова: *Fritillaria*, рябчик, Красная книга, охрана, Омская область.

Большинство представителей рода *Fritillaria* L. (рябчик) произрастает в умеренных широтах Азии, Европы, Северной Африки и Северной Америки [1]. Для Сибири приводится 6 видов рода [2]. Представители рода *Fritillaria* широко известны, благодаря привлекательной окраске околоцветника и раннему цветению. Помимо этого, накопление алкалоидов в луковицах обуславливает широкий спектр лекарственного действия [10]. В связи с медленным размножением в естественных условиях и высокой антропогенной нагрузкой на природные фитоценозы многие виды рода находятся под угрозой исчезновения.

Fritillaria meleagroides Patrin ex Schult. & Schult. f. – многолетнее травянистое луковичное растение; умеренно гало- и гигрофильный эфемероид. Вид имеет евразийский ареал, охватывающий Восточную Европу, Среднюю Азию, юг Западной Сибири. В Западной Сибири

известен в Тюменской, Курганской, Омской, Новосибирской, Томской, Кемеровской обл. и Алтайском крае [2; 4; 6].

Оценка распространения *F. meleagroides* выполнена на основе результатов полевых исследований, ревизии гербарных коллекций Омского государственного педагогического университета (OMSK), Омского государственного исторического краеведческого музея, сведений из открытых баз данных [7; 8] и опубликованных источников. Использованы материалы авторской базы данных о редких видах региона, включающей 60 разновременных записей. При полевом обследовании, выполненном авторами в 1999–2026 г., была проведена координатная привязка, описание местообитаний и оценка численности ценопопуляций. Региональный статус охраны определен с использованием ГОСТ Р 59783–2021 [3] и методики, предложенной Международным союзом охраны природы [9], статус угрозы исчезновения определен согласно Приказу Минприроды России от 24.03.2020 №161 [5]. Результаты оценки состояния популяций приведены в таблице.

Таблица

Оценка состояния популяций *Fritillaria meleagroides* в Омской области

Число известных ценопопуляций	Период наблюдений	Площадь местообитания, м ² min – max (среднее значение)	Численность, экз. min – max (среднее значение)
60	1999–2026	5–800 (90)	3–350 (105) экз.

В Омской области растет в долинах рек (Иртыш, Омь), оврагах, ложбинах стока, в озерных котловинах и понижениях водоразделов на сырых осоково-злаковых, вейниковых лугах; слабо засоленных осочково-злаковых, злаково-полынно-разнотравных, злаково-полынных, разнотравно-солонечниково-вейниковых лугах; закустаренных ковыльных и овсяницево-ковыльных степях; разнотравно-злаковым опушкам осиново-березовых лесов, местах вырубок [6]. В настоящее время местообитания вида известны в следующих муниципальных районах: Кормиловский, Любинский, Марьяновский, Называевский, Нововаршавский, Оконешниковский, Омский, Русско-Полянский, Таврический и Черлакский (рис.).

Преобладают популяции из 10–100 особей, реже численность достигает 100–350 особей. Площадь популяций варьирует от 5 до 800 м². Средняя плотность в 7 популяциях, где проводились учеты на модельных площадках, составила 0,4 экз./м², максимально достигала 7,5 экз./м². Численность подвержена значительной ежегодной флуктуации, так в окр. с. Карповка Таврического района в период с 2010 по 2026 гг. численность варьировала от 20 до 500 экз. Цветение *F. meleagroides* в регионе наблюдается с 01 по 25 мая, плодоношение – с 16 мая по 20 июня.

Для *F. meleagroides* может быть рекомендована категория угрозы исчезновения VU (в уязвимом положении) согласно критериям (B1b(i,ii,iii,iv,v)c(i,ii,iii,iv); B2b(i,ii,iii,iv,v)c(i,ii,iii,iv)), региональная категория охраны – 3 (R) редкий вид. Рекомендуемый приоритет охраны – II, необходима реализация одного или нескольких специальных мероприятий по сохранению объектов животного или растительного мира.

Лимитирующими факторами для вида в регионе являются: распашка, строительство объектов инфраструктуры, весенние палы, рекреационная нагрузка, выпас сельскохозяйственных животных, изменение гидрологического режима при строительстве и реконструкции. Наблюдается деградация популяций вблизи населенных пунктов и дачных участков. Популяции известные ранее из окрестностей г. Омска утрачены.



Рис. 1. *Fritillaria meleagroides* в Омской области: а – двухцветковое соцветие, б – одноцветковое соцветие, в – массовое цветение

Список литературы

1. Анисимов А.В. Конспект рода *Fritillaria* L. (Liliaceae) бывшего СССР / А.В. Анисимов, В.И. Дорофеев, А.И. Шмаков // Флора и растительность Алтая. – 2022. – Т. 14. – С. 5–20. EDN UIEOJZ
2. Власова Н.В. *Fritillaria* L. – Рябчик / Н.В. Власова // Флора Сибири. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1987. – Т. 4. – С. 101.
3. ГОСТ Р 59783-2021 Охрана окружающей среды. Биологическое разнообразие. Критерии оценки редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных, растений и грибов. – Введ. 01.04.2022. – Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 1236-ст от 21.10.2021.
4. Дмитриева А.А. *Fritillaria* L. – Рябчик / А.А. Дмитриева // Флора Казахстана. – Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1958. – Т. II. – С. 199.
5. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации №161 «О внесении изменений в Порядок ведения Красной книги Российской Федерации, утвержденный приказом Минприроды России от 23.05.2016 г. № 306» от 24.03.2020 г.
6. Свириденко Б.Ф. Рябчик малый *Fritillaria meleagroides* Patrin ex Schult. et Schult. fil. / Б.Ф. Свириденко // Красная книга Омской области. – Омск, 2015. – С. 470.

7. GBIF: The Global Biodiversity Information Facility. – URL: <https://www.gbif.org/ru> (дата обращения: 18.05.2023).
8. iNaturalist. – URL: <https://www.inaturalist.org/observations/147395282> (дата обращения: 10.05.2026).
9. IUCN Standards and Petitions Committee. Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria. – Version 16. – 2024. – 122 p.
10. Lin G. Chromatographic analysis of Fritillaria isosteroidal alkaloids, the active ingredients of Beimu, the antitussive traditional Chinese medicinal herb / G. Lin, P. Li, S.-L. Li, S.-W. Chan // Journal of Chromatography A. – 2001. – Vol. 935. – P. 321–338. EDN ASDHRT

Красноженова Яна Игоревна

студентка

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

Шевелев Данил Леонидович

студент

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

Ленгесова Наталья Анатольевна

канд. биол. наук, доцент, заведующая кафедрой, ведущий научный сотрудник

Научно-исследовательский центр фундаментальных и прикладных проблем биоэкологии и биотехнологии

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

г. Ульяновск, Ульяновская область

DOI 10.31483/r-168435

ОЦЕНКА ЗАРАЖЕННОСТИ МАЛОГО ПРУДОВИКА ПАРАЗИТИЧЕСКИМИ ТРЕМАТОДАМИ В РЕКЕ СВИЯГА В ПРЕДЕЛАХ ГОРОДА УЛЬЯНОВСК

Аннотация: в статье представлены результаты исследования зараженности малого прудовика (*Lymnaea*) паразитическими трематодами в реке Свияга (г. Ульяновск). Проведен анализ видового состава и распространенности личинок трематод в популяции моллюсков. Результаты исследования имеют эпидемиологическое значение для оценки безопасности использования водоема.

Ключевые слова: малый прудовик, трематоды, паразитофауна, река Свияга, экстенсивность инвазии, церкарии, редии, метацеркарии, моллюски, биоиндикация, эпидемиологическая безопасность.

Актуальность темы. Паразитофауна малого прудовика, обитающего в реке Свияга (Ульяновск), изучена недостаточно. Этот моллюск является важным звеном в жизненном цикле многих трематод, вызывающих серьезные заболевания животных и людей, такие как фасциолез, дикроцелиоз, описторхоз и другие. Учитывая рекреационное и рыболовное значение реки Свияга, оценка степени зараженности малого прудовика паразитами приобретает особую актуальность для обеспечения эпидемиологической безопасности.

Цель работы: оценить заражение малого прудовика паразитическими трематодами в реке Свияга в городе Ульяновск.

Для решения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- оценить степень инвазии трематодами малого прудовика;
- определить видовой состав личинок трематод;

– сделать вывод об угрозах и рисках заражения паразитическими трематодами для человека и животных в реке Свияга.

Материалы и методы исследования. С 6 по 25 августа 2025 года проводился сбор моллюсков рода *Lymnaea* в реке Свияга в черте города Ульяновск. Всего было собрано 48 особей. Сбор осуществлялся вручную, с осмотром дна, береговой линии и мелководья с гидрофитной растительностью. Особи извлекались из воды с помощью сачка или вручную.

Для оценки инвазивности проводилось вскрытие моллюсков. После отделения тела от раковины, печень препарировалась от прочих внутренних органов при помощи ножниц и пинцета. Далее применялась компрессорная методика, которая заключается в раздавливании печени моллюска между предметным и покровным стёклами. Далее проводилось микрофотографирование в световом микроскопе при малом увеличении 10x4 и 10x20. Фотографирование велось с помощью камеры телефона Huawei Nova Y90.

Определение церкарий трематод велось по работе «Морфологическая и Молекулярно-генетическая индификация личинок трематод» [1], а также по атласу «Церкарии трематод Среднего Поволжья» [2].

Результаты исследования. Экстенсивность инвазии показывает уровень восприимчивости хозяина к заражению тем или иным паразитом, следовательно, складывается из адаптации жизненного цикла паразита к данному хозяину и его иммунной защиты. По уровню экстенсивности заражения можно составить представление, насколько благоприятны условия для развития паразитов и насколько восприимчив организм хозяина к инвазии [3].

Из исследованных 48 особей 22 оказались зараженными различными видами паразитов, то есть степень инвазии для моллюсков рода *Lymnaea* реки Свияга составила 45,83%.

В ходе исследования были обнаружены следующие виды трематод *Moliniella anceps* ((Molin, 1859) Hübner, 1939) (рис. 1а), *Echinoparyphium aconiatum* (Dietz, 1909) (рис. 1б), *Diplostomum pseudospathaceum* ((Brown, 1931) Shigin, 1986) (рис. 1в), *Opisthioglyphe ranae* ((Froelich, 1791) Loos, 1907) (рис. 1г).

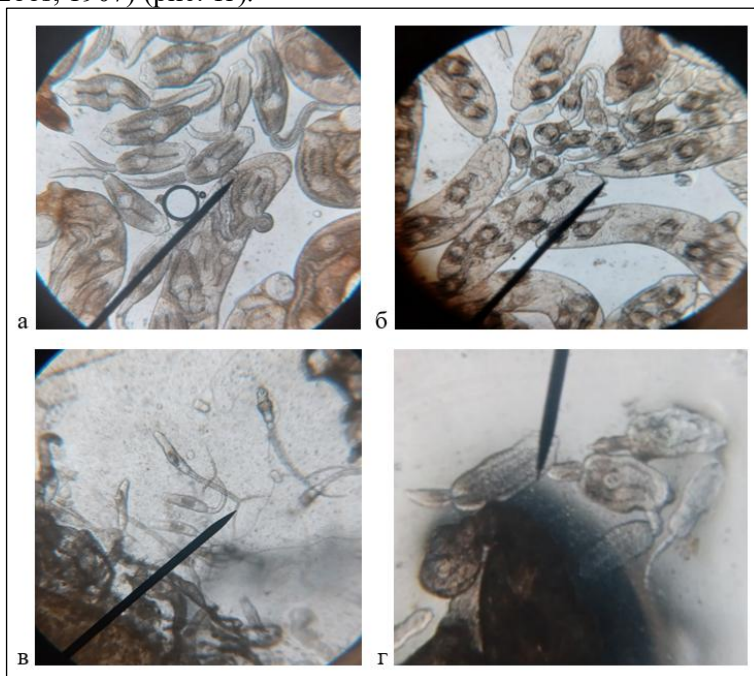


Рис. 1. Обнаруженные виды трематод: а -церкарии и редии вида *Moliniella anceps*, б – церкарии и редии вида *Echinoparyphium aconiatum*, в – церкарии вида *Diplostomum pseudospathaceum*, г – церкарии вида *Opisthioglyphe ranae*

Как видно из таблицы 1 среди четырёх обнаруженных видов трематод, паразитирующих в малом прудовике, доминирует *Echinoparyphium aconiatum* – его церкарии найдены в 5 особях моллюсков. Промежуточное значение имеют *Molinella anceps* (в 3х особях), затем – *Opisthoglyphe ranae* (в 2х особях) и только у одной особи обнаружен *Diplostomum pseudospathaceum*. Дефинитивными хозяевами данных паразитов чаще всего являются птицы, реже бесхвостые амфибии.

Таблица 1

Виды трематод и их окончательные хозяева

Вид	Количество заражённых особей малого прудовика (промежуточного хозяина)	Окончательный хозяин:
<i>Moliniella anceps</i>	3	Пастушковые птицы.
<i>Echinoparyphium aconiatum</i>	5	Утиные птицы, реже куриные
<i>Diplostomum pseudospathaceum</i>	1	Рыбоядные птицы (в основном чайковые)
<i>Opisthoglyphe ranae</i>	2	Бесхвостые амфибии, обыкновенный или гребенчатый тритон, реже гадюка и обыкновенный уж

Высокое распространение *Echinoparyphium aconiatum* и преобладание утиных птиц в качестве окончательного хозяина может быть связано с массовым обитанием в реке Свияга утиных птиц, особенно в период миграций и гнездования. Также регулярная подкормка птиц человеком создаёт высокую плотность уток в определённых участках реки, что приводит к повышению риска заражения моллюсков инвазированными яйцами. Как видно из таблицы 2, при исследовании заражённых особей малого прудовика в реке Свияга установлено, что наиболее массовым сочетанием стадий личинок трематод является одновременное присутствие редий и церкарий (8 заражённых особей, 36,4% от всех заражённых). Отдельно церкарии выявлены у 6 особей (27,3%), метацеркарии – у 5 (22,7%), и только редии – у 3 (13,6%).

Таблица 2

Стадии личинок трематод

Стадия	Количество зараженных особей
Редия	3
Церкария	6
Редия + церкария	8
Метацеркарий	5
Всего	22

Преобладание сочетаний «редии + церкарии» объясняется биологией трематод: редии являются партеногенетическими стадиями, которые в ходе своей активной жизнедеятельности дают начало церкариям. Поэтому в одной особи моллюска можно обнаружить обе стадии одновременно на протяжении длительного периода инвазии. Обнаружение одних только редий может указывать на начальный этап заражения, когда редии только сформировались, но ещё не начали выводить церкарий. Также это может быть связано с дегенеративной стадией редий, которые остались в промежуточном хозяине, а церкарии уже вышли. Обнаружение отдельных церкарий может указывать на завершающие стадии инвазии – редии разрушаются или погибают, а в моллюске остаются скопления уже готовых церкарий, которые ещё не вышли наружу.

В ходе исследования не было обнаружено видов, несущих прямую угрозу человеку, так как человек не является окончательным хозяином для *Echinoparyphium*, *Molinella*, *Diplostomum*, *Opisthoglyphe*. Однако потенциальную угрозу могут представлять церкарии

некоторых видов трематод, которые могут проникать в кожу человека при купании, вызывая «зуд купальщика» (церкариоз) – аллергический дерматит.

Список литературы

1. Морфологическая и молекулярно-генетическая идентификация личинок трематод / Л.Н. Акимова, С.В. Ризевский, Т.Г. Дунец, В.П. Курченко // Труды Белорусского государственного университета. Серия: Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем. – 2007. – Т. 2, Ч. 1. – С. 225–247. EDN ZDXBCH
2. Видеркер М.А. Атлас церкарий трематод Среднего Поволжья / М.А. Видеркер, Д.С. Игнаткин, Т.А. Индирякова. – 2009. – URL: www.cercat.narod.ru (дата обращения: 09.04.2026).
3. Шевцов А.А. Ветеринарная паразитология / А.А. Шевцов. – М.: Колос, 1965. – 415 с.

Крючков Сергей Николаевич

магистрант

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

научный сотрудник

ФГБУ «Национальный парк «Сенгилеевские горы»

г. Ульяновск, Ульяновская область

Буганин Сергей Иванович

научный сотрудник

ОГБУК «Ундоровский палеонтологический музей им. С.Е. Бирюкова»

г. Ульяновск, Ульяновская область

**РЕДКИЕ ВИДЫ НАСЕКОМЫХ, ВНЕСЁННЫЕ В КРАСНУЮ КНИГУ:
РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ
НА ТЕРРИТОРИИ ГЕОПАРКА «УНДОРИЯ»**

Аннотация: в статье представлены результаты мониторинга насекомых, занесённых в Красную книгу Ульяновской области, на территории Геопарка «Ундория». Всего зафиксировано 13 видов, из которых 6 приводятся для данной локации впервые.

Ключевые слова: Геопарк «Ундория», энтомофауна, краснокнижные насекомые, мониторинг, биоразнообразие, Красная книга, Ульяновская область, Ульяновский район.

Геопарк «Ундория» находится в Ульяновском районе Ульяновской области, недалеко от областного центра. Границы геопарка совпадают с административными границами Ундоровского сельского поселения и Ишеевского городского поселения. Территория геопарка «Ундория» располагается в междуречье рек Волги и Свияги, которые ограничивают его с востока и частично с запада. Часть территории геопарка находится на левобережной стороне р. Свияги. На севере геопарк граничит с Республикой Татарстан. Южная граница совпадает с административной границей Ишеевского городского поселения. Общая площадь геопарка «Ундория» составляет 491,92 кв. км.

Геопарк представляет собой уникальный природный комплекс, расположенный на территории Ульяновской области, обладающий богатым биоразнообразием и сохранивший ценные экосистемы. Настоящая работа посвящена выявлению редких видов насекомых (Insecta), обитающих на территории геопарка «Ундория» [4, с. 145–150].

Мониторинг насекомых, занесённых в Красную книгу, представляет собой одну из приоритетных задач в области охраны живой природы, поскольку выступает важнейшим индикатором как состояния популяций редких и уязвимых видов, так и общего благополучия их местообитаний. Представленные в работе данные дают возможность провести оценку современного состояния популяций таксонов, занесённых в Красную книгу Российской Федерации и Красную книгу Ульяновской области, а также позволяют идентифицировать факторы

риска, воздействующие на сохранение биологического разнообразия региона. Результаты настоящего исследования могут быть положены в основу рекомендаций по охране редких видов и послужат научно-методической базой для формирования экологической стратегии управления территорией Геопарка «Ундория».

Начиная с 2018 года на территории геопарка осуществляется мониторинг энтомофауны [2]. Ряд видов, обитающих здесь, занесен в Красную Книгу региона, в переиздании которой в 2025 году принимали участие авторы данного исследования [1].

По материалам исследований для геопарка отмечено 13 видов насекомых, причём 6 (в тексте отмечены звездочкой) из них приведены для данной территории впервые, что подтверждает высокое биоразнообразие и природоохранную значимость территории.

Дозориц-император – *Anax imperator* Leach, 1815.

Отряд Стрекозы – Odonata.

Семейство Коромысла – Aeshnidae.

Статус. Категория 5. Редкий вид, восстанавливающий численность. Красная книга России: категория 5 – восстанавливающийся вид. Красный список МСОП: LC – пониженная уязвимость.

Приводится по данным Красной книги Ульяновской области [1, с. 370].

Жужелица золотоямчатая – *Carabus clathratus* Linnaeus, 1760.

Отряд Жесткокрылые, или Жуки – Coleoptera.

Семейство Жужелицы – Carabidae.

Статус. Категория 2. Редкий вид с сокращающимися численностью и ареалом.

Приводится по данным Красной Ульяновской области [1, с. 383].

Альпийский усач – *Rosalia alpina* (Linnaeus, 1758).

Отряд Жесткокрылые, или Жуки – Coleoptera.

Семейство Усачи – Cerambycidae

Статус. Категория 2. Редкий вид с численностью и ареалом. Красная книга России: категория 2 – сокращающийся в численности и/или распространении вид. Красный список МСОП: VU – в уязвимом положении.

Приводится по данным Красной книги Ульяновской области [1, с. 424; 3, с. 182–183].

Прозерпина – *Proserpinus proserpina* (Pallas, 1772).

Отряд Чешуекрылые – Lepidoptera.

Семейство Бражники – Sphingidae.

Статус. Категория 3 б. Редкий вид, имеющий значительный ареал, в пределах которого встречается спорадически и с небольшой численностью популяций.

Приводится по данным Красной книги Ульяновской области [1, с. 448].

Мнемозина – *Parnassius mnemosyne* (Linnaeus, 1758).

Отряд Чешуекрылые – Lepidoptera.

Семейство Парусники – Papilionidae.

Статус. Категория 3 б. Редкий, локально встречающийся, украшающий природу вид.

Приводится по данным Красной книги Ульяновской области [1, с. 466].

Червонец Гелла – *Lycaena helle* ([Denis & Schiffermüller], 1775).

Отряд Чешуекрылые – Lepidoptera.

Семейство Голубянки – Lycaenidae.

Статус. Категория 4. Очень редкий, локально встречающийся вид.

Приводится по данным Красной книги Ульяновской области [1, с. 468].

Рисса-гигант – *Megarhyssa perlata* (Christ, 1791)

Отряд Перепончатокрылые – Hymenoptera

Семейство Наездники – Ichneumonidae.

Статус. Категория 3 б. Вид, имеющий значительный ареал, в пределах которого встречается спорадически и с небольшой численностью популяций.

Приводится по данным Красной книги Ульяновской области [1, с. 484].

**Сколия-гигант* – *Megascolia maculata* (Drury, 1773).

Отряд Перепончатокрылые – Hymenoptera.

Семейство Сколии – Scolidae.

Статус. Категория 3 г. Редкий локальный вид, находящийся на северной границе ареала [1, с. 486].

Примечание. Впервые приводится для территории геопарка «Ундория» (1 августа 2025 года на территории, известной как «Санаторский пляж» (устьевая часть оврага «Малиновый»))

**Сколия степная* – *Scolia hirta* (Schränk, 1781).

Отряд Перепончатокрылые – Hymenoptera.

Семейство Сколии – Scolidae.

Статус. Категория 2 а. Сокращающийся в численности вид [1, с. 487].

Примечание. Впервые приводится для территории геопарка «Ундория» 912.07.2025, 2 км южнее д. Городищи, Волжский склон («Долина кристаллов»)).

**Отшельник обыкновенный* – *Osmoderma barnabita* Motschulsky, 1845.

Отряд Жесткокрылые, или Жуки – Coleoptera.

Семейство Пластинчатоусые – Scarabaeidae.

Статус. Категория 2. Редкий вид с сокращающейся численностью и ареалом. Красная книга России: категория 2 – сокращающийся в численности и/или распространении вид. Красный список МСОП: NT – находящийся в состоянии, близком к угрожаемому [1, с. 405].

Примечание. Впервые приводится для территории геопарка «Ундория» (26.06.2025, Ундоры, край оврага «Малиновый», у завода «Волжанка»).

**Красотел пахучий* – *Calosoma sycophanta* (Linnaeus, 1758).

Отряд Жесткокрылые, или жуки – Coleoptera.

Семейство Жужелицы – Carabidae.

Статус. Категория 2. Редкий вид с сокращающейся численностью и ареалом. Красная книга России: категория 2 – сокращающийся в численности и/или распространении вид [1, с. 386].

Примечание. Впервые приводится для территории геопарка «Ундория» (03.07.2025, 4 км южнее д. Городищи, Волжский склон, у уреза воды).

**Бронзовка Фибера* – *Protaetia fieberi* (Kraatz, 1880)

Отряд Жесткокрылые, или Жуки – Coleoptera.

Семейство Пластинчатоусые – Scarabaeidae.

Статус. Категория 2. Редкий вид с сокращающейся численностью и ареалом. Красная книга России: категория 2 – сокращающийся в численности и/или распространении вид [1, с. 407].

Примечание. Впервые приводится для территории геопарка «Ундория» (почти ежегодно на участке Ундоры – 3 км южнее Городищ отмечаются экземпляры данного вида).

**Жук-олень* – *Lucanus cervus* (Linnaeus, 1758).

Отряд Жесткокрылые, или Жуки – Coleoptera.

Семейство Рогачи – Lucanidae.

Статус. Категория 2. Редкий вид с сокращающейся численностью и ареалом. Красная книга России: категория 2 – сокращающийся в численности и/или распространении вид. Красный список МСОП: NT – находящийся в состоянии, близком к угрожаемому [1, с. 399; 3, с. 161, 162].

Примечание. Впервые приводится для территории геопарка «Ундория» (ежегодно в районе с. Ундоры и д. Городищи отмечаются единичные экземпляры).

Таким образом, на сегодняшний день на территории Геопарка «Ундория» зафиксировано 13 видов насекомых, занесенных в Красную книгу Ульяновской области, из которых 6 приводятся впервые для указанной территории. Прогнозируется, что продолжение систематических исследований приведёт к существенному расширению данного списка.

Список литературы

1. Красная книга Ульяновской области / под науч. ред. М.В. Корепова, А.В. Масленникова, Ю.С. Волковой; Правительство Ульяновской области. – Ульяновск: НИЦ «Поволжье», 2025. – 670 с. – ISBN 978-5-6053305-0-9.
2. Крючков С.Н. К изучению энтомофауны геопарка «Ундория» / С.Н. Крючков, С.И. Буганин // Актуальные проблемы биоразнообразия: материалы II Всерос. науч.-практич. конф. с международным участием (Ульяновск, 27 марта 2024 г.) / редкол.: Н.А. Ленгесова [и др.]. – Чебоксары: Среда, 2024. – С. 70–75. – ISBN 978-5-907830-16-5.
3. Красная книга Российской Федерации. Животные / ВНИИ Экология; гл. редкол.: Д.С. Павлов (пред.) [и др.]. – 2-е изд. – М.: ВНИИ Экология, 2021. – 1128 с.
4. Крючков С.Н. Геопарк «Ундория». Вчера. Сегодня. Завтра. / С.Н. Крючков, И.М. Стеньшин // Трешниковские чтения – 2025: современная географическая картина мира и технологии географического образования: материалы Всероссийской научно-практической конференции (9–10 апреля 2025, г. Ульяновск) / под науч. ред. Е.Ю. Анисимовой, А.К. Идиатуллова [и др.]. – Ульяновск: ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова», 2025. – С. 70–75. – ISBN 978-5-907216-56-3.

Лепская Таисия Антоновна

учащаяся

Научный руководитель

Лепская Виктория Александровна

заместитель директора по УВР

Научный руководитель

Киришина Мария Николаевна

учитель

МБОУ г. Мурманска «Гимназия №6»

г. Мурманск, Мурманская область

ПЕРСПЕКТИВА СОЗДАНИЯ КАРБОНОВЫХ ФЕРМ В АРКТИКЕ

Аннотация: статья посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме декарбонизации. В различных регионах РФ появляются карбоновые фермы, позволяющие связывать и хранить углекислый газ при помощи определённых видов растений.

В статье рассматриваются возможности применения арктического растения Чемерицы белой для использования на карбоновых фермах Мурманской области.

Ключевые слова: карбоновые фермы, Чемерица белая, биомасса, Арктика, поглощение углекислого газа, естественная и окультуренная среда, Мурманская область.

Одним из главных приоритетов мирового сообщества является борьба с изменением климата, связанного с увеличением концентрации парниковых газов в атмосфере Земли. Одним из наиболее эффективных способов уменьшения антропогенной нагрузки являются проекты, связанные с разработкой эффективных технологий поглощения и хранения углекислого газа. На сегодняшний день карбоновые фермы – это не только экологический инструмент, но и экономически выгодная инновация, способствующая переходу к углеродной нейтральности и декарбонизации экономики.

Изучением карбоновых ферм, их влияния на атмосферу, занимались отечественные учёные: Уфимцев В.И. и Куприянов А.Н. [4], Калинина Е.В., Рудакова Л.В. и Шварцбурда Я.Д., Макарова М.В., Абакумова Е.В. и Шевченко Е.В. [3].

Карбоновые фермы в Арктике – перспективное направление для устойчивого развития региона и борьбы с глобальным потеплением, содержащее научный, экологический и экономический потенциал. Идея арктических карбоновых ферм предполагает создание экосистем, которые смогут эффективно поглощать углекислый газ даже в сложных арктических условиях, таких как вечная мерзлота и низкие температуры.

Карбоновая ферма – это специальная природная (естественная) или сельскохозяйственная (окультуренная) территория, на которой происходит поглощение углекислого газа из атмосферы биологическим способом. Карбоновые фермы нужны для того, чтобы максимально активно поглощать углекислый газ при помощи растительного мира, экосистем, как естественных (например, леса), так и созданных человеком плантаций (насаждений) специальных видов растений [3]. Карбоновые фермы создаются с той целью, чтобы растения (леса, сельхозкультуры или специальные культуры) активно поглощали углерод и «закачивали» его в почву на длительное хранение. Другими словами, производственный процесс карбоновой фермы основывается на естественном природном углеродном цикле и нацелен на максимальное поглощение экосистемами газообразного вещества CO_2 (и иных парниковых газов) и трансформацию его в твердый продукт, консервируемый в этих экосистемах [1].

Важно рассмотреть возможность использования арктических растений для создания карбоновых ферм. Одним из них может стать Чемерица белая – многолетнее травянистое растение Арктики, быстрорастущее неприхотливое в суровых северных условиях.

Объект проекта – Чемерица белая.

Предмет проекта – количество биомассы Чемерицы белой, произрастающей в разных условиях.

Цель работы: оценить возможность потенциального использования Чемерицы белой на карбоновых фермах Арктики.

В процессе работы были использованы следующие методы: наблюдение, эксперимент, сравнение, анализ, статистический метод.

Чемерица белая, или Кукольник, является многолетним травянистым растением семейства Мелантиевые. Это мощное растение с крепким прямым стеблем, которое произрастает в странах Европы. Чемерица белая имеет высокий стебель (от 50 до 150 см.) и короткое идущее вертикально подземное корневище, от которого отходит множество тонких корешков [5]. У нее многочисленные складчатые листочки вытянутой эллиптической формы до 20 см длиной. Сверху листовая пластинка гладкая и складчатая, на нижней стороне имеется опушение [6]. Цветки достаточно крупные, собраны в метельчатые соцветия, распускаются в июле. Чемерица белая начинает цвести в июне и цветет в продолжительный период до середины августа, обильными кистями бело-зелёных цветков. Чемерица белая – растение – долгожитель, доживает до 50 лет, а цвести начинает в возрасте 10–15 лет.

Чемерица белая является дикорастущим травянистым арктическим растением, активно произрастающим во влажной плодородной почве, устойчива к морозам и неприхотлива. В отличие от деревьев и кустарников, чемерицу белую можно легко механизировано косить и обрабатывать.

С целью оценки возможности потенциального использования Чемерицы белой на карбоновых фермах Арктики нами сначала был осуществлён сравнительный анализ побегов Чемерицы белой в разных условиях произрастания: в естественной (гора Горелая в городской черте г. Мурманска) и окультуренной среде (сад «Ботаникум» во внутреннем дворе учебного корпуса Мурманского арктического университета на проспекте Ленина, 57). Для этого в разных условиях произрастания с помощью бечёвки и колышков мы разметили участки земли (три квадратных метра на три квадратных метра) и подсчитали количество побегов растения. Также измерили длину побегов Чемерицы и подсчитали количество листьев. И в естественной, и в окультуренной среде размеры растений были примерно одинаковыми. Самый длинный побег – 122 см, самый короткий – 79 см. При поштучном подсчёте побегов оказалось, что на горе Горелой их 31, в то время как в окультуренной среде в саду «Ботаникум» – 28 штук. Таким образом, численность растений в естественной немного больше, чем в окультуренной.

Следующим этапом нашей работы стало сравнение биомассы растения в разных средах для оценки количества содержащейся в ней потенциальной целлюлозы.

В результате подсчета биомассы побегов чемерицы до сушки получили следующие данные: побеги растений, произрастающих в естественных условиях, обладают меньшей массой, чем побеги, произрастающие в окультуренной среде (табл. 1).

Таблица 1

Вес побегов Чемерицы белой до сушки (г)

Гора Горелая		Сад «Ботаникум»	
1 побег	15,352	1 побег	17,141
2 побег	5,520	2 побег	13,261
3 побег	19,885	3 побег	25,442

В результате подсчета биомассы побегов чемерицы после сушки получили следующие данные: побеги растений, произрастающих в естественных условиях, обладают меньшей массой, чем побеги, произрастающие в окультуренной среде (табл. 2).

Таблица 2

Вес побегов Чемерицы белой после сушки (г)

Гора Горелая				Сад «Ботаникум»			
	1 сушка	2 сушка	3 сушка		1 сушка	2 сушка	3 сушка
1 побег	13,181	12,971	12,971	1 побег	14,540	14,245	14,245
2 побег	4,531	4,174	4,174	2 побег	11,741	11,475	11,475
3 побег	17,651	16,852	16,852	3 побег	24,791	24,057	24,057

Сравнив биомассу Чемерицы белой, произрастающей в разных условиях, до сушки и после сушки в сушильном шкафу, определили, что средний вес побегов чемерицы в естественных условиях произрастания составляет 13,586 г до сушки и 11,332 г после сушки, в окультуренной среде – 18,615 г до сушки и 16,592 г после сушки. Разница в массе побегов в естественных условиях составила 2,254 г, в окультуренной среде – 2,023 (табл. 3).

Таблица 3

Динамика биомассы побегов Чемерицы белой (г)

Гора Горелая			сад «Ботаникум»		
	вес до сушки	вес после сушки		вес до сушки	вес после сушки
1 побег	15,352	12,971	1 побег	17,141	14,245
2 побег	5,520	4,174	2 побег	13,261	11,475
3 побег	19,885	16,852	3 побег	25,442	24,057

Далее математическим способом пропорции высчитали процент биомассы Чемерицы белой на горе Горелой и в саду «Ботаникум» после сушки (Приложение 3). Данные представлены в таблице 4.

Таблица 4

Процент биомассы Чемерицы белой после проведения эксперимента

	Гора Горелая		сад «Ботаникум»	
	биомасса %	% усушки	биомасса %	% усушки
1 побег	84,5%	15,5%	83,1%	16,9%
2 побег	75,6%	24,4%	86,5%	13,5%
3 побег	84,8	15,2%	94,6%	5,4%
итого	83,4%	16,6%	89,1%	10,9%

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что биомасса Чемерицы белой в окультуренной среде больше, чем в природной (разница небольшая, составляет 5,7%). Данные результаты позволяют предположить, что выращивание Чемерицы белой в окультуренной среде позволяет поглощать больше углекислого газа по сравнению с дикой средой.

По результатам проведённого проекта можно сделать вывод о том, Чемерицу белую можно рассматривать в качестве неприхотливого и морозоустойчивого арктического растения, используемого на карбоновых фермах Мурманской области. Следующим шагом исследования планируется изучение содержания целлюлозы в Чемерице белой, произрастающей в разных условиях.

Значимость проекта состоит в оценке потенциальной возможности применения Чемерицы белой для использования на карбоновых фермах Арктики. Результаты исследования можно использовать для повышения экологической грамотности населения.

Список литературы

1. Крупина Н.Н. Характеристика бизнес-процесса карбоновой фермы / Н.Н. Крупина. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/harakteristika-biznes-protsess-a-karbonovoy-fermy> (дата обращения: 04.06.2026).
2. Ефремова Л.Б. Роль карбонового земледелия в экономической стабильности России / Л.Б. Ефремова // Московский экономический журнал. – 2022. – № 2. – С. 220–227.
3. Малышева Н.В. Лесохозяйственные мероприятия – инструмент управления циклом в лесных экосистемах. Опыт Канады / Н.В. Малышева, Т.А. Золина, П.С. Кинигопуло // Лесохозяйственная информация. – 2015. – №2. EDN TXKXLX
4. Уфимцев В.И. Карбоновые фермы – отвалы угольных предприятий Кузбасса / В.И. Уфимцев, А.Н. Куприянов // Уголь. – 2021. – №11. – С. 56–60. DOI 10.18796/0041-5790-2021-11-56-60. EDN DJVVER
5. Чемерица белая: описание, характеристики, интересные факты, посадка и уход. – URL: <https://zhoozhavil.ru/enciklopediya/rasteniya/cvety/mnogoletnie/chemerica-belaya/?ysclid=mfrzoluuxu680350250> (дата обращения: 04.06.2026).
6. Новиков В.С. Школьный атлас-определитель высших растений: кн. для учащихся / В.С. Новиков, И.А. Губанов. – М.: Просвещение, 1991. – 240 с.

Мерзлякова Юлия Алексеевна

магистрант

Григорьян Леонтий Рустемович

канд. физ.-мат. наук, доцент

Гордин Максим Иванович

старший преподаватель

Тяжолова Екатерина Валерьевна

преподаватель

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»

г. Краснодар, Краснодарский край

DOI 10.31483/r-167392

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОЗОНИРОВАННОЙ ВОДЫ НА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

Аннотация: в статье представлены результаты действия озоносодержащей воды на микроорганизмы. Метод исследования позволяет выявлять дезинфицирующие свойства озонированной воды. Представлены результаты влияния озона в водной среде на разрушение клеточных структур микроорганизмов и инактивацию вирусных частиц.

Ключевые слова: озонированная вода, неинвазивная дезинфекция, чаши Петри, инактивация микроорганизмов.

Современное развитие биотехнических систем в Российской Федерации характеризуется повышенным интересом к методам неинвазивной дезинфекции и антимикробной обработки, основанным на применении активных форм кислорода. Технологии озонирования водных сред занимают особое место в структуре медицинских и санитарно-гигиенических процедур благодаря выраженному бактерицидному, вирулицидному и спороцидному действию.

Актуальность исследования влияния озонированной воды на микробиологические объекты обусловлена необходимостью совершенствования биотехнических систем дезинфекции в условиях роста антибиотикорезистентности микроорганизмов и ужесточении санитарно-эпидемиологических требований. Применение озонированных сред позволяет минимизировать использование химических реагентов, сократить сроки обработки и обеспечить экологическую безопасность процесса.

Для проведения опыта по исследованию влияния озонированной воды на микробиологические объекты с целью выявления ее дезинфицирующего действия в чашки Петри заливался раствор на основе картофельного отвара, дополненный сахаром (источник углеводов для микроорганизмов) и агаром (желирующий агент). Данная среда является полусинтетической, богатой для роста широкого спектра бактерий, микроэлементам и крахмалом, что делает ее пригодной для роста широкого спектра бактерий, включая факультативную и аэробную микрофлору. После разлива среды по чашкам Петри и ее застывания, чашки выдерживались под ультрафиолетовой лампой. Целью этого этапа является поверхностная стерилизация среды и уничтожение возможных контаминантов, попавших при разливе. УФ-облучение не проникает глубоко в толщу агара, но достаточно эффективно для обеззараживания поверхности, что важно для последующего равномерного роста колоний только от нанесенного материала [1].

В качестве микробной нагрузки были использованы смывы с поверхности медицинских изделий после операции. Эти смывы содержат клинически значимую микрофлору: остатки биологических жидкостей, патогенные и условно-патогенные бактерии, попавшие на инструменты во время вмешательства. Взятые смывы помещались в физиологический раствор (0,9% NaCl), который сохраняет жизнеспособность микробов, не оказывая на них бактерицидного действия. Части образца, кратные ему по объему (аликвоты) полученных смывов погружались в воду с содержанием озона 1,2 мг/л с разной временной экспозицией:

- 30 секунд;
- 60 секунд;
- 120 секунд;
- 180 секунд;
- 240 секунд;
- 300 секунд.

Концентрация озона 1,2 мг/л является высокой – значительно превышает остаточные концентрации для воды, которую используют для лечения (0,3–0,5 мг/л). Такой уровень обеспечивает мощное окислительное действие на клеточные стенки бактерий, вирусные капсиды и споры.

После каждой экспозиции из обработанного озонированной водой смыва делали мазки на поверхность питательной среды в чашках Петри. Один образец со смывами без экспозиции озонированной водой был нанесен на чашку Петри для выявления наличия микроорганизмов и дальнейшего сравнения с другими образцами. Важное условие: подселение происходило в камере с небольшим содержанием озона. Это значит, что в атмосфере посевной камеры присутствует низкая концентрация O_3 для предотвращения вторичного обсеменения из воздуха. Учитывается, что выбранный способ может оказывать дополнительное слабое бактерицидное действие в процессе посева, что следует учитывать как фактор, сработавший одинаково для всех образцов. Чашки Петри после посева инкубируются в термостате при 36,5 °C в течение также 72 часов. Затем подсчитывается количество выросших колоний (КОЕ/мл). Сравняется рост в зависимости от времени экспозиции в озонированной воде [2].

Для проверки полученных результатов в ходе исследования чашки Петри прошли лабораторные исследования на базе лаборатории.

В изначальном образце типичная концентрация колоний на медицинских изделиях после операции ≈ 1500000 КОЕ/мл.

Использовалась методика КОЕ/мл, где общая формула выглядит следующим образом:

$$\text{КОЕ/мл} = (N \times D) / V (1)$$

где:

N – число колоний в чашке,

D – разведение образца,

V – объем посева в мл.

В изначальном образце типичная концентрация колоний на медицинских изделиях после операции ≈ 1500000 КОЕ/мл. Для удобства подсчетов было принято решение высевать образцы с разведением, чтобы добиться количества колоний в пределах 150 – 200 колоний. Разведение – это степень разбавления исходного смыва стерильным физиологическим раствором перед нанесением на питательную среду (например, разведение 10^{-3} означает, что 1 мл исходного смыва смешали с 999 мл физраствора, отобрали 0,1 мл и высели на чашку). Для разного времени экспозиции озонированной водой подбиралось различное разведение при посеве так, чтобы после обработки озоном получить удобное для подсчета количество колоний [3].

Из полученных результатов видно, что дезинфицирующее действие озонированная вода при концентрации 1,2 мг/л оказывает уже через 30 секунд. Наиболее интенсивное снижение микробной нагрузки наблюдается в первые 120 секунд. Далее количество колоний медленнее инактивируется, это связано с наличием устойчивых форм микроорганизмов. Но достигнутые показатели являются достаточными для практической стерилизации медицинских изделий. Для безопасности рекомендованное время экспозиции 20–30 минут.

Таблица 1

Результаты микробиологического исследования озонированной воды
на микробиологические объекты

Время экспозиции, с	Кол-во колоний на чашке после посева	Разведение при посеве	КОЕ/мл (после обработок)	Бактерицидное действие, %
0 (контроль)	164	10^{-5}	$1,64 \cdot 10^8$	0
30	91	10^{-4}	$9,10 \cdot 10^6$	94,45
60	76	10^{-3}	$7,60 \cdot 10^5$	99,54
120	48	10^{-2}	$4,80 \cdot 10^4$	99,97
180	14	1	$1,40 \cdot 10^2$	99,99
240	2	1	$2,00 \cdot 10^1$	99,99
300	1	1	$1,00 \cdot 10^1$	99,99

Список литературы

1. Васильев Е.И. Активные формы кислорода и их роль в инактивации микроорганизмов / Е.И. Васильев // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2022. – №3. – С. 78–85.
2. Озонотерапия: медицинские и технические аспекты / под ред. А.Б. Самойлова. – М.: Практическая медицина, 2023. – 440 с.

Normurodov Murod Dilmurod ugli
doctoral student

Azimov Nodirjon Nurilloevich
senior research fellow

Institute of Zoology of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan
Tashkent, Republic of Uzbekistan

MODERN SPECIES COMPOSITION AND DISTRIBUTION MAP OF SOUTHERN KYZYLKUM LIZARDS

Abstract: *this study presents current data on the species composition and distribution of lizards in the Southern Kyzylkum Desert. Field investigations were conducted at 11 stationary sites using route survey methods. During a total survey distance of 58.7 km, 688 individuals belonging to 19 species of the families Gekkonidae, Agamidae, Lacertidae, Scincidae, and Varanidae were recorded. Species occurrence and abundance varied depending on habitat conditions, with the highest diversity observed in sandy desert ecosystems. The obtained results provide updated information on the current state of lizard fauna in the Southern Kyzylkum and contribute to a better understanding of their spatial distribution and biodiversity conservation in the arid ecosystems of Central Asia.*

Keywords: *Southern Kyzylkum, lizards, species composition, distribution*

Нормуродов Мурод Дилмурод угли
докторант

Азимов Нодиржон Нуриллоевич
старший научный сотрудник

ГУ «Институт зоологии
Академии наук Республики Узбекистан»
г. Ташкент, Республика Узбекистан

СОВРЕМЕННЫЙ ВИДОВОЙ СОСТАВ И КАРТА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЯЩЕРИЦ ЮЖНОГО КЫЗЫЛКУМА

Аннотация: *в статье представлены актуальные данные о видовом составе и распространении ящериц в пустыне Южный Кызылкум. Полевые исследования проводились на 11 стационарных участках с использованием методов маршрутного обследования. На общей дистанции обследования 58,7 км было зарегистрировано 688 особей, принадлежащих к 19 видам семейств Gekkonidae, Agamidae, Lacertidae, Scincidae и Varanidae. Частота встречаемости и численность видов варьировались в зависимости от условий среды обитания, причем наибольшее разнообразие наблюдалось в экосистемах песчаных пустынь. Полученные результаты предоставляют актуальную информацию о современном состоянии фауны ящериц в Южном Кызылкуме и способствуют лучшему пониманию их пространственного распространения и сохранения биоразнообразия в засушливых экосистемах Центральной Азии.*

Ключевые слова: *Южный Кызылкум, ящерицы, видовой состав, распространение.*

Introduction. The Kyzylkum Desert is one of the largest arid regions in Central Asia and represents an important center of reptile diversity. Owing to the heterogeneity of landscapes and habitats, the region supports numerous lizard species adapted to extreme desert conditions. Previous studies have provided valuable information on the taxonomy, ecology, and distribution of reptiles in Central Asia and the Kyzylkum Desert [4; 6]. However, recent changes in natural and anthropogenic environments necessitate updated assessments of species composition and distribution patterns. Therefore, the present study aims to evaluate the current diversity and distribution of lizards in the Southern Kyzylkum Desert.

Materials and Methods. Field studies were conducted in the Southern Kyzylkum Desert at 11 stationary sites representing different habitats. Surveys were carried out in six biotopes using route count methods (Fig. 1).

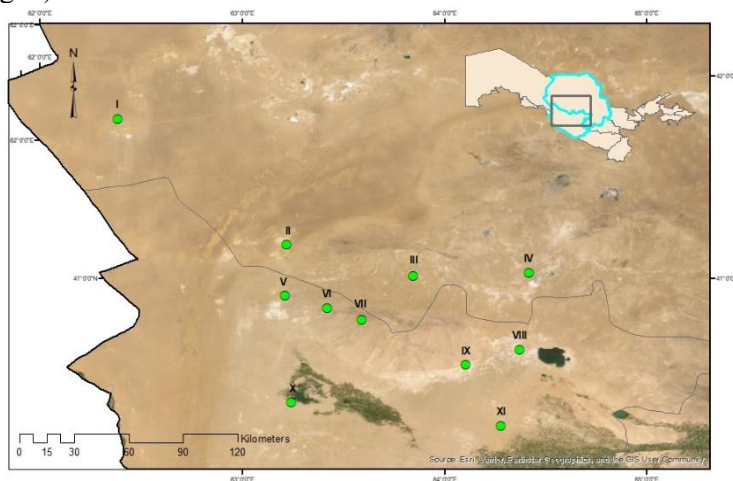


Fig. 1. Study area (I-XI – stationary zone)

Depending on the habitat type, the width of transects ranged from 2 to 8 m, with a total survey distance of 58.7 km (Bondarenko 1996; Dinesman et al., 1952). The study area was delineated using GIS technologies in ArcGIS Pro. Geographic coordinates of recorded species were determined using a Garmin GPSMAP 65s navigator (Table 1).

Table 1

Characteristics of the study area

Stationary	Coordinate	Date	Landscape
I	41°46' N, 62°25' E	12.04.2025	Soil with a mass of shifting sands and reinforced vegetation cover
II	41°10' N, 63°14' E	22-23.05.2025	Foothills with perennial vegetation cover, fine-gravel sands
III	41°07' N, 63°53' E	14.06.2025	Foothills with perennial vegetation cover, fine-gravel sands
IV	41°00' N, 64°24' E	15-16.06.2025 25.05.2026	Takyr and salt flats
V	40°56' N, 63°13' E	11.04.2025 07-09.05.2026	Takyr and salt flats
VI	40°52' N, 63°35' E	12.04.2025 10-11.05.2026	Foothills with perennial vegetation cover, fine-gravel sands
VII	40°41' N, 63°49' E	12.05.2026	Foothills with perennial vegetation cover, fine-gravel sands
VIII	40°38' N, 64°22' E	28-30.03.2026	Unconsolidated sands and fine-gravel sands
IX	40°33' N, 64°07' E	10-08.2025 04-06.05.2026	Unstabilized sands, takyr lands, and salt flats with sparse perennial vegetation
X	40°21' N, 63°15' E	10-13.04.2026	A mass of fine-gravel sands and shifting sands
XI	40°13' N, 64°16' E	14-16.06.2025 20-21.03.2026	A mass of fine-gravel sands and shifting sands

Species identification and abundance assessments were based on direct visual observations. Nocturnal species were surveyed using artificial light sources during night-time observations.

During the surveys, a total of 688 individuals were recorded. The collected data were used to analyze the current species composition and distribution patterns of lizards in the study area.

Results. A total of 688 individuals were recorded during field surveys conducted along 58.7 km of transects in the Southern Kyzylkum Desert. The lizard fauna comprised 19 species belonging to five families. Gekkonidae was represented by seven species, namely *Alsophylax laevis*, *Alsophylax pipiens*, *Crossobamon evermanni*, *Teratoscincus scincus*, *Mediodactylus russowi*, *Tenuidactylus fedtschenkoi*, and *Tenuidactylus caspius*. Agamidae included *Phrynocephalus helioscopus*, *Phrynocephalus interscapularis*, *Phrynocephalus mystaceus*, *Phrynocephalus reticulatus*, and *Trapelus sanguinolentus*. Lacertidae was represented by *Eremias velox*, *Eremias scripta*, *Eremias lineolata*, *Eremias intermedia*, and *Eremias grammica*. Varanidae and Scincidae were represented by *Varanus griseus* and *Ablepharus deserti*, respectively (Table 2).

Table 2

Species distribution in the study areas

№	Lizard species	Statsionary										
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Agamidae												
1	<i>Phrynocephalus helioscopus</i>		+	+		+	+	+	+	+		+
2	<i>Phrynocephalus interscapularis</i>	+			+		+		+	+	+	+
3	<i>Phrynocephalus mystaceus</i>				+				+		+	+
4	<i>Phrynocephalus reticulatus</i>	+	+	+	+				+	+	+	+
5	<i>Trapelus sanguinolentus</i>	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+
Gekkonidae												
6	<i>Alsophylax laevis</i>		+					+				
7	<i>Alsophylax pipiens</i>		+					+				
8	<i>Crossobamon evermanni</i>	+			+				+		+	
9	<i>Teratoscincus scincus</i>				+				+		+	+
10	<i>Mediodactylus russowi</i>				+				+			+
11	<i>Tenuidactylus fedtschenkoi</i>								+			+
12	<i>Tenuidactylus caspius</i>	+					+					+
Varanidae												
13	<i>Varanus griseus</i>	+	+				+	+	+	+		+
Lacertidae												
14	<i>Eremias velox</i>						+	+	+			+
15	<i>Eremias scripta</i>				+						+	+
16	<i>Eremias lineolata</i>	+			+	+		+	+	+	+	+
17	<i>Eremias intermedia</i>		+				+	+				+
18	<i>Eremias grammica</i>	+			+					+	+	+
Scincidae												
19	<i>Ablepharus deserti</i>								+			+

Analysis of species occurrence among stationary sites revealed considerable differences in distribution patterns. *Trapelus sanguinolentus* showed the widest distribution and was recorded in almost all sampling sites. Among agamids, *Phrynocephalus helioscopus*, *Phrynocephalus interscapularis*, and *Phrynocephalus reticulatus* were also widely distributed, whereas *Phrynocephalus mystaceus* occurred only in several localities. Among geckos, *Tenuidactylus caspius*, *Mediodactylus russowi*, and *Teratoscincus scincus* were encountered in several stations, while *Alsophylax laevis*,

Alsophylax pipiens, and *Crossobamon eversmanni* had more restricted distributions. Among Lacertidae, *Eremias lineolata* was recorded in most stations and represented one of the most widespread species, whereas *Eremias intermedia* and *Eremias grammica* occurred less frequently. *Varanus griseus* was observed in several stations, indicating a relatively broad distribution despite its low abundance. *Ablepharus deserti* was recorded only in a limited number of sites, reflecting its narrow ecological requirements. Among the recorded families, Gekkonidae exhibited the highest species richness, accounting for 36.8% of the total number of species, followed by Agamidae and Lacertidae (26.3% each). Species distribution varied among habitats, with sandy biotopes supporting the highest diversity, while *Varanus griseus* and *Ablepharus deserti* were recorded less frequently.

The Southern Kyzylkum Desert supports a diverse lizard fauna comprising 19 species from five families. Representatives of Gekkonidae exhibited the highest species richness, while *Trapelus sanguinolentus* and *Eremias lineolata* showed the widest distribution among the 11 stationary sites. Species composition and distribution varied among habitats, with sandy biotopes supporting the greatest diversity. The obtained results confirm the importance of the Southern Kyzylkum as a key center of reptile diversity in Central Asia and provide a basis for future monitoring and conservation efforts.

References

1. Shernazarov E., Jumayev F. Transformations of the herpetofauna of South Western Kyzylkum (Uzbekistan) under the influence of technogenesis. E3S Web of Conferences 264, 01041 (2021) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126401041>. EDN: FLSCMCN
2. Dinesman L.G., Koletskaia M.P. Methods of quantitative accounting of amphibians and reptiles (Moscow, SSSR: Methods of accounting for the number and geographical distribution of terrestrial vertebrates Academy of Sciences Publishing House) pp. 329–341. (1952)
3. Sindaco R., Jeremcenko V.K. The reptiles of the Western Palearctic (Latina, Italy: Annotated Checklist and Distributional Atlas of the Turtles, Crocodiles, Amphisbaenians and Lizards of Europe, North Africa, Middle East and Central Asia. Edizioni Belvedere) 1. p 579. (2008)
4. Showler D.A. (2018). A Checklist of the Amphibians and Reptiles of the Republic of Uzbekistan with a Review and Summary of Species Distribution. www.sustainablehoubaramanagement.org/wpcontent/uploads/2018/09/Uzbekistan-Amphibian-Rep-tile
5. Martin T., Guillemin M., Nivet-Mazerolles V., Landsmann C., Dubos J., Eudeline R., Stroud J. The herpetofauna of central Uzbekistan // Amphibian and Reptile Conservation. – 2017. – №11. – P. 93–107.
6. Bondarenko D.A., Dujsebajeva T.N. (2024) – Reptile communities of desert landscapes and analysis of the herpetofauna of Southeastern Kazakhstan. – Current Studies in Herpetology, 24 (3–4): 127–144. <https://doi.org/10.18500/1814-6090-2024-24-3-4-127-144>. EDN: EMWXVK
7. Bondarenko D.A., Chelintsev N.G. A Comparative estimation of different methods of the line transect census of desert reptiles. Bull. of Moscow Society of Naturalists. Biological Ser., 1996, vol. 101, iss. 3, pp. 26–35.

Платонов Павел Евгеньевич

студент

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Чувашская Республика

Фролова Мария Александровна

канд. хим. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Чувашская Республика

Журавлев Анатолий Петрович

магистрант

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный аграрный университет»

г. Чебоксары, Чувашская Республика

DOI 10.31483/r-168397

СОДЕРЖАНИЕ СТРОНЦИЯ В ЛИСТЬЯХ ЛОПУХА БОЛЬШОГО (*ARCTIUM LAPPA* L.) ПЕРВОГО ГОДА ЖИЗНИ

Аннотация: в статье представлены результаты количественного определения стронция в образцах листьев лопуха большого (*Arctium lappa* L.), отобранных на территории Чувашской Республики. С применением метода рентгенофлуоресцентной спектрометрии (РФС) на спектрометре Shimadzu EDX-7000 в сочетании с методом добавок установлено содержание изучаемого вещества. Многократное превышение регламентированных нормативных значений содержания стронция в лекарственном растительном сырье стало свидетельством потенциально экологической нагрузки на территорию сбора и обуславливает необходимость внедрения систематического контроля качества фитосырья. Продемонстрирована эффективность и воспроизводимость метода РФС для неразрушающего экспресс-анализа элементного состава растительных матриц.

Ключевые слова: листья лопуха, *Arctium lappa* L, стронций, рентгенофлуоресцентная спектрометрия, метод добавок, фитосырьё, биоаккумуляция.

Контроль содержания потенциально токсичных элементов в растительном сырье является неотъемлемым компонентом обеспечения безопасности фармацевтической, пищевой и косметической продукции. В последние годы существенно возросла актуальность мониторинга микроэлементов в дикорастущих видах, традиционно используемых в медицинской практике, в связи с их способностью к биоаккумуляции из окружающей среды [2]. Особое внимание уделяется определению стронция – биогенного элемента, обладающего структурным и функциональным сходством с кальцием и способного к его замещению в метаболических процессах. При этом избыточное поступление стронция, особенно его радиоизотопов (в частности, ^{90}Sr), ассоциировано с развитием остеотропной патологии, включая так называемый «стронциевый рахит», фиброзные изменения в лёгочной ткани, а также повышением риска онкологических заболеваний костного мозга [5].

В соответствии с действующими нормативными документами, регламентирующими качество лекарственного растительного сырья (ЛРС), предельно допустимый уровень содержания стронция установлен в диапазоне 0,14–0,23 мг/г [5]. Превышение указанных значений расценивается как маркер экологического неблагополучия территории произрастания и служит основанием для признания сырья непригодным для медицинского применения. В связи с этим проведение систематических исследований элементного состава дикорастущих

лекарственных растений, в том числе лопуха большого (*Arctium lappa* L.), представляется научно и практически значимым.

Лопух большой – широко распространённый вид, листья которого применяются в народной и официальной медицине как источник биологически активных соединений, обладающих противовоспалительной, диуретической и детоксикационной активностью [3]. Вместе с тем высокая корневая поглотительная способность данного вида обуславливает его выраженную склонность к аккумуляции химических элементов, в том числе потенциально токсичных, что требует строгого контроля безопасности сырья [4]. В агроэкологических исследованиях показано, что применение различных минеральных добавок и сорбентов способно модулировать уровень накопления тяжёлых металлов и щелочноземельных элементов в тканях растений [1].

Целью настоящего исследования являлось количественное определение содержания стронция в листьях лопуха большого, собранных в Чувашской Республике, методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи.

1. Отбор и стандартизированная подготовка образцов листьев лопуха большого к элементному анализу.
2. Количественное определение концентрации стронция методом РФС с применением метода добавок.
3. Сравнительный анализ полученных результатов с нормативными значениями, установленными для ЛРС.
4. Интерпретация выявленных отклонений с учётом экологических факторов региона.

Исследования выполнены на базе лаборатории Чувашского государственного университета имени И. Н. Ульянова. Образцы свежих листьев лопуха первого года жизни отбирали в репрезентативных точках Чувашской Республики в фазу максимальной вегетативной активности растения. Сушку растительного материала осуществляли воздушно-теневым способом до достижения постоянной массы, после чего проводили измельчение до порошкообразного состояния и прессование в таблетки массой 4 г в соответствии с требованиями ОФС.1.1.0005.15 Государственной фармакопеи РФ. Подлинность сырья подтверждали микроскопическим анализом по методикам ОФС.1.2.1.0009 и ОФС.1.5.1.0003.

Элементный анализ проводили на рентгенофлуоресцентном спектрометре Shimadzu EDX-7000 (Rh-анод, ускоряющее напряжение 50 кВ, кристалл-анализатор LiF(200)). Количественное определение стронция выполняли методом добавок с использованием кадмия в качестве государственного стандартного образца (ГСО). Концентрацию добавки варьировали в диапазоне $mCd=0,175-0,524$ мг/г, выбор значений осуществляли на основании анализа нулевого спектра для минимизации фоновых помех и повышения точности градуировки [1].

Результаты элементного анализа выявили присутствие в листьях лопуха широкого спектра макро- и микроэлементов, среди которых особое внимание было уделено стронцию. Предварительное обнаружение Sr на уровне 0,002% было зафиксировано при регистрации нулевого спектра. Для количественной оценки концентрации стронция была построена градуировочная зависимость по данным, полученным методом добавок (рис. 1).

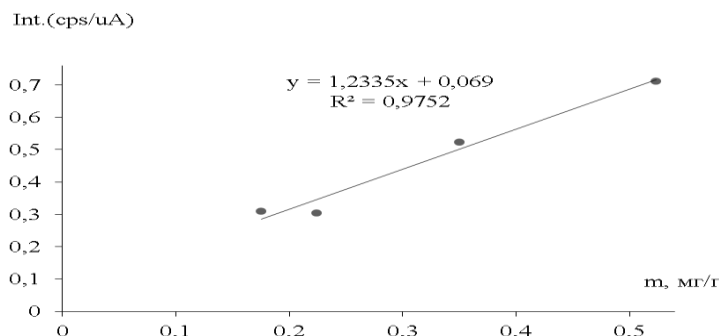


Рис. 1. Градуировочный график – содержание Sr (mCd= 1,0 мкг/г)

Согласно полученным результатам содержание стронция в ЛРС находится в пределах 0,744 мкг/г, что превышает интервал (0,14–0,23 мкг/г) регламентируемый нормативными документами.

Результаты определения представлены в табл. 1.

Таблица 1

Содержание Sr в листьях лопуха большого (*Arctium lappa* L.)
(mCd=1 мкг/мл, m=4,0013 г)

Введено		Найдено	
V, мл	mCd, мкг/г	Int. (cps/uA)	mSr, мкг/г
0,0	0,0	0,9631	0,72
0,7	0,175	1,0794	0,82
0,9	0,224	0,9410	0,71
1,4	0,350	1,0433	0,79
2,1	0,524	0,9096	0,68

Метрологические характеристики серии измерений ($n = 5$, $p = 0,98$): среднее значение $\bar{X} = 0,744$ мкг/г; стандартное отклонение $S = 0,0586$; ошибка среднего $S_{\bar{x}} = 0,0293$; абсолютная погрешность $\Delta X = 0,1083$; относительное стандартное отклонение $S_r = 0,1456$.

Анализ данных, представленных в таблице 1, позволяет сделать ряд существенных выводов относительно стабильности и достоверности полученных результатов. Во-первых, при отсутствии добавки кадмия ($V=0,0$ мл) концентрация стронция составила 0,72 мкг/г, что уже превышает нормативный верхний предел (0,23 мкг/г) более чем в 3 раза. Во-вторых, при введении добавки в количестве 0,7 мл ($mCd = 0,175$ мкг/г) зафиксировано максимальное значение содержания стронция (0,82 мкг/г), что может быть обусловлено оптимальным соотношением сигнала и фона в данной точке градуировочного графика. В последующих измерениях при увеличении объема добавки наблюдается незначительное снижение определяемой концентрации стронция: при $V = 0,9$ мл значение составило 0,71 мкг/г, при $V = 1,4$ мл – 0,79 мкг/г, а при максимальном объеме добавки $V = 2,1$ мл концентрация стронция снизилась до 0,68 мкг/г. Такая динамика свидетельствует о хорошей воспроизводимости метода в широком диапазоне концентраций добавки и отсутствии выраженного матричного эффекта, способного исказить результаты.

Расчёт среднего арифметического значения по пяти параллельным измерениям ($\bar{X} = 0,744$ мкг/г) с учётом относительной погрешности $\pm 0,108$ мкг/г подтверждает высокую степень надёжности полученных данных. Низкое значение относительного стандартного отклонения

($Sr = 0,1456$, или $14,56\%$) указывает на удовлетворительную сходимость результатов внутри серии, что является важным критерием валидации аналитической методики. Незначительные флуктуации отдельных значений (от $0,68$ до $0,82$ мг/г) укладываются в пределы допустимой погрешности и могут быть объяснены естественными вариациями элементного состава растительного материала, обусловленными микрозональностью условий произрастания, а также инструментальными погрешностями, неизбежными при проведении спектрометрических измерений.

Сравнительный анализ полученных данных с нормативными значениями [5] показал, что концентрация стронция в исследованных образцах превышает допустимый уровень в 3–5 раз. Данное обстоятельство может быть обусловлено совокупностью факторов, включающих геохимические особенности почвенного покрова региона, антропогенную нагрузку (в том числе сельскохозяйственную деятельность и промышленные выбросы), а также высокую биоаккумулирующую способность лопуха как вида-концентратора [4]. При этом в ряде агроэкологических работ продемонстрирована возможность снижения уровня накопления нежелательных элементов за счёт внесения в почву сорбентов и сбалансированных минеральных комплексов, что открывает перспективы для разработки приёмов фиторемедиации и оптимизации минерального питания растений [1].

Применение рентгенофлуоресцентной спектрометрии в рамках настоящего исследования продемонстрировало ряд существенных преимуществ: экспрессность анализа, отсутствие необходимости в трудоёмкой пробоподготовке, неразрушающий характер метода и высокую воспроизводимость результатов. По сравнению с альтернативными подходами (например, гистохимическими методами или активационным анализом), РФС позволяет осуществлять массовый скрининг образцов с минимальными временными и материальными затратами [1].

Таким образом, результаты проведённого исследования свидетельствуют о необходимости регулярного мониторинга содержания потенциально опасных элементов в лекарственном растительном сырье. Выявленное превышение концентрации стронция в листьях лопуха большого указывает на потребность в детализированном изучении экологической обстановки в местах заготовки фитосырья и введении дополнительных контрольных процедур при производстве фитопрепаратов, кормов и косметических средств на основе лопуха. Реализация указанных мер позволит минимизировать риски для здоровья населения и обеспечить соответствие продукции современным требованиям безопасности.

Список литературы

1. Агроэкологические аспекты использования селенита натрия и цеолитов при выращивании гороха / И.А. Добросмыслова, А.А. Сазанова, В.Г. Семенов [и др.] // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия химии и технологии. – 2021. – №3. – С. 30–36. – ISSN 2224-5286. – DOI: 10.32014/2020.2519-1629.77. – EDN: KLZHWM.
2. Дмитриева С.О. Исследование химического состава листьев лопуха большого (*Arctium lappa* L.) / С.О. Дмитриева, Н.В. Бирюкова // The scientific heritage. – 2021. – №67–2. – С. 22–25. DOI 10.24412/9215-0365-2021-67-2-22-25. EDN GUQOID
3. Guiserix D. Simultaneous analysis of stable and radiogenic strontium isotopes in reference materials, plants and modern tooth enamel / D. Guiserix, E. Albalat [et al.] // Chemical Geology. – 2022. – Vol. 606. – P. 121000. DOI 10.1016/j.chemgeo.2022.121000. EDN EKUZNU
4. Tietz Textbook of Clinical Chemistry and Molecular Diagnostics / Burtis C.A., Ashwood E.R., Bruns D.E. (eds.). – 4th ed. – New Delhi: Elsevier, 2006. – 2412 p.
5. Серегин И.В. Гистохимические методы выявления тяжёлых металлов и стронция в тканях вышших растений / И.В. Серегин, А.Д. Кожевникова // Физиология растений. – 2011. – Т. 58, №5. – С. 721–727. – DOI: 10.1134/S1021443711040133. EDN OHRNNZ

Сируляева Вероника Вячеславовна

студентка

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Чувашская Республика

Фролова Мария Александровна

канд. хим. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Чувашская Республика

Добросмылова Ирина Анатольевна

канд. биол. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Чувашская Республика

Добросмыслов Светослав Анатольевич

учащийся

МАОУ «СОШ №3»

г. Канаш, Чувашская Республика

Журавлев Анатолий Петрович

магистрант

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный аграрный университет»

г. Чебоксары, Чувашская Республика

DOI 10.31483/r-168436

АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА РАСПРОСТРАНЁННЫХ РАСТЕНИЙ

Аннотация: в статье представлены результаты сравнительного анализа антибактериальной активности водных экстрактов распространённых растений чеснока (*Allium sativum*), лука репчатого (*Allium cepa*) и хрена (*Armoracia rusticana*). Изысканием исследования являлось оценка фитонцидных свойств данных растений в контексте поиска природных альтернатив синтетическим антибиотикам на фоне нарастающей антибиотикорезистентности. Экспериментально подтверждена способность фитонцидов подавлять рост тест-культур бактерий на питательной среде. Наибольшую антибактериальную эффективность продемонстрировал экстракт чеснока, что согласуется с выдвинутой гипотезой и обусловлено высоким содержанием аллицина, биологически активного соединения с выраженным антимикробным действием.

Ключевые слова: фитонциды, антибактериальная активность, чеснок, лук, хрен, аллицин, растительные экстракты, антибиотикорезистентность.

Проблема поиска эффективных природных антимикробных агентов остаётся одной из актуальных в современной микробиологии и профилактической медицине. История эмпирического применения растений с антимикробными свойствами охватывает тысячелетия и прослеживается в традиционных практиках Древнего Египта, Рима и Китая. Научная база данного направления была заложена в 1928 году советским учёным Б. П. Токиным, который ввёл термин «фитонциды» и впервые экспериментально доказал способность летучих соединений растений подавлять жизнедеятельность микроорганизмов [5]. В середине XX века эти исследования получили практическое развитие: на основе фитонцидов были созданы первые препараты (например, иманин из зверобоя), подтвердившие потенциал растительных антимикробных веществ.

Актуальность настоящего исследования определяется ростом антибиотикорезистентности патогенных штаммов, что обуславливает необходимость расширения арсенала средств с антимикробным эффектом, в том числе природного происхождения. Фитонциды представляют особый интерес как биологически активные соединения растительного происхождения, потенциально пригодные для местного применения и использования в бытовых условиях благодаря сравнительно низкой токсичности и многофакторному механизму действия [1; 2; 5; 6]. При этом оценка экологических и техногенных факторов, способных влиять на накопление биологически активных веществ в растениях, имеет существенное значение для стандартизации сырья и воспроизводимости результатов [3].

Целью работы являлся сравнительный анализ антибактериальной активности фитонцидов, выделяемых чесноком (*Allium sativum*), луком репчатым (*Allium cepa*) и хреном (*Armoracia rusticana*), в отношении тест-культур бактерий.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи.

1. Приготовить водные экстракты исследуемых растений по стандартизированной методике.
2. Применить метод дисков для оценки зоны задержки роста бактерий под действием фитонцидов.
3. Измерить и зафиксировать диаметр зоны роста тест-культур через 48 часов инкубации.
4. Сопоставить выраженность антибактериального эффекта у разных растений и интерпретировать результаты с учётом известных биохимических свойств их активных компонентов.

Эксперимент выполнен на базе лаборатории Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова. Объектом исследования служили водные экстракты чеснока, лука и хрена, а также тест-культура бактерий, подобранная с учётом чувствительности к фитонцидам. Для минимизации внешних влияний все процедуры проводились в одинаковых условиях (температура инкубации, тип питательной среды, объём наносимого экстракта, длительность экспозиции). Перед нанесением экстрактов питательная среда была равномерно засеяна бактериальной суспензией. В качестве контрольных образцов использовались диски, пропитанные дистиллированной водой; положительный контроль не применялся ввиду специфики задачи, сравнительной оценки именно растительных экстрактов.

В качестве основного метода исследования использован метод дисков: на поверхность засеянной питательной среды помещали бумажные диски, пропитанные экстрактами растений. Критерием антибактериальной активности служил диаметр зоны задержки роста бактерий вокруг диска, измеряемый в миллиметрах через 48 часов инкубации при оптимальной температуре. Данный метод позволяет получить воспроизводимые и наглядные результаты, пригодные для количественного сравнения.

Расчёт относительного эффекта проводили по формуле:

$$\Delta D\% = \frac{D_{\text{контроль}} - D_{\text{опыт}}}{D_{\text{контроль}}} \times 100\%,$$

где $D_{\text{контроль}}$ – диаметр зоны роста в контрольной группе (ожидаемый сплошной рост), $D_{\text{опыт}}$ – диаметр зоны роста вокруг диска с экстрактом.

Эксперимент 1 («Оценка антибактериальной активности экстракта чеснока») показал максимальный эффект: диаметр зоны роста бактерий составил 2 мм, что соответствует подавлению роста на 90% относительно контроля. Визуально вокруг диска наблюдалась чистая зона без признаков размножения микроорганизмов, что свидетельствует о бактерицидном либо выраженном бактериостатическом действии. Высокая активность согласуется с наличием в чесноке аллицина, соединения, разрушающего клеточные мембраны бактерий и ингибирующего ключевые ферменты их метаболизма.

Эксперимент 2 («Оценка антибактериальной активности экстракта хрена») выявил умеренный эффект: диаметр зоны роста – 9 мм (подавление на 55%). Вокруг диска прослеживалась чёткая зона задержки роста, однако по периферии отмечалось ограниченное размножение бактерий. Это указывает на преимущественно бактериостатическое действие, обусловленное присутствием в хрене синигрина и лизоцима, веществ, замедляющих деление клеток, но не всегда приводящих к их гибели.

Эксперимент 3 («Оценка антибактериальной активности экстракта лука») продемонстрировал минимальный эффект: диаметр зоны роста составил 20 мм, что близко к показателям контроля. Это свидетельствует о слабой антибактериальной активности в данных условиях, несмотря на наличие в луке фитонцидов (в том числе производных аллицина и флавоноидов). Вероятно, концентрация активных веществ в водном экстракте оказалась недостаточной для значимого подавления роста используемой тест-культуры.

Результаты экспериментов систематизированы в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение антибактериальной активности экстрактов чеснока, лука и хрена

Образец	Диаметр зоны роста бактерий через 48 часов	Визуальная оценка результата	Бактерицидное действие
Чеснок (<i>Allium sativum</i>)	2 мм (рост бактерий не наблюдается)	Вокруг диска с экстрактом – чистая питательная среда. Четкая зона задержки роста	Наиболее сильный антибактериальный эффект. Экстракт чеснока полностью подавил рост тестовых бактерий на протяжении всего времени эксперимента, проявив выраженное бактерицидное или мощное бактериостатическое действие
Хрен (<i>Armoracia rusticana</i>)	9 мм (ограниченный рост)	Бактерии начали развиваться, но рост ограничен небольшой зоной вокруг диска. Видна зона задержки роста	Умеренный антибактериальный эффект. Экстракт хрена замедлил и ограничил распространение бактерий, но не смог полностью их подавить. Проявил бактериостатическое действие в данной концентрации
Лук (<i>Allium cepa</i>)	20 мм (обильный рост)	Бактерии охватили почти всю доступную поверхность питательной среды вокруг диска	Слабый антибактериальный эффект в данных условиях. Экстракт лука в использованной концентрации не смог существенно подавить рост тестовой культуры

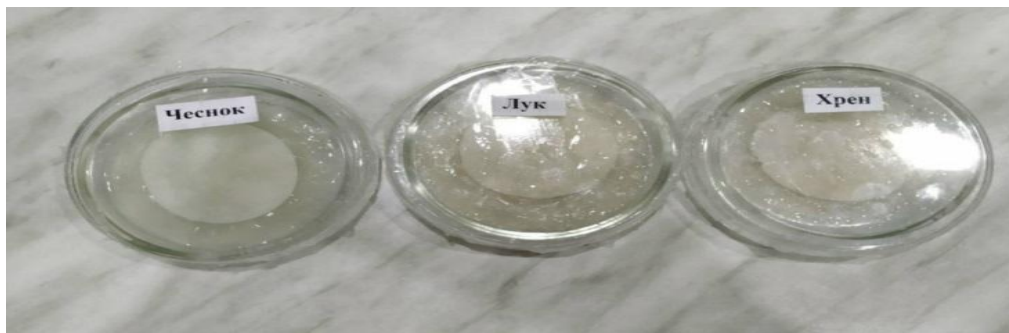


Рис. 1. Определение антибактериальной активности растений методом дисков

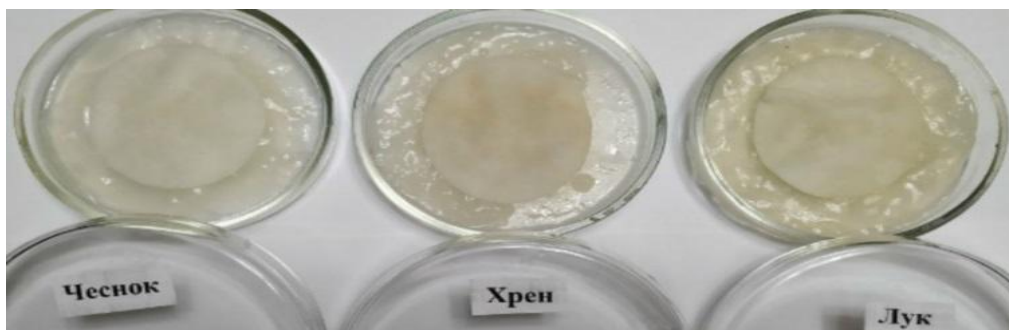


Рис. 2. Зона поражения бактериями питательной среды

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о наличии у всех исследованных растений фитонцидной активности, однако её выраженность существенно различается. Чеснок продемонстрировал абсолютное превосходство, хрен – умеренную эффективность, а лук в рамках данного эксперимента оказался наименее активным. Ранжирование по силе антибактериального действия:

Лук (*Allium cepa*) < Хрен (*Armoracia rusticana*) < Чеснок (*Allium sativum*).

Выявленные закономерности согласуются с биохимическими особенностями растений: высокая активность чеснока обусловлена аллицином, обладающим прямым повреждающим действием на клетки микроорганизмов; умеренная активность хрена связана с синигрином и лизоцимом, действующими преимущественно как ингибиторы роста; относительно низкая эффективность лука в водном экстракте может быть связана с нестабильностью его активных компонентов в водной среде или с недостаточной концентрацией [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Полученные результаты подтверждают пригодность метода дисков для экспресс-оценки антибактериальной активности растительных экстрактов и позволяют дифференцировать растения по степени выраженности фитонцидного эффекта. Комплекс использованных методик (стандартизированное приготовление экстрактов, количественная оценка зоны задержки роста, расчёт относительного эффекта) продемонстрировал свою воспроизводимость и информативность для сравнительных исследований.

Таким образом, проведённое исследование наглядно демонстрирует, что фитонциды распространённых растений обладают выраженной, но неоднородной антибактериальной активностью. Наиболее перспективным источником антимикробных соединений в рамках данной работы признан чеснок, что подчёркивает потенциал его компонентов для дальнейших исследований в области природных антимикробных средств. Результаты могут быть использованы в учебных курсах по микробиологии, фитохимии и экологической медицине, а также

в разработке рекомендаций по применению растительных экстрактов в профилактических целях.

Список литературы

1. Ахмедова Г. Фитонцидные свойства видов семейства луковые (Alliaceae) / Г. Ахмедова, Г. Аннаева // Инновационная наука. – 2024. – №11–2–2. – С. 42–43. EDN BANESA
2. Гигиеническая оценка влияния фитонцидов на иммунный статус организма / М.Т. Дмитриев, М.П. Захарченко, Э.В. Степанов [и др.] // Гигиена и санитария. – 1985. – №11. – С. 10–12.
3. Мухортова Л.И. Техногенные системы и экологический риск: учебное пособие / Л.И. Мухортова, П.М. Лукин, И.В. Добросмыслова. – Чебоксары: Изд-во Чувашского университета, 2009. – 444 с. – ISBN 978-5-7677-1302-8. EDN QJXZHN
4. Платонов П.Е. Содержание стронция в листьях лопуха большого (*Arctium lappa* L.) первого года жизни / П.Е. Платонов, М.А. Фролова, А.П. Журавлев // Фундаментальные и прикладные исследования по приоритетным направлениям биоэкологии и биотехнологии: материалы IX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ. (Ульяновск, 22 мая 2026 г.) / редкол.: Е.И. Антонова [и др.]. – 2026. – Чебоксары: Среда, 2026.
5. Чубатова С.А. Фитонциды: история и перспективы применения / С.А. Чубатова // Бактериология. – 2020. – Т. 5, №3. – С. 60–67. DOI 10.20953/2500-1027-2020-3-60-67. EDN RNONJY
6. Хао Ф.Д. Фитонцидная активность дикорастущих, овощных и комнатных растений и возможность их применения в учебных заведениях / Ф.Д. Хао. – Первый шаг в науку: сборник материалов Международного форума. – Минск, 2016. – Вып. 10. – С. 68–70.

Шевелев Данил Леонидович

студент

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова»
г. Ульяновск, Ульяновская область

Красноженова Яна Игоревна

студентка

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова»
г. Ульяновск, Ульяновская область

Ленгесова Наталья Анатольевна

канд. биол. наук, доцент, заведующая кафедрой,
ведущий научный сотрудник

Научно-исследовательский центр фундаментальных
и прикладных проблем биоэкологии и биотехнологии
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический
университет им. И.Н. Ульянова»
г. Ульяновск, Ульяновская область

DOI 10.31483/r-168465

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЧЕШУЕКРЫЛЫХ (LEPIDOPTERA) В ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСАХ ПОСЕЛКА ПОЛИВНО (Г. УЛЬЯНОВСК)

Аннотация: в статье представлены результаты инвентаризации фауны чешуекрылых (*Lepidoptera*) на территории поселка Поливно (г. Ульяновск). Проведен анализ видового состава, таксономической структуры и биотопического распределения бабочек. Результаты исследования имеют значение для мониторинга биоразнообразия и оценки экологического состояния экосистем, а также для ведения регионального кадастра редких и охраняемых видов.

Ключевые слова: насекомые, чешуекрылые, фауна, биотопическое распределение, поселок Поливно, Ульяновская область, редкие виды, аннотированный список.

Актуальность темы. Фауна чешуекрылых (Lepidoptera) Ульяновской области насчитывает более 2000 видов [3], но остается неравномерно изученной. Как показывают современные исследования, ежегодно продолжают обнаруживать новые для региона виды. В этой ситуации особую ценность приобретают локальные исследования, особенно в точках со сложной биотопической структурой. Такой точкой является поселок Поливно, где мозаичность условий создает спектр местообитаний, а близость крупного города позволяет оценить сохранность энтомофауны в условиях антропогенной нагрузки.

Цель работы: выявление и комплексный анализ таксономической структуры и экологических особенностей фауны чешуекрылых (Lepidoptera) в условиях природно-антропогенного ландшафта поселка Поливно.

Для решения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- определить видовой состав чешуекрылых;
- оценить распределение видов по основным типам биотопов;
- установить таксономическую структуры фауны, спектр ведущих семейств и выявить доминирующие виды.

Материалы и методы исследования. Исследования фауны проводились с мая по сентябрь 2025 года. Сбор имаго осуществлялся регулярно с интервалом 7–10 дней. Для сбора применялись кошение энтомологическим сачком в дневное время суток и ручной сбор особей на растениях. Проводилась камеральная обработка материала. Всего собрано и обработано 144 экземпляра чешуекрылых.

Определение видовой принадлежности проводилось с использованием следующих определителей: атлас-определитель дневных бабочек [5], школьный атлас-определитель бабочек [4], определитель бабочек России [6]. Для первичной идентификации и ведения полевых наблюдений использовалась платформа iNaturalist [9]. Сравнительный анализ морфологических признаков собранных экземпляров с эталонными образцами выполнялся по фотографиям и описаниям с сайтов «Бабочки Кавказа» [2], «Чешуекрылые (Lepidoptera) Омской области» [7], «Бабочки и жуки Московской области» [1], «Экологический центр «Экосистема» Дневные бабочки России» [8]. Детальное морфологическое исследование осуществлялось с помощью бинокулярного микроскопа МБС-9 при увеличениях 8–40×.

Результаты исследования. В ходе проведенных исследований на территории посёлка Поливно всего собрано и обработано 144 экземпляра чешуекрылых, относящихся к 31 виду из 9 семейств.

Посёлок Поливно выбран в качестве полигона благодаря сложной биотопической структуре. Находясь всего в 4 км от Президентского моста и административно входя в городской округ Ульяновска, он сохраняет черты природной среды: сильнорасчленённый рельеф Ундорских гор с овражно-балочной сетью создаёт мозаичность условий, а нетипичное сочетание лесостепной флоры с элементами каменистых степей и таёжных сообществ предполагает высокое разнообразие чешуекрылых.

На исследованной территории выделено четыре основных типа местообитаний и группа видов с широкой экологической амплитудой. В прибрежной зоне отмечено 5 видов, в хвойном лесу – 6, в синантропном биотопе – 4. Наибольшее видовое богатство зарегистрировано в луговом биотопе (17 видов), где доминировали представители родов *Melitaea* и *Argynnis*, а также встречались парусники *Papilio machaon* и *Iphiclides podalirius*.

По количеству собранных особей абсолютным доминантом является *Pieris rapae* (28 экз., 19,4% от общего числа), за ним следуют *P. brassicae* (24 экз., 16,7%) и *Aglais io* (18 экз., 12,5%). На долю трёх массовых видов (*P. rapae*, *P. brassicae*, *A. io*) приходится 48,6% всей выборки. Заметную численность также показали *Aporia crataegi* (15 экз., 10,4%) и *Melanargia galathea* (12 экз., 8,3%). Помимо перечисленных, более чем одной особью были

представлены ещё девять видов: *Coenonympha arcania* (10 экз., 6,9%), *Melanargia russiae* (9 экз., 6,3%), *Nymphalis urticae* (7 экз., 4,9%), *Aphantopus hyperantus* (6 экз., 4,2%), *Lasiommata maera* (5 экз., 3,5%), *Colias myrmidone* (5 экз., 3,5%), *Coenonympha glycerion* (4 экз., 2,8%), *Polyommatus icarus* (2 экз., 1,4%) и *Ochlodes sylvanus* (2 экз., 1,4%). Таким образом, 14 видов чешуекрылых были отмечены в количестве от двух до 28 особей. 17 видов зафиксированы исключительно в виде единичных находок (по 1 экз., 0,7% каждый); среди них *Papilio machaon*, *Iphiclides podalirius*, *Lycaena dispar*, *Macroglossum stellatarum* и все пять обнаруженных видов рода *Melitaea*.

Доминирующее положение занимает семейство *Nymphalidae* – 13 видов (41,9%). Второе и третье места делят *Satyridae* (6 видов, 19,4%) и *Pieridae* (4 вида, 12,9%). Вместе эти три семейства объединяют 74,2% всего видового состава. Остальные шесть семейств (*Lycaenidae*, *Papilionidae* – по 2 вида; *Hesperiidae*, *Arctiidae*, *Noctuidae*, *Sphingidae* – по 1 виду) малочисленны, что свидетельствует о неравномерной таксономической структуре локальной фауны.

Таким образом, инвентаризация чешуекрылых посёлка Поливно позволила выявить 31 вид из 9 семейств, характеризуется доминированием *Nymphalidae* по числу видов и *Pieridae* по обилию особей. Высокая доля единичных находок (21 вид с единственной особью) указывает на необходимость продолжения сезонных учётов для более полного выявления видового состава.

Список литературы

1. Бабочки и жуки Московской области. – URL: <https://insectamo.ru> (дата обращения: 11.05.2026).
2. Бабочки Кавказа. – URL: <https://babochki-kavkaza.ru> (дата обращения: 11.05.2026).
3. Золотухин В.В. Новые для Ульяновской области виды чешуекрылых (Lepidoptera) с замечками по биологии некоторых видов / В.В. Золотухин, Ю.С. Волкова // Эверсманния. Энтомологические исследования в России и соседних регионах. – 2019. – Вып. 57. – С. 32–39. – URL: http://eversmannia.entomology.ru/008_Zolotukhin_Volkova.pdf (дата обращения: 10.07.2025). EDN YZCNGX
4. Корнелио М.П. Школьный атлас-определитель бабочек / М.П. Корнелио. – 1986. – 255 с.
5. Мурзин В. Бабочки / В. Мурзин, А. Братцев. – М.: Тропа, 1993. – 48 с.
6. Сочивко А.В. Определитель бабочек России / А.В. Сочивко, Л.В. Каабак. – 2012. – 320 с. EDN QKUWBZ
7. Чешуекрылые (Lepidoptera) Омской области. – URL: <https://omflies.ru> (дата обращения: 11.05.2026).
8. Экологический центр «Экосистема». Дневные бабочки России. – URL: <https://ecosystema.ru/08nature/butt/index.htm> (дата обращения: 11.05.2026).
9. iNaturalist. – URL: <https://www.inaturalist.org> (дата обращения: 11.05.2026).

Ergasheva Afruza Zakir kizi

doctoral student, PhD student

Natsional'nyi universitet Uzbekistana im. Mirzo Ulugbeka

Tashkent, Republic of Uzbekistan

Mirzaeva Gulnara Saidarifovna

professor, head of the laboratory

Institute of Zoology of the Academy of Sciences

of the Republic of Uzbekistan

Tashkent, Republic of Uzbekistan

Azamov Mirsobirjon Sobitjon ugli

doctoral student

Institute of Zoology of the Academy of Sciences

of the Republic of Uzbekistan

Tashkent, Republic of Uzbekistan

DISTRIBUTION OF TRUE WASPS IN THE ECOSYSTEM OF THE TASHKENT OASIS

Abstract: the true wasp species occurring in the territories of the Tashkent Oasis were identified as a result of studies conducted during 2024–2025. During the study, the occurrence of *Antepipona barrei*, *Antepipona specifica*, *Eumenes mediterraneus*, *Euodynerus strigatus*, *Odynerus melanocephalus*, *Polistes dominula*, *Polistes wattii*, and *Vespa orientalis* was recorded in this area. In addition, *Polistes dominula*, *Polistes wattii*, and *Vespa orientalis* were identified as widely distributed species in the Tashkent Oasis.

Keywords: *Vespidae*, species, ecosystem, biodiversity, *Euparagiinae*, *Masarinae*, *Eumeninae*, *Stenogastrinae*, *Polistinae*, *Vespinae*, trophic relationship.

Эргашева Афруза Закир кизи

докторант, PhD студент

Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека

г. Ташкент, Республика Узбекистан

Мирзаева Гулнара Саидарифовна

профессор, заведующий лабораторией

ГУ «Институт зоологии Академии наук Республики Узбекистан»

г. Ташкент, Республика Узбекистан

Азамов Мирсобиржон Собитжон угли

докторант

ГУ «Институт зоологии Академии наук Республики Узбекистан»

г. Ташкент, Республика Узбекистан

РАСПРОСТРАНЕНИЕ НАСТОЯЩИХ ОС В ЭКОСИСТЕМЕ ТАШКЕНТСКОГО ОАЗИСА

Аннотация: виды настоящих ос, встречающиеся на территориях Ташкентского оазиса, были выявлены в результате исследований, проведённых в 2024–2025 гг. В ходе исследования на данной территории было зарегистрировано обитание *Antepipona barrei*, *Antepipona specifica*, *Eumenes mediterraneus*, *Euodynerus strigatus*, *Odynerus melanocephalus*, *Polistes dominula*, *Polistes wattii* и *Vespa orientalis*. Кроме того, *Polistes dominula*, *Polistes wattii* и *Vespa orientalis* были определены как широко распространённые виды в Ташкентском оазисе.

Ключевые слова: *Vespidae*, виды, экосистема, биоразнообразие, *Euparagiinae*, *Masarinae*, *Eumeninae*, *Stenogastrinae*, *Polistinae*, *Vespinae*, трофическая связь.

Wasps of the family Vespidae belong to the order Hymenoptera and are considered one of the large insect families in terms of species diversity. Representatives of this family are divided into

solitary and social groups according to their reproductive characteristics and life forms. The family Vespidae includes six subfamilies: Euparagiinae, Masarinae, Eumeninae, Stenogastrinae, Polistinae, and Vespinae [1, 2].

In Uzbekistan, faunistic studies related to true wasps (Vespidae) were mainly conducted during 1977–2025. The results of these studies have been presented in various scientific sources. In the 1970s–1990s, N.V. Kurzenko (1977), A.G. Davletshina (1979), and T.T. Kulumbetova (1999) reported the occurrence of numerous species belonging to the family Vespidae in a number of publications [4,6,7]. In addition, L. Castro and L. Dvořák conducted studies on the wasp fauna in the Takhtakupir area of the Republic of Karakalpakstan and in the Yangiobod area of Tashkent Region. As a result of these studies, several species belonging to the family Vespidae were identified in these areas [3].

As a result of studies conducted during 2024–2025, more than 323 specimens belonging to true wasps were collected from various ecosystems. During the study, the MAPS.ME application was used to determine the occurrence points and geographical coordinates of the identified wasp species.

The materials were collected using the methods of V.B. Golub (2012), V. Moericke (1951), and a traditional entomological net [5, 8]. Biometric materials were obtained using entomological traps, Möricke-type plastic containers, as well as through visual observations of shrubs, tree branches, residential buildings, and farm structures.

The morphological characteristics of the species were studied using an SMZ-161-TL microscope. A 96% ethyl alcohol solution was used for preserving and, when necessary, softening insect specimens. Collection specimens were prepared using entomological pins. Entomological forceps were used for handling, sorting, and preparing the collected insects for the collection.

Results and discussion. During 2024–2025, the fauna of wasps belonging to the family Vespidae was studied in various ecosystems located in the natural and anthropogenic areas of the Tashkent Oasis. According to the analysis of the research results, 19 species belonging to 16 genera and three subfamilies of the family Vespidae were recorded in this area.

Subfamily Eumeninae

1. *Antepipona barrei* (Radoszkowski, 1893)

Locality and date of collection: Tashkent Region, Bekabad District. Coordinate point: 40°37'34.1"N 69°12'44.5"E. 1 specimen, 12.09.2025.

Distribution: Iran, Tajikistan, Armenia, Afghanistan, Kazakhstan, Uzbekistan.

2. *Antepipona specifica* (Morawitz, 1895)

Locality and date of collection: Tashkent Region, Zangiata District, along the Chirchiq River. Coordinate point: 41°10'00.6"N, 69°13'35.1"E. 2 specimens, 12.06.2025. Tashkent Region, Yangi-yul District, near a horticultural area. Coordinate point: 40°56'45.4"N, 68°48'37.0"E. 6 specimens, 19.06.2025.

Distribution: Kyrgyzstan, Turkmenistan, Iraq, Iran, Uzbekistan.

3. *Eumenes mediterraneus* Kriechbaumer, 1879

Locality and date of collection: Tashkent Region, Parkent District, Shampan village. Coordinate point: 41°17'16.2"N 69°40'15.6"E. 3 specimens. Tashkent Region, Urta Chirchiq District. Coordinate point: 41°01'02.3"N 69°17'39.6"E. 2 specimens, 02.07.2025.

Distribution: China, Iran, Central Asia, North Africa, Europe, Uzbekistan.

4. *Euodynerus strigatus* Radoszkowski, 1893

Locality and date of collection: Tashkent Region, Quyi Chirchiq District. Coordinate point: 40°37'34.1"N 69°12'44.5"E. 2 specimens, 12.06.2025. Tashkent Region, Bekabad District. Coordinate point: 41°01'02.3"N 69°17'39.6"E. 1 specimen, 12.09.2025.

Distribution: Central Asia, Tajikistan, Kazakhstan, China, Uzbekistan.

5. *Odynerus melanocephalus* (Gmelin, 1790)

Locality and date of collection: Tashkent Region, Piskent District. Coordinates: 40°52'07.1"N 69°22'37.6"E. 4 specimens, 21.03.2025. Tashkent Region, Ohangaron District. Coordinates: 41°07'51.9"N 69°40'02.2"E. 11 specimens, 27.05.2024.

Distribution: Central Asia, Iran, Kazakhstan, North Africa, Uzbekistan.

Subfamily Polistinae

6. *Polistes dominula* (Christ, 1791)

Locality and date of collection: Tashkent Region, Parkent District. Coordinates: 41°19'57.5"N 69°49'24.2"E. 11 specimens, 12.05.2024. Tashkent Region, Yangiyul District. Coordinates: 41°07'18.6"N 69°13'08.5"E. 18 specimens, 20.05.2025. Tashkent Region, Piskent District. Coordinates: 40°51'23.0"N 69°25'52.0"E. 42 specimens, 21.03.2025. Tashkent Region, Parkent District. Coordinates: 41°10'23.5"N 69°40'50.7"E. 7 specimens, 13.05.2025.

Distribution: Europe, Russia, Israel, North Africa, Iran, Mongolia, Afghanistan, Pakistan, New Zealand, India, China, North and South America, Australia, Central Asia, Uzbekistan, Kazakhstan, Turkmenistan.

7. *Polistes wattii* Cameron, 1900

Locality and date of collection: Tashkent Region, Parkent District. Coordinates: 41°16'35.6"N 69°42'35.2"E. 17 specimens, 12.06.2024. Tashkent Region, Yangiyul District. Coordinates: 41°07'18.6"N 69°13'08.5"E. 22 specimens, 20.05.2025. Tashkent Region, Zangiata District, along the Chirchik River. Coordinates: 41°12'44.3"N 69°05'27.1"E. 31 specimens, 12.06.2025. Tashkent Region, Quyi Chirchik District. Coordinates: 41°01'02.3"N 69°17'39.6"E. 2 specimens, 12.06.2025. Tashkent Region, Piskent District. Coordinates: 40°52'02.3"N 69°23'56.8"E. 3 specimens, 07.10.2025. Tashkent Region, Parkent District. Coordinates: 41°19'04.9"N 69°45'52.0"E. 17 specimens, 11.08.2024.

Distribution: Iraq, Iran, Uzbekistan, Afghanistan, India, China, Tajikistan, Turkmenistan.

Subfamily Vespinae

8. *Vespa orientalis* Linnaeus, 1771

Locality and date of collection: Tashkent Region, Parkent District, Kumushkon village. Coordinates: 41°19'00.7"N 69°51'23.1"E. 22 specimens, 11.06.2024. Tashkent Region, Ohangaron District. Coordinates: 41°06'03.2"N 69°34'33.4"E. 28 specimens, 27.05.2024. Tashkent Region, Piskent District. Coordinates: 40°50'22.2"N 69°26'20.7"E. 56 specimens, 21.03.2025. Tashkent Region, Ohangaron District. Coordinates: 41°07'51.9"N 69°40'02.2"E. 21 specimens, 27.05.2024. Tashkent Region, Zangiata District, along the Chirchik River. Coordinates: 41°10'37.2"N 69°10'09.6"E. 14 specimens, 12.06.2025. Tashkent Region, Quyi Chirchik District. Coordinates: 41°01'02.3"N 69°17'39.6"E. 6 specimens, 12.06.2025. Tashkent Region, Qibray District. Coordinates: 41°23'27.8"N 69°28'47.8"E. 4 specimens, 13.05.2025.

Distribution: Europe, Russia, Kazakhstan, Uzbekistan, Tajikistan, Turkmenistan, Kyrgyzstan, Turkey, Israel, Saudi Arabia, Bahrain, Mexico, Armenia, Nepal, India, Yemen, Pakistan, Iran, Iraq, Afghanistan, Central Asia, North Africa.

In conclusion, as a result of field studies conducted in various ecosystems located in the natural and anthropogenic areas of the Tashkent Oasis during 2024–2025, eight species belonging to five genera and three subfamilies of the family Vespidae were recorded.

Список литературы

1. Antropov A.V. Family Vespidae / A.V. Antropov, A.V. Fateryga // Annotated Catalogue of the Hymenoptera of Russia. Vol. 1. Symphyta and Apocrita: Aculeata / Lelej A.S., Proshchalykin M.Yu., Loktionov V.M. (eds.). – 2017. – P. 175–196. – (Proceedings of the Zoological Institute RAS. Supplement 6). – DOI: 10.31610/trudyzin/2017.supl.6.5.
2. Carpenter J.M. Checklist of species of the subfamily Masarinae (Hymenoptera: Vespidae) / J.M. Carpenter // American Museum Novitates. – 2001. – No. 3325. – P. 1–40.
3. Castro L. New and noteworthy records of vespine wasps (Hymenoptera: Vespidae) from the Palearctic region (III) / L. Castro, L. Dvořák // Acta Musei Moraviae, Scientiae Biologicae (Brno). – 2010. – Vol. 95, No. 2. – P. 37–53.

4. Давлетшина А.Г. Энтомофауна юго-западного Кызылкума / А.Г. Давлетшина, Г.А. Аванесова, А.К. Мансуров. – Ташкент: Фан, 1979. – 120 с.
5. Голуб В.Б. Коллекции насекомых: сбор, обработка и хранение материала / В.Б. Голуб. – М. : Товарищество научных изданий КМК, 2012. – 339 с. EDN QKUSGJ
6. Кулумбетова Т.Т. Насекомые Южного Приаралья (часть 4) / Т.Т. Кулумбетова // Вестник ККО АН РУз. – 1999. – № 1. – С. 62–69.
7. Kurzenko N.V. A review of the wasps of the family Eumenidae (Hymenoptera, Vespoidea) of the fauna of the USSR. Genera *Paravespa* Rad., *Paragymnomerus* Blüthg., *Tropidodynerus* Blüthg., *Gymnomerus* Blüthg. and *Odynerus* Latr. / N.V. Kurzenko // Entomologicheskoe Obozrenie. – 1977. – Vol. 56, No. 3. – P. 676–690.
8. Moericke V. Eine Farbfalle zur Kontrolle des Fluges von Blattläusen, insbesondere der Pflirsichblattlaus, *Myzodes persicae* (Sulz.) / V. Moericke // Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes. – 1951. – Bd. 3. – S. 23–24.

Ergasheva Afruza Zakir kizi

doctoral student, PhD student

Natsional'nyi universitet Uzbekistana im. Mirzo Ulugbeka

Tashkent, Republic of Uzbekistan

Mirzaeva Gulnara Saidarifovna

professor, head of the laboratory

Institute of Zoology of the Academy of Sciences

of the Republic of Uzbekistan

Tashkent, Republic of Uzbekistan

Azamov Mirsobirjon Sobitjon ugli

doctoral student

Institute of Zoology of the Academy of Sciences

of the Republic of Uzbekistan

Tashkent, Republic of Uzbekistan

ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF TRUE WASPS (HYMENOPTERA: VESPIDAE) IN THE BIOCENOSIS OF THE TASHKENT OASIS

Abstract: this article presents the ecological characteristics of vespid wasps occurring in different areas of the Tashkent Oasis. The study analyzes their territorial distribution and the climatic conditions that are favorable for their life activity.

Keywords: *Vespidae, Eumeninae, Polistes, dominant, subdominant, recedent, species, research.*

Эргашева Афруза Закир кизи

докторант, PhD студент

Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека

г. Ташкент, Республика Узбекистан

Мирзаева Гулнара Саидарифовна

профессор, заведующий лабораторией

ГУ «Институт зоологии Академии наук Республики Узбекистан»

г. Ташкент, Республика Узбекистан

Азамов Мирсобиржон Собитжон угли

докторант

ГУ «Институт зоологии Академии наук Республики Узбекистан»

г. Ташкент, Республика Узбекистан

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАСТОЯЩИХ ОС (HYMENOPTERA: VESPIDAE) В БИОЦЕНОЗЕ ТАШКЕНТСКОГО ОАЗИСА

Аннотация: в статье представлены экологические характеристики настоящих ос, встречающихся в различных районах Ташкентского оазиса. В исследовании

проанализированы их территориальное распространение и климатические условия, благоприятные для их жизнедеятельности.

Ключевые слова: *Vespidae*, *Eumeninae*, *Polistes*, доминант, субдоминант, рецедент, виды, исследование.

True wasps belonging to the family Vespidae are represented in the world fauna by 7,745 species, 381 genera, and six subfamilies [2]. In Russia, 215 species belonging to 39 genera of this group have been recorded [3]. In the fauna of Uzbekistan, 122 species of true wasps belonging to 38 genera have been identified [6]. In previous classifications, they were grouped into three separate taxa: social wasps or hornets (Vespidae), pollen wasps (Masaridae), and eumenine wasps (Eumenidae). At present, all true wasps are included within the family Vespidae. This family consists of six subfamilies: Euparagiinae, Masarinae, Eumeninae, Stenogastrinae, Polistinae, and Vespinae. The representatives of the first three groups are primarily solitary wasps, whereas the remaining three groups comprise wasps characterized by a social way of life [1].

As a result of the research conducted in the Tashkent Oasis, ecosystem zones corresponding to the natural conditions of this territory were identified. Species adapted to living in these areas were studied, and a database on their ecological significance was compiled. Statistical and ecological methods were used during the research process.

During the study, the research area was divided into three types of ecosystem zones: the foothill ecosystem, the mixed ecosystem around water bodies, and the anthropogenic landscape zone. In these ecosystems, biocenosis plays an important role in the formation and stable functioning of life processes.

A biocenosis is a complex of phytocenoses, zoocenoses, and microbiocenoses that coexist within a specific habitat, namely a biotope [7]. The species comprising this community are interconnected through biotic interactions and life processes, forming the living component of the ecosystem. One of the key factors in the development of true wasp populations is the reproductive potential of the colony. This process is determined by ecological factors such as temperature regime, prey availability, food resources, and the availability of conditions for mating [4; 5].

The dynamics of species distribution across different areas were assessed based on ecological indicators such as dominant, subdominant, and recedent categories. The term dominant was applied to species that were widespread and frequently encountered in the given area. Subdominant was used to describe secondary species that occurred relatively less frequently. Recedent, in turn, was used as a term for species that were very rarely encountered in the area.

Foothills. Foothills are generally areas located at elevations ranging from 400–500 m to 1000–1500 m above sea level. They consist of low hills and ridges situated at the foot of mountains and are considered relief forms mainly characteristic of mountain ranges. The hills, ridges, and piedmont areas of the Parkent, Zarkent, and Bostanlyk districts of the Tashkent Oasis were included in the foothill ecosystem.

During the studies conducted in the foothill ecosystem, the occurrence of the following species was recorded: *Polistes wattii* (63), *Vespa orientalis* (69), *Polistes dominula* (39), *Vespula germanica* (36), *Polistes gallicus* (22), *Vespula vulgaris* (18), and *Eumenes mediterraneus* (6).

Analysis of the relative proportions of the collected specimens showed that dominant species (*Polistes wattii* and *Vespa orientalis*) accounted for 52.17%, subdominant species (*Polistes dominula*, *Polistes gallicus*, and *Vespula germanica*) for 38.34%, and recedent species (*Vespula vulgaris* and *Eumenes mediterraneus*) for 9.49% (Fig. 1).

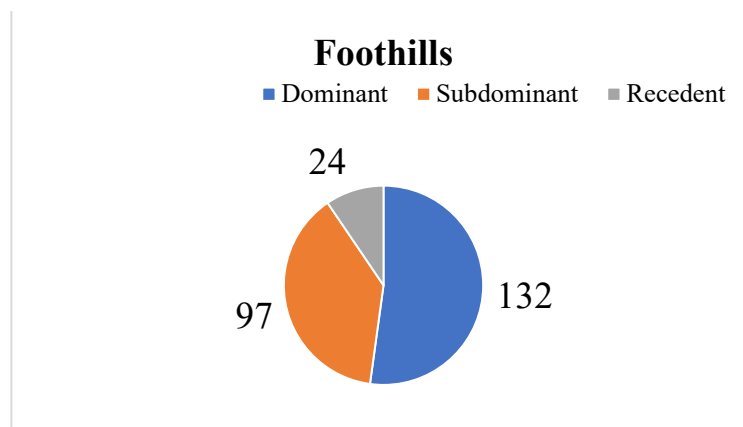


Fig. 1. Proportions of true wasps in the foothills of the Tashkent Oasis

As a result of the studies conducted in the Tashkent Oasis, *mixed ecosystems formed around water bodies* were identified. This ecosystem mainly included the areas surrounding the Tuyabuguz and Charvak reservoirs, as well as the territories around the Zahariq, Bozsuv, Qorasuv, Salar, Jonariq, Northern Tashkent, and Upper Tashkent canals, along with numerous irrigation ditches.

During the studies carried out in this ecosystem, the occurrence of the following species was recorded: *Polistes dominula* (139), *Polistes wattii* (126), *Vespula germanica* (129), *Vespa orientalis* (97), *Polistes gallicus* (63), *Vespula vulgaris* (35), *Euodynerus strigatus* (27), *Eumenes dubius* (6), *Eumenes coarctatus* (9), *Eumenes papillarius* (27), *Eumenes pomiformis* (21), *Eumenes mediterraneus* (9), *Antepipona delfenda* (4), and *Antepipona specifica* (3) (Fig. 2).

Analysis of the relative proportions of the identified species in this biocenosis showed that dominant species (*Polistes dominula*, *Polistes wattii*, *Vespula germanica*, and *Vespa orientalis*) accounted for 70.6%. Subdominant species (*Euodynerus strigatus*, *Eumenes papillarius*, *Eumenes pomiformis*, *Polistes gallicus*, and *Vespula vulgaris*) accounted for 24.9%, while recedent species (*Antepipona delfenda*, *Antepipona specifica*, *Eumenes coarctatus*, *Eumenes dubius*, and *Eumenes mediterraneus*) accounted for 4.5%.

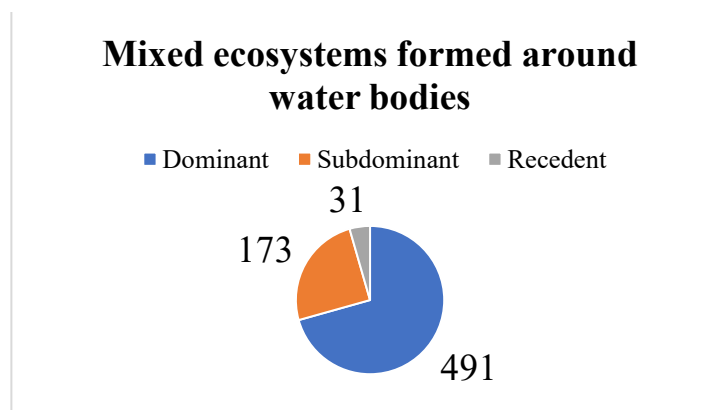


Fig. 2. Proportions of true wasps in the mixed ecosystem surrounding water bodies of the Tashkent Oasis

Agroecosystem. These areas included extensive anthropogenic-agricultural territories covering all districts, cities, settlements, and crop fields of the Tashkent Region. In these areas, various construction structures, residential buildings, as well as cultivated and wild plants occurring in field habitats are associated with wasp activity. This indicates the important role of these ecosystems in the formation of biocenotic relationships and the continuation of matter cycling.

During the studies conducted in all districts, villages, central areas of the Tashkent Oasis, as well as in anthropogenic experimental sites within urban areas, the occurrence of the following species was recorded: *Polistes dominula* (189), *Polistes wattii* (226), *Vespula germanica* (203), *Polistes gallicus* (133), *Vespa orientalis* (67), *Ancistrocerus gazella* (34), *Antepipona delfenda* (29), *Ancistrocerus nigricornis* (11), *Allodynerus delphinalis* (5), *Euodynerus dantici* (22), *Eumenes dubius* (8), *Eumenes mediterraneus* (6), *Antepipona barrei* (9), *Vespula vulgaris* (13), *Odynerus melanocephalus* (11), and *Euodynerus strigatus* (7) (Fig. 3).

Analysis of the results obtained in urbanized areas, agrocenoses, and anthropogenic conditions in general showed that dominant species (*Polistes dominula*, *Polistes gallicus*, *Polistes wattii*, and *Vespula germanica*) accounted for 77.19%. Subdominant species (*Euodynerus dantici*, *Antepipona delfenda*, *Ancistrocerus gazella*, and *Vespa orientalis*) accounted for 15.62%, while recedent species (*Allodynerus delphinalis*, *Antepipona barrei*, *Euodynerus strigatus*, *Ancistrocerus nigricornis*, *Eumenes dubius*, *Eumenes mediterraneus*, *Odynerus melanocephalus*, and *Vespula vulgaris*) accounted for 7.19%.

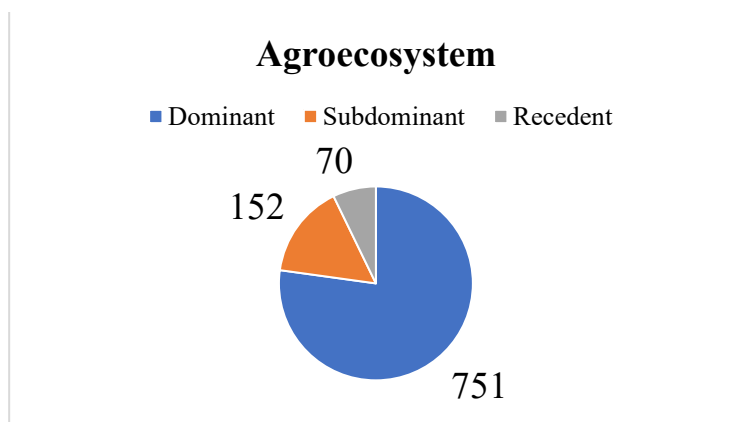


Fig. 3. Proportions of true wasps in the agroecosystem landscape of the Tashkent Oasis

The research results showed that agroecosystems are a relatively favorable habitat for true wasps. The moderate climate of agrocenoses, the availability of food resources, and the balance between abiotic and biotic factors ensure the survival and adaptation of these species, as well as their important role in the food chain of the ecosystem.

Список литературы

1. Antropov A.V. Superfamily Vespoidea / A.V. Antropov, A.V. Fateryga // Annotated catalogue of the Hymenoptera of Russia. Volume I. Symphyta and Apocrita: Aculeata. – St. Petersburg, 2017. – P. 175–193. – (Proceedings of the Zoological Institute RAS. Supplement 6).
2. Catalogue of Life Consortium. Catalogue of Life. 2026. – URL: <https://www.catalogueoflife.org/> (date of request: 25.06.2026).
3. Fateryga A.V. New records of the vespidae wasps (Hymenoptera: Vespidae) from Russia / A.V. Fateryga, D.N. Kochetkov // Journal of Insect Biodiversity and Systematics. – 2025. – Vol. 11, No. 4. – P. 895–909. – DOI: 10.48311/jibs.11.4.895.
4. Gamboa G.J. Effects of different habitats on the productivity of the native paper wasp *Polistes fuscatus* and the invasive, exotic paper wasp *P. dominulus* (Hymenoptera: Vespidae) / G.J. Gamboa, J.A. Austin, K.M. Monnet // Great Lakes Entomologist. – 2005. – Vol. 38. – P. 170–176.
5. Inagawa K. Colony productivity of the paper wasp *Polistes snelleni*: comparison between cool-temperate and warm-temperate populations / K. Inagawa, J. Kojima, K. Sayama, K. Tsuchida // Insectes Sociaux. – 2001. – Vol. 48. – P. 259–265. EDN ASXQBB
6. The fauna of Vespidae (Hymenoptera) in Uzbekistan / M. Medetov, M. Embergenov, Z. Minazhatdinova, [et al.] // Biosystems Diversity. – 2025. – Vol. 33, No. 2. – P. 252–260. – DOI: 10.15421/012526. EDN YNHFUR
7. Турсунов Ҳ.Т. Экология / Ҳ.Т. Турсунов, Т.У. Рахимова. – Тошкент : Чинор ЭНК, 2006.

Яблонская Елена Карленовна

магистрант

Научный руководитель

Мачнева Надежда Леонидовна

канд. биол. наук, доцент, доцент

Научный руководитель

Гнеуш Анна Николаевна

канд. биол. наук, доцент, заведующий кафедрой, директор
Института ветеринарной медицины, зоотехнии и биотехнологии
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный
университет им. И.Т. Трубилина»
г. Краснодар, Краснодарский край

ИЗУЧЕНИЕ ЗАМЕДЛЕННОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ХЛОРОФИЛЛА У МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ШТАММА CHLORELLA ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ АМИНОКИСЛОТ

Аннотация: в работе исследовано влияние 12 экзогенных аминокислот на показатели замедленной флуоресценции (ЗФ) штамма микроводоросли *Chlorella GKO*. Аминокислоты вносили в концентрациях $5 \cdot 10^{-4}$, $1 \cdot 10^{-4}$ и $5 \cdot 10^{-5}$ г/мл, после чего через 3 суток определяли изменения ЗФ. Установлено, что все аминокислоты оказывают стимулирующее действие на фотосинтетическую активность, при этом максимальный эффект наблюдается у пролина (+26%), фенилаланина (+24%), триптофана (+22%) и аспарагиновой кислоты (+19%) при максимальной концентрации. Выявлена выраженная дозозависимость и корреляция между химической структурой аминокислот и их влиянием на ЗФ: Наибольшую активность проявляют соединения с ароматическими и иминокислотными структурами. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации биотехнологических процессов культивирования микроводорослей.

Ключевые слова: экзогенные аминокислоты, Хлорелла, замедленная флуоресценция, фотосинтез, оптимизация биотехнологии культивирования.

Замедленная флуоресценция – это индикатор функционального состояния фотосинтетического аппарата живых организмов, отражающий эффективность переноса энергии, состояние фотосистемы II и общий физиологический статус. Изменения ЗФ позволяют судить о влиянии внешних на фотосинтетическую активность [1, с. 24–36; 2, с. 112–120]. Метод флуоресценции хлорофилла начал активно применяться для оперативного получения информации о физиологических изменениях в организме водных растений и животных. Для проведения экспериментов по воздействию аминокислот на показатели Быстрой и Замедленной Флуоресценции штамма хлореллы GKO, культура предварительно выращивалась в 10%-ной среде Тамия в течение 18–20 ч. в специализированном культиваторе KB-05 «СФУ-Система» (Россия) при непрерывном облучении светом (интенсивность 60 Вт/м^2), поддержании температуры 20°C и интенсивном перемешивании. Аминокислоты вносили в рабочих концентрациях 0,0005, 0,0001 и 0,00005 г/мл. Находящаяся в экспоненциальной фазе роста тест-культура отбиралась по 5 мл и проводилось измерение параметров ЗФ хлореллы через 3 суток после внесения аминокислот в указанных выше концентрациях. Данный показатель зависит от концентрации клеток в суспензии микроводорослей [3, с. 10–12; 4, с. 5, 520–522]. Варианты опыта следующие аминокислоты – глутаминовая кислота (1), аргинин (2), аланин (3), треонин (4), валин (5), лизин (6), глицин (7), метионин (8), триптофан (9), аспарагиновая кислота (10), фенилаланин (11) и пролин (12) в концентрациях 0,0005, 0,0001 и 0,00005% по массе.

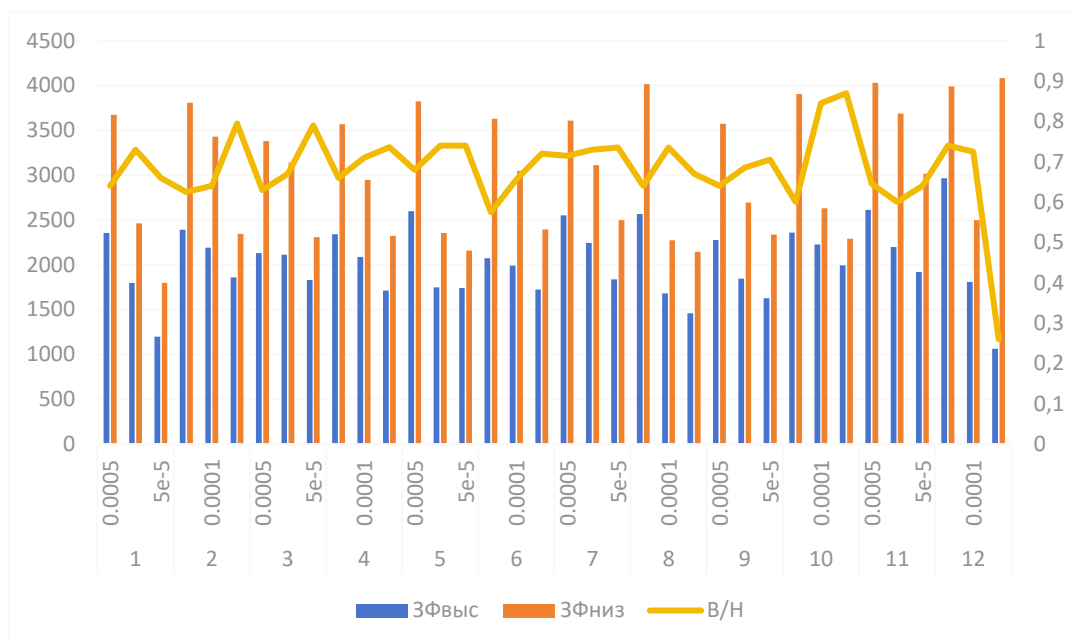


Рис. 1. Показатели замедленной флуоресценции хлореллы при концентрации аминокислот $5 \cdot 10^{-4}$, 10^{-4} , $5 \cdot 10^{-5}$ г/мл

Получены зависимости показателей флуоресценции от концентрации экзогенно внесенных аминокислот при культивировании микроводоросли хлореллы. Для всех аминокислот выявлена выраженная зависимость эффекта от концентрации: чем выше содержание аминокислоты, тем сильнее стимуляция ЗФ. Например, для пролина эффект возрастает с 8 до 26%, для фенилаланина – с 7 до 24%, для триптофана – с 6 до 22%.

Минимальный эффект отмечается при самой низкой концентрации ($5 \cdot 10^{-5}$ г/мл), максимальный – при $5 \cdot 10^{-4}$ г/мл. В среднем, переход от минимальной к максимальной концентрации даёт прирост эффекта в 3–3,5 раза. Максимальный стимулирующий эффект среди всех исследованных соединений показал пролин (увеличение ЗФ до +26% при максимальной концентрации), за ним следуют фенилаланин (+24%), триптофан (+22%) и аспарагиновая кислота (+19%).

Минимальное влияние отмечено у аланина (+12%) и глицина (+13%).

Также отмечено, что аминокислоты с ароматическими (фенилаланин, триптофан) и иминокислотными (пролин) структурами проявляют наибольшую активность.

Выводы. Таким образом все исследованные аминокислоты в исследованных концентрациях оказывают стимулирующее действие на показатели ЗФ хлореллы. Наиболее выраженный эффект наблюдается у аминокислот с ароматическими и иминокислотными структурами. Влияние аминокислот проявляется дозозависимо: с ростом концентрации эффект усиливается. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации биотехнологических процессов культивирования микроводорослей и повышения эффективности фотосинтеза.

Список литературы

Флуоресценция хлорофилла в оценке воздействия соединений тяжёлых металлов на водные организмы / Г.А. Сорокина, Т.Л. Шашкова, М.А. Субботин, [и др.] // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология». – 2021. – Т. 36. – С. 24–36. DOI 10.26516/2073-3372.2021.36.24. EDN SYSGPE

11. Флуоресценция хлорофилла растений как показатель экологического стресса: теоретические основы применения метода / В.С. Лысенко, Т.В. Вардуни, В.Г. Соьер, В.П. Краснов // Фундаментальные исследования. – 2013. – №4. – С. 112–120. EDN PUUNQB

12. Яблонская Е.К. Перспективы применения аминокислот и их комплексов в биотехнологии производства хлореллы / Е.К. Яблонская, Н.Л. Мачнева // Наука, образование, общество: тенденции и перспективы развития: материалы II Всероссийской научно-практической конференции. – Чебоксары: Интерактив плюс, 2025. – С. 10–12. – DOI 10.21661/r-586078. EDN IRSRDX

13. Яблонская Е.К. Рост и скорость прироста биомассы *Clorella* под воздействием экзогенных аминокислот / Е.К. Яблонская, Н.Л. Мачнева, А.Н. Гнеуш // Международный научно-исследовательский журнал. – 2026. – №4 (166). – DOI 10.60797/IRJ.2026.166.19. – URL: <https://system.cifra.science/publishing/article/24024> (дата обращения: 06.07.2026). EDN ISNCGW

Яблонская Е.К. Перспективы применения аминокислот и их комплексов в биотехнологии производства хлореллы / Е.К. Яблонская, Н.Л. Мачнева // Технологические суверенитеты современной биотехнологии: сборник статей по материалам Всероссийского саммита советов молодых ученых и студенческих научных объединений (Краснодар, 30 сентября 2025 года). – В 2 ч. Ч. 2. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, 2025. – С. 520–522. DOI 10.21661/r-586078. EDN IRSRDX

Яблонская Елена Карленовна

магистрант

Козубов Алексей Сергеевич

соискатель, ассистент

Мачнева Надежда Леонидовна

канд. биол. наук, доцент

Яценко Марина Михайловна

канд. биол. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина»

г. Краснодар, Краснодарский край

DOI 10.31483/r-168433

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ АМИНОКИСЛОТ ПРИ КУЛЬТИВИРОВАНИИ МИКРОВОДОРОСЛИ *CHLORELLA* ШТАММ GKO НА НАКОПЛЕНИЕ ПИГМЕНТОВ, АЗОТА И БЕЛКА В БИОМАССЕ

Аннотация: внесение различных биологически активных веществ в питательную среду при культивировании микроводорослей дает возможность управлять физиологическими процессами и изменять метаболизм микроорганизма в нужном биотехнологическом направлении, для увеличения выхода ценных компонентов для фармацевтики, косметологии и пищевой индустрии. В статье представлены результаты исследования влияния различных аминокислот на содержание пигментов, азота и белка в биомассе Хлореллы штамма GKO. Выявлено положительное влияние всех изучаемых аминокислот: увеличение накопление комплекса пигментов (хлорофилла *a*, хлорофилла *b*, суммы каротиноидов), азота и сырого протеина.

Ключевые слова: аминокислоты, питательная среда, хлорелла, пигменты, сырой белок, изменение метаболизма, микроводоросли.

Микроводоросль хлорелла обладает уникальным свойством – при изменении питательной среды и внесении определенных компонентов, можно изменять ее метаболизм и получать вещества, обладающие большой питательной ценностью, увеличивать выход белка, пигментов, масел, хлореллина и т.д. [1; 3; 5].

В нашей работе исследовалось влияние внесения различных аминокислот в классическую среду Тамия для культивирования хлореллы пищевого штамма GKO. Культивирование

проводилось при искусственном освещении при температуре 25 °С в течение 4 дней при непрерывном перемешивании на шейкере 130 об/мин. Аминокислоты добавлялись непосредственно в среду перед началом культивирования. Варианты опыта: 1 – контроль (вода), 2 – аргинин, 3 – триптофан, 4 – треонин, 5 – валин, 6 – метионин, 7 – глутамин. После 4 дней культивации микроводорослей далее проводили отстаивание культуральной жидкости, центрифугирование, декантацию надосадочной жидкости и сушку пастообразной биомассы хлореллы до постоянной массы в сушильном шкафу при 80°С 4–5 часов.

Ранее было установлено положительное влияние изучаемых аминокислот на параметры: рост и скорость роста (абсолютная, удельная), флуоресценцию хлорофилла, что свидетельствует об активном накоплении пигментов и, в целом, об активации метаболизма микроводоросли [2; 6–12].

Для анализа фотосинтетических пигментов лиофилизированный и мелкоизмельченный порошок смешивали с 95%-ным этиловым спиртом и небольшим количеством CaCO_3 , экстракт отфильтровывали и в полученном растворе измеряют оптическую плотность (D) на спектрофотометре UNICO 1201 (Предел допускаемой абсолютной погрешности измерений спектрального коэффициента направленного пропускания, %, в спектральном диапазоне свыше 400 до 800 нм включительно составляет $\pm 0,5$) при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения каждого пигмента. Для хлорофилла a – это около 665 нм, для хлорофилла b – 649 нм, для каротиноидов (суммарно) – 470 нм. Расчет содержания пигментов проводили по уравнениям по трихроматической схеме Ритчи для этанола. Результаты представлены на рисунке 1.

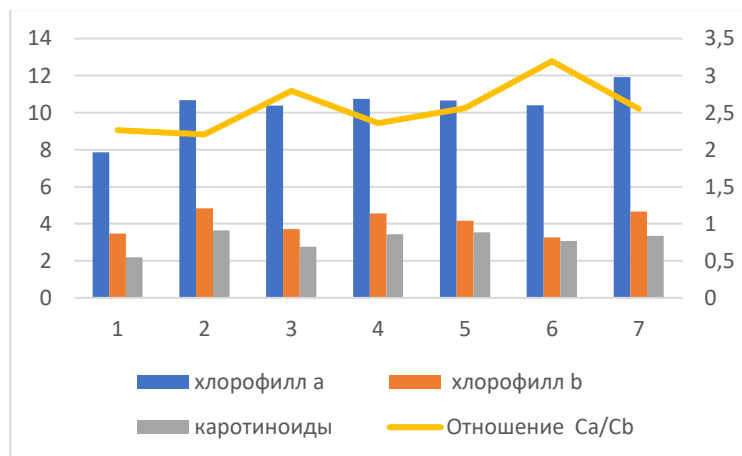


Рис. 1. Содержание пигментов в образцах различных вариантов, мг/г

Воздействие аминокислот носит дифференцированный характер. Глутамин, видимо, выступает мощным индуктором общего биосинтеза тетрапирролов, действуя на уровне активации ранних ферментативных стадий. Аргинин и треонин способствуют формированию высокопродуктивного фотосинтетического аппарата с развитой системой светособирающих антенн. Валин и метионин смещают метаболизм в сторону оптимизации энергетических затрат и повышения стрессоустойчивости, увеличивая долю хлорофилла a в структуре пигмент-белковых комплексов и варьируя вклад каротиноидной защиты. Общий характер действия подтверждает гипотезу об участии аминокислот не только как источника минерального азота, но и как сигнальных молекул, регулирующих экспрессию генов раннего светового ответа (*HEMAI*) через TOR-киназный комплекс.

Общий азот в хлорелле определяли методом Кьельдаля с последующим пересчетом на сырой белок используя коэффициент 6,25, согласно общепринятым методикам [2; 4; 8]. Результаты представлены на рисунке 2.



Рис. 2. Содержание азота и белка (сырой протеин) в биомассе хлореллы, %

Установлено, что все аминокислоты достоверно увеличивают биомассу микроводоросли, повышают эффективность фотосинтеза, что видно по изменению содержания величины пигментов (хлорофилла *a*, *b*, и суммы каротиноидов), азота и белка, в сравнении с контролем, что связано с изменением метаболизма микроводоросли, особенно следует выделить варианты 3 – триптофан, 4 – треонин, 5 – валин и 7 – глутамин.

Можно предположить, что именно эти аминокислоты более активно включаются в метаболические пути хлореллы.

Выявленные закономерности позволят оптимизировать биотехнологическое производство биомассы хлореллы. Использование аминокислотных добавок дает возможность управлять составом конечного продукта: варьируя тип аминокислоты, можно смещать метаболизм штамма либо в сторону максимального выхода кормового белка (протеина), либо в сторону накопления ценных биологически активных веществ (каротиноидов).

Наиболее выраженный положительный отклик метаболизма зафиксирован при добавлении треонина, триптофана, валина и глутамина, которые наиболее активно включаются в регуляторные и синтетические пути данного штамма.

Список литературы

1. Афонин А.А. Подбор оптимальной питательной среды для культивирования микроводоросли *Chlorella kessleri* ВКПМ А1-11 АRW в лабораторных условиях / А.А. Афонин, Е.Р. Ляпунова, Л.Н. Комарова // Принципы экологии. – 2025. – №1. – С. 4–15. – DOI: 10.15393/j1.art.2025.15842. EDN JFTWLL
2. Богданов Н.И. Способ культивирования микроводорослей на основе штамма «*Chlorella vulgaris* ИФР № С-111». – 2001.
3. Гавриленко В.Ф. Большой практикум по фотосинтезу / В.Ф. Гавриленко, Т.В. Жигалова; под ред. И.П. Ермакова. – М.: Академия, 2003. – 256 с.
4. Гайсина Л.А. Современные методы выделения и культивирования водорослей: учебное пособие / Л.А. Гайсина, А.И. Фазлутдинова, Р.Р. Кабиров. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2008. – 152 с. EDN QKTKIL
5. ГОСТ 13496.4-2019. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина. – М.: Стандартинформ, 2019.
6. Влияние питательной среды на морфологические особенности и жизнеспособность клеток микроводоросли *Chlorella vulgaris* Beijer / В.В. Зайцев, В.В. Петряков, Л.М. Зайцева, Ж.Н. Махимова // Самарский научный вестник. – 2022. – Т. 11, №2. – С. 52–56. DOI 10.55355/snv2022112107. EDN YBUZYR
7. Ильючик И.А. Динамика фотосинтетических пигментов в культуре водоросли *Chlorella vulgaris* штамма С 111 IBCE С-19 при росте на питательной среде с добавлением хлорида марганца / И.А. Ильючик, В.Н. Никандров // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. – 2020. – Т. 65, №3. – С. 299–309.
8. Сиренко Л.А. Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике / Л.А. Сиренко, А.В. Топачевский. – Киев: Наук. думка, 1975. – 247 с.

9. Хрулев А.А. Выделение микробиологических и растительных протеинов с помощью центрифуги Flottweg Sedicanter® / А.А. Хрулев, М.М. Аксенов, Н.А. Бесчетникова // Пищевая промышленность. – 2017. – №12. – С. 42–44. EDN YLSQVI

10. Яблонская Е.К. Рост и скорость прироста биомассы Chlorella под воздействием экзогенных аминокислот / Е.К. Яблонская, Н.Л. Мачнева // Международный научно-исследовательский журнал. – 2026. – №4 (166). – DOI: 10.60797/IRJ.2026.166.19. EDN ISNCGW

11. Яблонская Е.К. Перспективы применения аминокислот и их комплексов в биотехнологии производства хлореллы / Е.К. Яблонская, Н.Л. Мачнева // Наука, образование, общество: тенденции и перспективы развития: материалы II Всероссийской научно-практической конференции. – Чебоксары: Интерактив плюс, 2025. – С. 10–12. – DOI: 10.21661/r-586078. EDN IRSRDX

12. Яблонская Е.К. Замедленная флуоресценция хлорофилла у Chlorella: сравнительный анализ зависимости структура-активность / Е.К. Яблонская // Fundamental and applied approaches to solving scientific problems: сборник научных статей по материалам XX Международной научно-практической конференции (Уфа, 8 мая 2026 года). – Уфа: Вестник науки, 2026. – С. 25–28. – EDN: GZZLOF.

13. Яблонская Е.К. Перспективы применения аминокислот и их комплексов в биотехнологии производства хлореллы / Е.К. Яблонская, Н.Л. Мачнева // Технологические суверенитеты современной биотехнологии: сборник статей по материалам Всероссийского саммита советов молодых ученых и студенческих научных объединений (Краснодар, 30 сентября 2025 года). – В 2 ч. Ч. 2. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, 2025. – С. 520–522. DOI 10.21661/r-586078. EDN IRSRDX

МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

Антонова Елена Ивановна

д-р биол. наук, профессор, директор

Куницына Анастасия Владимировна

научный сотрудник, ассистент

Ачилов Атабег Батырович

научный сотрудник

Шишин Степан Александрович

IT-сотрудник

Научно-исследовательский центр фундаментальных
и прикладных проблем биоэкологии и биотехнологии

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный

педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

г. Ульяновск, Ульяновская область

DOI 10.31483/r-168413

MALDI-TOF КАК ИНСТРУМЕНТ НЕИНВАЗИВНОГО СКРИНИНГА ОНКОМАРКЕРОВ В АСПЕКТЕ РАЗВИТИЯ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЙ МЕДИЦИНЫ

Аннотация: в статье ретроспективно за последние 26 лет рассматривается роль масс-спектрометрии (MS) в изучении онкогенеза и поиска диагностических и прогностических биомаркеров злокачественно трансформированных клеток. Несмотря на существующие ограничения, будущее MS в онкологии остается многообещающим благодаря значительным достижениям в области интеграции данных на основе машинного обучения, портативных устройств для отбора проб и клинических исследований, которые продвигают метаомиксные технологии в направление прецизионной терапии.

Ключевые слова: масс-спектрометрия, метаболиты рака, метаболический биомаркер, метаболомика, микроокружение опухоли, меланома, белковое профилирование.

Онкологические заболевания характеризуются высоким уровнем пролиферации клеток, инвазии и метастазирования; остаются основной причиной смерти среди людей моложе 85 лет [2; 19]. Меланома кожи выделяется как самое агрессивное мультифакторное онкозаболевание с высокой мутационной нагрузкой (14–17 мутаций/Мб в ДНК), ранним метастазированием и стремительным ростом заболеваемости. По данным GLOBOCAN, ежегодно регистрируется более 324 000 новых случаев [11]. Хотя меланома составляет лишь 3–5% всех случаев рака кожи, она ответственна за ~75% случаев смертности, с 10-летней выживаемостью менее 10%, что обусловлено поздней диагностикой и повышенной устойчивостью к системной терапии [7]. Ключевые онкогены опухоли связаны с сигнальным путем RAS/MAPK; в процессе развития клетки опухоли сталкиваются и адаптируются к различным метаболическим стрессам, которые создает кислая и гипоксическая микросреда опухоли [16]. Метаболомика рака стала мощным инструментом для понимания биологии опухолей, идентификации биомаркеров и метаболитов, а также для развития прецизионной онкологии. MS, наряду со многими другими аналитическими платформами, приобрела популярность за последние десятилетия благодаря своей уникальной способности напрямую анализировать геном, протеом, транскриптом и метаболиты в тканях и биологических жидкостях с пространственным разрешением для понимания клеточных сигнальных путей и диагностики лекарственных средств. MS обладает потенциалом стать многоплатформенным методом анализа всех малых молекул из биологических образцов, особенно в сочетании с другими методами для повышения чувствительности, селективности, скорости, молекулярной

специфичности. Все это демонстрирует успешное применение методов MS в омиксных исследованиях, в частности, в исследованиях рака с позиции внедрения концепции персонализированной медицины.

Масс-спектрометрия как аналитическая основа омиксных исследований.

Масс-спектрометрия (MS) – это комплексная высокочувствительная и селективная технология идентификации и количественного определения органических молекул, лежащая в основе геномики, протеомики и метаболомики, возможность анализировать протеом, посттрансляционные модификации белков, распределение лекарств и метаболитов в тканях с пространственным разрешением [4]. Современные системы позволяют детектировать аналиты в аттомолярном диапазоне (10^{-18} моль/л). Анализ протеома с помощью MS используется в широком спектре биомедицинских исследований, включая анализ клеточных реакций и специфических для заболеваний посттрансляционных модификаций белков, открывая большие перспективы для поиска более эффективных кандидатов в биомаркеры, которые могут быть проверены на доклиническом этапе, для ранней диагностики заболеваний.

Технология MS базируется на измерении отношения массы к заряду (m/z) и состоит из трех этапов: ионизация молекул в газовой фазе; разделение ионов по m/z в масс-анализаторе с помощью электромагнитных полей; детектирование ионов и получение сигнала, пропорционального их количеству [6]. Масс-анализатор – ключевой узел, чьи характеристики (разрешающая способность, точность, диапазон масс и воспроизводимость) определяют качество анализа. Ранние методы (EI, CI) были ограничены небольшими массами и термической нестабильностью образцов. Революцию произвели мягкие методы ионизации, позволяющие анализировать крупные биомолекулы без фрагментации: электроспрейная ионизация (ESI) и MALDI стали основными для биологии [6].

MALDI (матрично-активированная лазерная десорбция/ионизация): образец смешивается с матрицей (поглощает УФ-лазер, стабильна в вакууме, переносит протоны), наносится на пластину и облучается лазером (обычно 337 нм). Матрица испаряется, ионизируя аналит. Хорошая матрица в MALDI должна быть способна поглощать энергию лазера, быть вакуумно-стабильной и способствовать переносу протонов без повреждения молекул аналита. К числу часто используемых матриц относятся CHCA (циано-4-гидроксикоричная кислота), идеально подходящая для пептидов и небольших белков, синапиновая кислота (3,5-диметокси-4-гидроксикоричная кислота), используемая для более крупных белков и аналитов с высокой массой, и DHB (2,5-дигидроксibenзойная кислота), часто используемая для пептидов, гликозидов и в режиме MALDI-MSI с положительными ионами, матрицы на основе наночастиц (например, оксида железа, серебра и золота), жидкокристаллические и нанокристаллические матрицы, которые особенно полезны для анализа липидов и малых молекул.

MALDI-TOF – это метод «сверху-вниз», разработанный в 1980-х годах F. Hillenkamp и K. Такака для анализа пептидов и белков различных типов тканей путем прямого воздействия, используя небольшое количество образца – 1 мкл [4]. В MALDI ионы десорбируются из твердой фазы, разведенный образец смешивают с избытком соответствующей матрицы и наносят на пластину MALDI, после чего он высыхает и сокристаллизуется внутри матрицы. Компоненты смеси переводятся в газовую фазу лазерным лучом, который попадает на кристалл образца-матрицы, вызывая, косвенно, испарение матрицы, содержащей аналиты. Матрица поглощает энергию лазера и действует как донор или рецептор протонов, ионизируя аналиты в катионном и анионном виде.

MALDI-IMS (Imaging Mass Spectrometry) – перспективный инструмент в поиске биомаркеров в области трансляционной медицины, который позволяет получать молекулярные изображения тканей (большие объемы данных с возможностью создания карты плотности для каждого значения m/z) и картировать множество метаболитов в срезах тканей толщиной 30–50 мкм. MALDI-IMS была представлена в 1994 г. позволяет исследовать молекулярное распределение метаболитов, белков и липидов без мечения используя метод десорбционной электроспрейной ионизации (Desorption Electrospray Ionization, DESI), при этом этапы

подготовки образцов сокращаются. С помощью этой методики были исследованы характерные липидные профили, связанные с различными формами рака, и результаты коррелируют с гистопатологическим исследованием. В последние годы эта методика была разработана для распределения лекарственных препаратов с применением в визуализации терапевтических агентов низкомолекулярных соединений в срезах опухолей рака молочной железы [4].

Разрешение лазера является решающим фактором, который влияет на пространственную точность, чувствительность и молекулярное покрытие при визуализации и обнаружении метаболитов. В системах субклеточной MALDI-MSI оно обычно составляет от 200 мкм до примерно 10–20 мкм. Размер кристаллов матрицы, однородность после подготовки образца и диффузия ионов в срезе ткани, наряду с диаметром лазерного пятна, являются факторами, влияющими на разрешение лазера.

MALDI также зависит от эталонных спектральных баз данных, содержащих данные масс-спектров, структурные аннотации и биологический контекст. Например, база данных метаболома человека (HMDB) является наиболее полной и тщательно составленной базой данных метаболитов человека, содержащей более 220 000 записей о метаболитах, что позволяет точно сопоставлять массы и идентифицировать их в исследованиях метаболомики рака. Руководящие принципы качества для метаболомических исследований и основы отчетности предоставляются Инициативой по стандартам метаболомики, созданной в 2007 году, в рамках которой приведена классификация метаболитов, обнаруженные методом MALDI, по четырем уровням достоверности, с описанием степени их идентификации.

Эволюция MS в онкологии: от белковых карт к мультиомиксным фенотипам.

Зарождение метода: белковая визуализация и первые протеомные профили. В 2000 г. были получены первые MALDI-спектры непосредственно из тканей опухолей, что позволило создавать молекулярные карты гистологии на основе белков и пептидов. Параллельно продемонстрировали возможность регистрации спектров с микропрепаратов, полученных лазерной микродиссекцией (LCM), что открыло путь к профилированию протеома конкретных клеточных популяций. Однако анализ малых полярных метаболитов оставался ограниченным из-за несовершенства матриц. К 2001–2002 гг. MALDI-MSI утвердился как основной инструмент тканевого картирования белков, позволяя различать границы опухоли и микроокружение. Внедрение SELDI (поверхностно-усиленная лазерная десорбция) и совершенствование пробоподготовки повысили чувствительность метода. Уже в 2003 г. MALDI-профилирование замороженных тканей применили для классификации подтипов немелкоклеточного рака легких, а SELDI – для сывороточной диагностики гепатоцеллюлярной карциномы. К 2004 г. метод начали использовать для поиска биомаркеров и, что важно, для пространственного картирования лекарственных препаратов, а также освоили безматричную ионизацию на кремнии (DIOS) для малых молекул [2].

Прорыв в пространственном разрешении и переход к липидомике. Ключевым достижением 2005 г. стало доведение пространственного разрешения до ~25 мкм, что имело решающее значение для картирования гетерогенных участков опухолей головного мозга, включая малые метаболиты и липиды. Была представлена трехмерная реконструкция изображений. В 2006 г. устранили основные технические барьеры для детекции липидов, внедрили роботизированное нанесение матрицы на области, выбранные патологами, и масштабировали MSI на большие срезы [8]. С 2007 г. фокус сместился с протеомики на визуализацию липидов и малых молекул (рак толстой кишки, метастазы в печени). Начали применять тандемную MS/MS на тканях и разработали новые матрицы (DHAP/DHA) [5]. Критическим этапом 2008 г. стала адаптация MALDI-MSI для анализа клинических архивных образцов, залитых в парафин (FFPE), что открыло доступ к огромным гистологическим коллекциям. В этом же году метод применили для визуализации распределения противоопухолевых препаратов. К 2009 г. была создана концепция спектральных библиотек в стиле NIST для колоректального рака и обнаружены гликаные биомаркеры в сыворотке при раке молочной железы, яичников и простаты [18].

Доминирование липидного профилирования и технические усовершенствования. В 2010–2012 гг. MALDI-MSI активно применяли для визуализации липидов в немелкоклеточном раке легких, используя матричные наночастицы и органические соли, что повысило чувствительность и разрешение до ~15 мкм. Впервые показали, что липидные профили дифференцируют опухоль от нормальной ткани и классифицируют подтипы. Важным шагом стало последовательное применение DESI (для липидов) и MALDI (для белков) на одном срезе, объединив метаболомику и протеомику [17]. С 2012 г. метод расширили на низкомолекулярные энергетические метаболиты, включая FFPE-блоки. В 2013 г. MALDI перешел к крупномасштабным тканевым микрочипам (ТМА) с сотнями образцов пациентов, что продемонстрировало возможность интеграции в клиническую патологию для диагностики и прогноза. В 2014 г. исследования на свежемороженых срезах колоректального рака выявили метаболические изменения в здоровой слизистой возле опухоли, а также впервые использовали ионизацию в открытой среде интраоперационно для отслеживания метаболитов при операциях на головном мозге [13].

Метаболитная визуализация. В 2015 г. произошел прорыв в визуализации «метаболического уровня»: специализированные матрицы (NEDC) позволили картировать очень малые метаболиты, включая глюкозу, и выявить внутриопухолевые градиенты, соответствующие эффекту Варбурга, связав оксигенацию с молекулярными фенотипами [1]. Компания Bruker коммерциализировала MALDI-2 – систему с двумя лазерами – с повторной ионизацией нейтральных частиц, увеличивая выход ионов в 10–100 раз. В 2016 г. акцент сместился на стандартизацию, контроль качества и статистическую обработку данных, а также на локализацию химиотерапевтических препаратов и их метаболитов внутри 3D-клеточных моделей, что важно для анализа лекарственной резистентности. Исследования выявили молекулярные дискриминаторы метастазирования [14].

Выход на клинический уровень: мультиомика и высокое разрешение. В 2017 г. метод MALDI-FT-ICR-MSI с усовершенствованным матричным покрытием (MCAEF) позволил детектировать и локализовать более 1000 эндогенных метаболитов в ткани простаты. Представлены портативные системы, такие как MasSpec Pen, для классификации тканей в реальном времени. В 2018–2019 гг. стандартизировали обнаружение N-гликанов, расширили область применения на АТФ/АДФ/АМФ в опухолях пациентов и мониторинг метаболизма лекарств в органоидах. MALDI-2 был адаптирован к коммерческим платформам, что резко улучшило детекцию липидов и малых молекул [9]. В 2020 г. MasSpec Pen интегрировали в роботизированную хирургию, а MALDI-2 – в систему с атмосферным давлением (timsTOF fleX). Проводятся сопоставления метаболических карт с полным экзомом и РНК-последовательностями из FFPE-срезов. В 2021 г. визуализацию N-гликанов применили к большим тканевым микрочипам рака простаты, связав их со степенью злокачественности и рецидивом. MALDI начали использовать для 3D-сфероидов, моделируя пространственное распределение метаболитов при лечении [15].

Интеграция с другими омиксными технологиями и прогностические возможности. 2022 год стал этапом мультиплатформенной интеграции: метаболомику MALDI на FFPE-срезах объединили с данными полного экзома и РНК-секвенирования, показав корреляцию пространственных метаболических характеристик с мутациями и экспрессией генов. Сверхвысокоразрешающая MALDI-FT-ICR-MSI на образцах почечного рака идентифицировала метаболиты, связанные с общей выживаемостью, что перевело метод от диагностики к прогнозированию исхода [12]. Выявлены ограничения для некоторых полярных метаболитов, что обусловило обязательное сочетание MALDI-MSI с LC-MS/MS (для высокой чувствительности) и GC-MS (для летучих соединений). В 2023 году оптимизировали протоколы для фосфатных энергетических метаболитов, увеличив интенсивность сигнала до 20 раз, ввели изовизуализацию метаболических потоков в органах [10].

Одноклеточный уровень, пространственная транскриптомика и фармакодинамика. В 2024 г. усовершенствовали MALDI-2 для изотопного трассирования полярных метаболитов

и разработали протоколы PRISM-MS для анализа гидрофильных метаболитов на уровне отдельных клеток, что позволило изучать метаболическую гетерогенность внутри опухолей [20]. Важнейшей вехой стала разработка инструкций по сопоставлению карт MALDI-MSI с масс-цитометрией и пространственной транскриптомикой, связав метаболические фенотипы с клеточной идентичностью и иммунным микроокружением. В 2025 г. продемонстрировали новые этапы предобработки тканей для полярных и изотопно-меченых метаболитов, а также визуализировали L-аргинин в опухолях при лечении ингибитором аргиназы, доказав, что MALDI-карты способны количественно оценивать фармакодинамический эффект в микроокружении опухоли, что открывает возможности для персонализированной оценки ответа на иммунотерапию [3].

Таким образом за последние 26 лет обнаружение метаболитов рака методом MALDI эволюционировало от простого экспериментального подтверждения концепции до мощной платформы пространственной метаболомики и трансляционной онкологии. Технологические инновации неуклонно повышали охват метаболитов и чувствительность MALDI, в обнаружении метаболического перепрограммирования при раке и интеграции с искусственным интеллектом, мультимодальной визуализацией трехмерной пространственной метаболомики. Все эти разработки подчеркивают прогресс MS как надежного инструмента для обнаружения метаболитов рака *in situ* и его растущую трансляционную значимость.

В перспективе интеграция пространственной метаболомики MS с другими мультиомиксными технологиями и искусственного интеллекта позволит выявить метаболическую гетерогенность отдельных опухолей и разработать методы прецизионной терапии. В целом, в ближайшем будущем MS будет развиваться в направлении стандартизации операционных процедур для упрощения пути от открытия до клинических диагностических тестов [2].

Работа выполнена в рамках Дополнительного соглашения №073-03-2026-035/1 от 21.02.2026 г. к Соглашению о предоставлении субсидии федеральному бюджетному или автономному учреждению на финансовое обеспечение выполнения государственного задания на оказание государственных услуг (выполнения работ) №073-03-2026-035 от 23.01.2026 г., заключенного между ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова» и Министерством просвещения Российской Федерации.

References

- Enhanced sensitivity using MALDI imaging coupled with laser postionization (MALDI-2) for pharmaceutical research / F.P.Y. Barré, M.R.L. Paine, B. Flinders [et al.] // *Anal. Chem.* – 2019. – Vol. 91. – P. 10840–10848.
- Bartusik-Aebisher D. Detection of protein and metabolites in cancer analyses by MALDI 2000–2025 / D. Bartusik-Aebisher, D.R.J. Raj, D. Aebisher // *Cancers.* – 2025. – Vol. 17, no. 21. – Art. 3524. <https://doi.org/10.3390/cancers17213524>. EDN: XHGARS
- Driving innovations in cancer research through spatial metabolomics: A bibliometric review of trends and hotspot / S. Chen, Y. Zhang, X. Li [et al.] // *Front. Immunol.* – 2025. – Vol. 16. – Art. 1589943.
- The relevance of mass spectrometry analysis for personalized medicine through its successful application in cancer «Omics» / C.A. Ciocan-Cartita, A. Jurj, M. Buse [et al.] // *Int. J. Mol. Sci.* – 2019. – Vol. 20, no. 10. – Art. 2576. <https://doi.org/10.3390/ijms20102576>. EDN: AONTZL
- MALDI imaging mass spectrometry: Molecular snapshots of biochemical systems / D.S. Cornett, M.L. Reyzer, P. Chaurand, R.M. Caprioli // *Nat. Methods.* – 2007. – Vol. 4, no. 10. – P. 828–833.
- The role of mass spectrometry in the «Omics» Era / F. Di Girolamo, I. Lante, M. Muraca, L. Putignani // *Curr. Org. Chem.* – 2013. – Vol. 17, no. 23. – P. 2891–2905.
- A review of melanoma subtypes: genetic and treatment considerations / C. Druskovich, J. Kelley, J. Aubrey [et al.] // *J. Surg. Oncol.* – 2025. – Vol. 131, no. 3. – P. 356–364.
- Jurchen J.C. MALDI-MS imaging of features smaller than the size of the laser beam / J.C. Jurchen, S.S. Rubakhin, J.V. Sweedler // *J. Am. Soc. Mass Spectrom.* – 2005. – Vol. 16. – P. 1654–1659. <https://doi.org/10.1016/j.jasms.2005.06.006>. EDN: KNGBYF
- High-resolution imaging mass spectrometry combined with transcriptomic analysis identified a link between fatty acid composition of phosphatidylinositols and the immune checkpoint pathway at the primary tumour site of breast cancer / M. Kawashima, M. Tokiwa, T. Nishimura [et al.] // *Br. J. Cancer.* – 2020. – Vol. 122, no. 2. – P. 245–257.

10. Matrix selection for the visualization of small molecules and lipids in brain tumors using untargeted MALDI-TOF mass spectrometry imaging / T. Lu, L. Freytag, V.K. Narayana [et al.] // *Metabolites*. – 2023. – Vol. 13. – Art. 1139. <https://doi.org/10.3390/metabo13111139>. EDN: TPF BPM
11. Skin photodamage and melanomagenesis: A comprehensive review / M. Manganelli, G. Stabile, C. Scharf [et al.] // *Cancers*. – 2025. – Vol. 17, no. 11. – Art. 1784. <https://doi.org/10.3390/cancers17111784>. EDN: HYCEHM
12. Enhancing metabolite coverage in MALDI-MSI using laser post-ionisation (MALDI-2) / J.C. McKinnon, H.H. Milioli, C.A. Purcell [et al.] // *Anal. Methods*. – 2023. – Vol. 15. – P. 4311–4320.
13. Chemical mapping of the colorectal cancer microenvironment via MALDI imaging mass spectrometry (MALDI-MSI) reveals novel cancer-associated field effects / R. Mirnezami, K. Spagou, P.A. Vorkas [et al.] // *Mol. Oncol.* – 2014. – Vol. 8, no. 1. – P. 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.molonc.2013.08.010>. EDN: YFDMLJ
14. Lymph node metastasis of primary endometrial cancers: Associated proteins revealed by MALDI imaging / P. Mittal, M. Klingler-Hoffmann, G. Arentz [et al.] // *Proteomics*. – 2016. – Vol. 16, no. 11–12. – P. 1793–1801. <https://doi.org/10.1002/pmic.201500455>. EDN: YDUCAL
15. Mass spectrometry imaging identifies metabolic patterns associated with malignant potential in pheochromocytoma and paraganglioma / M. Murakami, N. Sun, C. Greunke [et al.] // *Eur. J. Endocrinol.* – 2021. – Vol. 5. – P. 179–191. <https://doi.org/10.1530/EJE-20-1407>. EDN: HFWHJF
16. Ohshima K. The landscape of cancer metabolism as a therapeutic target / K. Ohshima // *Pathol. Int.* – 2025. – Vol. 75, no. 8. – P. 387–402. <https://doi.org/10.1111/pin.70034>. EDN: TOWQRW
17. Lipid profiles for intrahepatic cholangiocarcinoma identified using matrix-assisted laser desorption/ionization mass spectrometry / Y.S. Park, C.W. Yoo, S.C. Lee [et al.] // *Clin. Chim. Acta.* – 2011. – Vol. 412, no. 21–22. – P. 1978–1982.
18. Mass spectrometry MALDI imaging of colon cancer biomarkers: A new diagnostic paradigm / P.H. Pevsner, J. Melamed, T. Remsen [et al.] // *Biomark. Med.* – 2009. – Vol. 3. – P. 55–69. <https://doi.org/10.2217/17520363.3.1.55>. EDN: MNCPSJ
19. Cancer statistics, 2025 / R.L. Siegel, T.B. Kratzer, A.N. Giaquinto [et al.] // *CA Cancer J. Clin.* – 2025. – Vol. 75, no. 1. – P. 10–45. <https://doi.org/10.3322/caac.21871>. EDN: MHQXTB
20. Mass spectrometry imaging for spatially resolved multi-omics molecular mapping / H. Zhang, K.H. Lu, M. Ebbini [et al.] // *NPJ Imaging*. – 2024. – Vol. 2, no. 1. – Art. 20. <https://doi.org/10.1038/s44303-024-00025-3>. EDN: XNIYIV

Антонова Елена Ивановна

д-р биол. наук, профессор, директор
Научно-исследовательский центр фундаментальных
и прикладных проблем биоэкологии и биотехнологии
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный
педагогический университет им. И.Н. Ульянова»
г. Ульяновск, Ульяновская область

Фирсова Наталья Викторовна

канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник
Научно-исследовательский центр фундаментальных
и прикладных проблем биоэкологии и биотехнологии
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный
педагогический университет им. И.Н. Ульянова»
г. Ульяновск, Ульяновская область

Итяйкин Иван Дмитриевич

студент
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный
педагогический университет им. И.Н. Ульянова»
г. Ульяновск, Ульяновская область

Шевелев Данил Леонидович

студент
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный
педагогический университет им. И.Н. Ульянова»
г. Ульяновск, Ульяновская область

Красноженова Яна Игоревна

студентка
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный
педагогический университет им. И.Н. Ульянова»
г. Ульяновск, Ульяновская область

DOI 10.31483/r-167107

БИМЕДИЦИНСКИЕ ПОИСКОВЫЕ СИСТЕМЫ И ПЛАТФОРМЫ – ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОЦЕНКИ АКТИВНОСТИ, НОВИЗНЫ И КОММЕРЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Аннотация: в статье описывается возможность определения актуальности биомедицинских исследований на примере использования поисковой системы PubMed.

Ключевые слова: поисковая система, PubMed, 3D-биопечать.

Работа выполнена в рамках Дополнительного соглашения №073-03-2026-035/1 от 21.02.2026 г. к Соглашению о предоставлении субсидии федеральному бюджетному или автономному учреждению на финансовое обеспечение выполнения государственного задания на оказание государственных услуг (выполнения работ) №073-03-2026-035 от 23.01.2026 г., заключенного между ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова» и Министерством просвещения Российской Федерации.

В современной науке объем публикуемых исследований (в том числе обзоров, клинических случаев и пр.) удваивается примерно каждые 17 лет. Только в 2023 году в PubMed было индексируется более 1,5 миллиона новых записей. В этих условиях умение не только находить необходимые статьи, но и анализировать массив данных о публикациях становится критически важным навыком.

PubMed – бесплатная поисковая система по биомедицинским исследованиям, созданная Национальным центром биотехнологической информации США (англ. National Center for Biotechnology Information, NCBI) в 1997 году [1]. PubMed одна из крупнейших и наиболее доступных биомедицинских баз данных, предоставляет уникальную возможность для количественного анализа научной активности.

Кроме PubMed существуют и другие системы: Google Академия, ClinicalKey, Cochrane Library, UpToDate и др. Среди отечественных систем следует выделить eLIBRARY.RU (<https://elibrary.ru/defaultx.asp?>) – крупнейший российский информационно-аналитический портал в области науки, технологий и образования, интегрированный с Российским индексом научного цитирования (РИНЦ). Он служит электронной библиотекой и платформой для поиска более 18 млн научных публикаций [2].

Анализ перспективности исследований с помощью поисковых систем включает оценку текущего состояния данной области исследований (State-of-the-Art) и наличия «белых пятен», проведение трендового исследования, анализ доказательной базы и клинического потенциала, а также семантический анализ и прогнозирование.

Тематический поиск позволяет быстро отсеять устаревшие данные и найти работы, отражающие современный уровень развития науки. Анализ пробелов позволяет найти (при наличии) неизученные механизмы или нерешенные проблемы для обоснования актуальности выбранного проекта и научную новизну. Оценка динамики публикационной активности позволяет понять растёт ли интерес к данной теме или интерес научного сообщества падает. Выявление ключевых лидеров мнений (KOL) и ведущих лабораторий: помогает определить, кто задает тон в исследовании (например, используя фильтры авторов на платформе Scopus). Проверка гипотез *in silico* включает анализ опубликованных *in vitro* и *in vivo* исследований до начала дорогостоящих экспериментов. Кроме этого можно провести мониторинг клинических испытаний с помощью поиска текущих и завершённых клинических тестов, что позволит понять ведутся ли разработки аналогичных исследований. Более продвинутые поисковые системы могут находить связь между генами, белками, заболеваниями и молекулами, даже если они описаны в разных, не связанных на первый взгляд статьях, а разделы стандартизированных медицинских классификаторов могут помочь с синонимичными названиями. Однако многие исследователи используют поисковые системы исключительно для поиска литературы, не задействуя их потенциал как инструмента библиометрического анализа.

В связи с этим *целью* данной работы является определение актуальности исследований, в частности 3D-биопечати в аспекте создания эквивалента кожи, с использованием одной из систем – PubMed.

Материалы и методы.

В работе использована поисковая система <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/> (США). Поиск опубликованных исследований проходил по ключевым словам биопечать и кожа в формате «bioprinting and skin». В настройках фильтров был указан диапазон даты публикаций – с 2016 по 2026 год. Кроме этого в настройках фильтров выбирался тип публикации «обзоры» или «все». Визуализация полученных данных представлена столбчатой диаграммой, построенной на самой платформе, а после выгрузки данных в формате.csv перенесена в Excel и построена точечная диаграмма с демонстрацией динамики публикаций по годам и доли обзоров.

Результаты и обсуждение.

Анализ страницы результатов поиска PubMed по запросу «bioprinting and skin» («биопечать и кожа») за последние 10 лет (2016–2026) показал рост количества статей, особенно после 2019 года (Рис., красная линия). Причем доля обзорных статей (Рис., синяя линия) сначала плавно увеличивалась (с 2,5 в 2019 году до 3,2 в 2021 году), а затем стабильно снижается (с 2,8 в 2023 году до 2,4 в 2025 году). Данные за 2026 год представлены пока за неполные 5 месяцев, поэтому в анализе не учитываются.

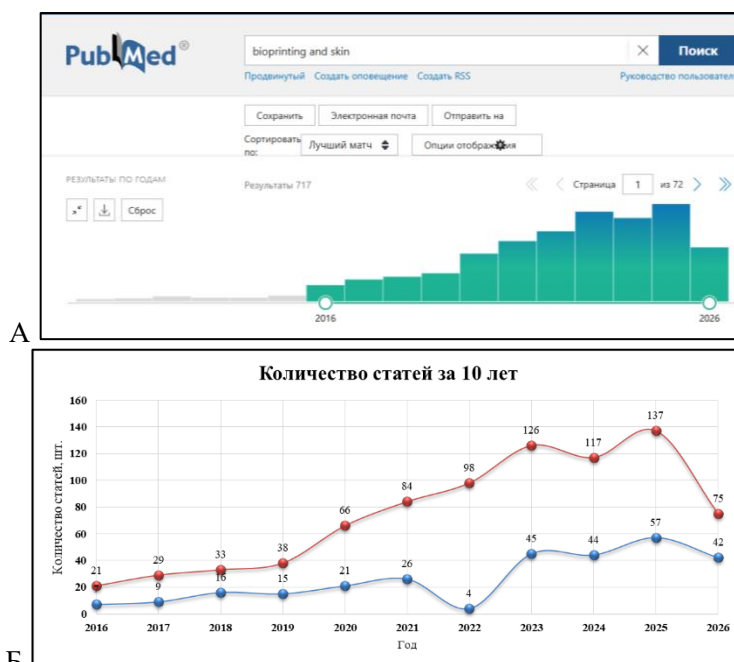


Рис. 1. Статистический анализ публикационной активности в базе данных PubMed за 10 лет (2016–2026 гг.) при использовании комбинации ключевых слов «*bioprinting and skin*» («биопечать и кожа»). А – фото с поисковой страницы. Б – точечная диаграмма динамики статей по данным результата поиска (красная линия все опубликованные работы, синяя – обзоры)

Если проанализировать общую тенденцию, то можно заметить, что с 2016 по 2019 год количество публикаций в области биопечати кожи увеличилось в 1,8 раз, далее с 2020 по 2023 года увеличилось еще в 1,9 раз. После 2023 года такого бурного удвоения количества статей не наблюдается.

Возможно, на динамику начинают влиять другие более сложные факторы, чем просто общий интерес к новой технологии. Например, дифференциация на специализированные направления внутри самой тематики биопечати кожи, увеличение конкуренции за уникальные и клинически значимые результаты, увеличение доли междисциплинарных исследований и др. В рамках данной статьи эти аспекты не рассматриваются, однако их наличие важно учитывать при интерпретации количественных показателей.

Первая опубликованная работа, которая выдается поисковой строкой по ключевым словам «биопечать и кожа» датируется 2010 годом. И далее до 2015 года, включительно, встречаются только единичные опубликованные работы. Что демонстрирует новизну этой области исследований.

Таким образом, ценность биомедицинских поисковых систем, таких как PubMed, не ограничивается функцией ретроспективного поиска литературы. Их системный аналитический потенциал, реализуемый через анализ метаданных потока публикаций, позволяет выявлять зарождающиеся и бурно растущие научные направления на ранних этапах, служа эффективным инструментом научного прогнозирования.

References

1. National Library of Medicine. (2025). PubMed User Guide. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/help/> (date of request: 19.05.2026).

Балан Ольга Викторовна

канд. биол. наук, старший научный сотрудник
Институт биологии – обособленное подразделение
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Федерального исследовательского центра
«Карельский научный центр Российской академии наук»
г. Петрозаводск, Республика Карелия

Малышева Ирина Евгеньевна

канд. биол. наук, старший научный сотрудник
Институт биологии – обособленное подразделение
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Федерального исследовательского центра
«Карельский научный центр Российской академии наук»
г. Петрозаводск, Республика Карелия

Марусенко Ирина Михайловна

д-р мед. наук, профессор, куратор ревматологического отделения
ГБУЗ РК «Республиканская больница им. В.А. Баранова»
г. Петрозаводск, Республика Карелия

Барышева Ольга Юрьевна

д-р мед. наук, профессор, заведующий нефрологическим отделением
ГБУЗ РК «Республиканская больница им. В.А. Баранова»
г. Петрозаводск, Республика Карелия

DOI 10.31483/r-168472

РОЛЬ ПОЛИМОРФИЗМА ГЕНОВ SLC19A1 (RS946631560), IL6 (RS1800795) И ДЛИННОЙ НЕКОДИРУЮЩЕЙ РНК IL6-AS В ФОРМИРОВАНИИ ТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО ОТВЕТА НА МЕТОТРЕКСАТ У БОЛЬНЫХ РЕВМАТОИДНЫМ АРТРИТОМ

Аннотация: актуальность. Несмотря на то что метотрексат является препаратом первой линии при лечении ревматоидного артрита, у значительной части пациентов наблюдаются первичная или вторичная резистентность к терапии, а также развитие нежелательных лекарственных реакций. Одной из причин вариабельности терапевтического ответа могут быть генетические и эпигенетические факторы, регулирующие транспорт препарата в клетку и активность провоспалительных сигнальных путей. Цель исследования – изучить роль инсерционно-делеционного полиморфизма rs946631560 гена SLC19A1, однонуклеотидного полиморфизма rs1800795 гена IL6 и длинной некодирующей РНК IL6-AS в формировании терапевтического ответа на метотрексат у больных ревматоидным артритом. Материалы и методы. Проведено генотипирование полиморфных локусов rs946631560 гена SLC19A1 и rs1800795 гена IL6 методом ПЦР и ПЦР-ПДРФ. Уровень экспрессии генов SLC19A1, IL6 и длинной некодирующей РНК IL6-AS определяли методом количественной ПЦР в режиме реального времени, содержание IL-6 в плазме крови – методом иммуноферментного анализа. Статистическая обработка включала анализ соответствия распределения генотипов равновесию Харди-Вайнберга, критерий χ^2 , расчет отношения шансов (OR) с 95% доверительным интервалом, непараметрические методы сравнения и корреляционный анализ. Результаты. Установлено, что гомозиготный генотип I/I полиморфного локуса rs946631560 гена SLC19A1 ассоциирован с повышенным риском развития ревматоидного артрита (OR = 5,581; 95% ДИ 1,574–19,793) и сопровождается снижением экспрессии гена SLC19A1. Для полиморфизма rs1800795 гена IL6 выявлена ассоциация аллеля С с развитием заболевания (OR = 2,533; 95% ДИ 1,799–3,565). Показано статистически значимое влияние данного полиморфизма на экспрессию длинной некодирующей РНК IL6-AS ($F = 4,83$; $p =$

0,01). Выявлена тесная положительная корреляция между уровнями экспрессии *IL6-AS* и *IL6* ($r = 0,80$; $p < 0,001$), а также отрицательная корреляция между экспрессией *IL6-AS* и *SLC19A1* ($r = -0,60$; $p < 0,001$). Кроме того, установлено статистически значимое влияние уровня *IL6* на экспрессию *SLC19A1* ($F = 22,97$; $p < 0,001$). Заключение. Полученные результаты свидетельствуют, что полиморфные варианты *rs946631560* гена *SLC19A1* и *rs1800795* гена *IL6* вовлечены в формирование предрасположенности к ревматоидному артриту и могут определять эффективность терапии метотрексатом. Впервые показано, что функциональная связь между полиморфизмом *rs1800795* и экспрессией транспортера фолатов *SLC19A1* может реализовываться посредством длинной некодирующей РНК *IL6-AS*, что позволяет рассматривать регуляторную ось *IL6-AS-IL6-SLC19A1* в качестве перспективного молекулярного маркера персонализированной терапии ревматоидного артрита.

Ключевые слова: ревматоидный артрит, метотрексат, *SLC19A1*, *RFC1*, *IL6*, *IL6-AS*, длинные некодирующие РНК, полиморфизм генов, фармакогенетика.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания Карельского научного центра Российской академии наук (тема FMEN-2022-0009).

Введение.

Ревматоидный артрит (РА) представляет собой хроническое системное аутоиммунное заболевание, характеризующееся персистирующим воспалением синовиальной оболочки, прогрессирующим разрушением суставного хряща и костной ткани, а также развитием внесуставных проявлений. Заболевание сопровождается существенным снижением качества жизни, ранней инвалидизацией и повышением риска осложнений [1; 4; 18]. Современная стратегия лечения РА основана на максимально раннем назначении базисной противовоспалительной терапии, позволяющей подавить активность иммуновоспалительного процесса и предотвратить необратимое повреждение суставов.

На протяжении последних десятилетий метотрексат (МТ) остается препаратом первой линии («золотым стандартом») базисной терапии ревматоидного артрита. Высокая клиническая эффективность и возможность длительного применения определяют его ведущую роль в современных клинических рекомендациях [2, 4]. Вместе с тем приблизительно у 30–40% пациентов не удается достичь стойкой клинической ремиссии вследствие недостаточной эффективности терапии, а у части больных лечение ограничивается развитием токсических эффектов. Выраженная межиндивидуальная вариабельность терапевтического ответа свидетельствует о существовании молекулярных механизмов, определяющих чувствительность организма к действию метотрексата [13; 17; 22; 25].

Одним из основных факторов эффективности терапии является транспорт метотрексата через клеточную мембрану. Поскольку препарат является структурным аналогом фолиевой кислоты, его проникновение в клетку осуществляется преимущественно восстановленным переносчиком фолатов *RFC1* (Reduced Folate Carrier 1), кодируемым геном *SLC19A1*, а также рецепторами фолатов. После поступления в клетку метотрексат подвергается полиглутамированию и ингибирует ферменты фолатного цикла, обеспечивая противовоспалительное и иммуномодулирующее действие. Следовательно, снижение экспрессии или функциональной активности транспортера *RFC1* может приводить к уменьшению внутриклеточной концентрации препарата и формированию лекарственной устойчивости [6; 13; 24]. После проникновения в клетку метотрексат подвергается полиглутамированию и оказывает влияние на ферменты фолатного цикла, что обеспечивает его противовоспалительное и иммуномодулирующее действие. Нарушение этапов транспорта и метаболизма препарата рассматривается как один из механизмов индивидуальной вариабельности ответа на терапию [17; 22; 25].

В последние годы накоплено значительное количество данных, свидетельствующих о важной роли генетических факторов в развитии ревматоидного артрита и эффективности его

лечения. Особое внимание уделяется полиморфизмам генов, участвующих в транспорте метотрексата, метаболизме фолатов и регуляции воспалительной реакции [13; 17; 25].

Одним из возможных регуляторов экспрессии *SLC19A1* является интерлейкин-6 (IL-6) – ключевой провоспалительный цитокин, играющий центральную роль в патогенезе ревматоидного артрита. IL-6 стимулирует активацию Т- и В-лимфоцитов, индуцирует синтез белков острой фазы, усиливает дифференцировку остеокластов и способствует прогрессированию суставной деструкции [4; 11]. Экспериментальные исследования показали, что повышение продукции IL-6 сопровождается снижением экспрессии гена, кодирующего транспортер RFC1, уменьшая поступление метотрексата в клетки и ослабляя его противовоспалительный эффект [6].

Экспрессия самого гена *IL6* регулируется не только классическими транскрипционными факторами, но и эпигенетическими механизмами. Одним из наиболее изученных функциональных вариантов является однонуклеотидный полиморфизм rs1800795 (-174G>C), локализованный в промоторной области гена. Данный полиморфизм способен изменять количество CpG-динуклеотидов в промоторе, влияя на степень его метилирования и уровень транскрипционной активности. В различных популяциях показана ассоциация rs1800795 с риском развития ревматоидного артрита, интенсивностью воспалительного процесса и концентрацией IL-6 в крови, однако механизмы реализации его функционального эффекта остаются предметом дискуссии [11; 16].

В последние годы особое внимание уделяется длинным некодирующим РНК (lncRNA), регулирующим экспрессию генов посредством взаимодействия с транскрипционными комплексами, белками хроматина и микроРНК [5, 8]. Одной из таких молекул является антисмысловая длинная некодирующая РНК *IL6-AS*, локализованная в непосредственной близости от промоторной области гена *IL6*. Предполагается, что *IL6-AS* участвует в регуляции транскрипционной активности *IL6*, влияя на интенсивность воспалительной реакции. Однако ее возможная роль в регуляции экспрессии *SLC19A1* и формировании чувствительности к метотрексату до настоящего времени практически не изучена.

Таким образом, эффективность терапии метотрексатом определяется сложным взаимодействием генетических, эпигенетических и транскрипционных механизмов, контролирующих как транспорт препарата, так и интенсивность воспалительного процесса. Комплексная оценка полиморфизмов генов *SLC19A1* и *IL6* в сочетании с анализом экспрессии длинной некодирующей РНК *IL6-AS* позволяет не только уточнить молекулярные механизмы формирования лекарственной устойчивости, но и определить перспективные биомаркеры персонализированной терапии ревматоидного артрита.

Цель исследования – изучить роль инсерционно-делеционного полиморфизма rs946631560 гена *SLC19A1*, полиморфного варианта rs1800795 гена *IL6* и длинной некодирующей РНК *IL6-AS* в формировании терапевтического ответа на метотрексат у больных ревматоидным артритом.

Материалы и методы.

В исследование были включены условно здоровые доноры (средний возраст $50 \pm 1,7$ года) и пациенты с ревматоидным артритом (средний возраст $59 \pm 1,2$ года), проходивших лечение в Республиканской больнице им. В.А. Баранова (г. Петрозаводск). Диагноз ревматоидного артрита устанавливали в соответствии с классификационными критериями ACR/EULAR (2010). В зависимости от эффективности проводимой терапии пациенты были разделены на три группы: группа 1 – пациенты с положительным терапевтическим ответом на метотрексат; группа 2 – пациенты с отсутствием клинического ответа (лекарственная резистентность); группа 3 – пациенты с непереносимостью метотрексата. Активность заболевания оценивали с использованием индекса DAS28 (Disease Activity Score 28). Эффективность терапии определяли по динамике клинических и лабораторных показателей в соответствии с действующими рекомендациями Европейской антиревматической лиги (EULAR). Критериями исключения являлись сахарный диабет, тяжелые заболевания печени и почек, острые

инфекционные заболевания в течение последнего месяца, курение, алкогольная зависимость и индекс массы тела ≥ 28 кг/м². Все участники подписали добровольное информированное согласие. Исследование одобрено локальным комитетом по медицинской этике при Республиканской больнице им. В.А. Баранова и Министерстве здравоохранения Республики Карелия (протокол №2 от 09.09.2024). Материалом исследования служила периферическая венозная кровь, полученная утром натощак.

Генотипирование. Геномную ДНК выделяли из цельной крови с использованием коммерческого набора («ДиаМ», Россия) согласно инструкции производителя. Инсерционно-делеционный полиморфизм rs946631560 гена *SLC19A1* определяли методом полимеразной цепной реакции (ПЦР). Генотипирование полиморфизма rs1800795 (-174G>C) гена *IL6* проводили методом ПЦР с последующим анализом длины рестрикционных фрагментов (ПЦР-ПДРФ). Амплификацию выполняли с использованием праймеров, синтезированных в компании «Синтол» (Россия). Последовательности праймеров представлены в таблице 1. Фрагменты разделяли электрофорезом в 6%-ном полиакриламидном геле, окрашивали раствором бромистого этидия и визуализировали в ультрафиолетовом свете.

Анализ экспрессии генов. Для выделения тотальной РНК из лейкоцитов периферической крови использовали реагент PureZOL («Bio-Rad», США) с последующей обработкой выделенной РНК ДНКазой I («Евроген», Россия). Синтез комплементарной ДНК (кДНК) осуществляли с использованием набора MMLV RT Kit («Евроген», Россия).

Уровень экспрессии *SLC19A1*, *IL6* и длинной некодирующей РНК IL6-AS определяли методом количественной ПЦР в режиме реального времени на амплификаторе LightCycler («Roche», Германия). Относительный уровень экспрессии рассчитывали методом $2^{-\Delta\Delta Ct}$ с использованием референсных генов *18s RNA* и *RPL19*.

Определение концентрации IL-6. Концентрацию IL-6 в плазме крови определяли методом твердофазного иммуноферментного анализа в соответствии с инструкцией производителя диагностического набора («Вектор-Бест», Россия).

Статистический анализ. Статистическую обработку результатов проводили с использованием пакета Statgraphics Centurion XV. Соответствие распределения генотипов равновесию Харди-Вайнберга оценивали с помощью критерия χ^2 . Различия в распределении аллелей и генотипов между группами анализировали с использованием критерия χ^2 Пирсона. Риск развития заболевания оценивали путем расчета отношения шансов (OR) с 95%-ным доверительным интервалом. Для сравнения количественных показателей применяли критерий Манна-Уитни и дисперсионный анализ Краскела-Уоллиса. Взаимосвязь между исследуемыми показателями оценивали с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$.

Таблица 1

Условия ПЦР-ПДРФ анализа

Ген, полиморфизм	Последовательность праймеров 5'-3' (F – прямой, R -обратный)	Эндонуклеаза рестрикции	Условия рестрикции	Источник
SLC19A1 rs946631560	F: CCGTGGGTGGGAGGGTGC R: CGGACTCCGGGACTACAGC			Собственный дизайн
IL6 rs1800795	F: TGACCTCAGCTTTACTCTTTGT R: CTGATTGGAAACCTTATTAAG	Fae	37°C, 4 ч	Собственный дизайн

Таблица 2

Встречаемость аллелей и генотипов по полиморфным маркерам rs946631560 (*SLC19A1*), rs1800795 (*IL6*) в группах условно здоровых людей и пациентов с ревматоидным артритом

Маркер	Аллели и генотипы	Группы								χ^2	Сравниваемые аллели и генотипы	ОШ (95% ДИ)
		Условно здоровые доноры				Пациенты с ревматоидным артритом						
		Встречаемость (%)	H _O	H _E	P _{HWE}	Встречаемость (%)	H _O	H _E	P _{HWE}			
rs946631560	I	84 (23.3%)	0,358	0,433	0,018	96 (29.6%)	0.417	0.420	0,997	3,486 (df=1, p=0,062)	I vs D	1.383 (0.983–1.946)
	D	276 (76.7%)				228 (70.4%)					II+ID vs DD	1.253 (0.819–1.917)
	I/I	3 (1,7%)				14 (8,6%)				8.897 (df=2, p=0.012)	II vs DD+ID	5.581 (1.574–19.793)
	I/D	78 (43,3%)				68 (42,0%)					II vs DD	5.775 (1.604–20.798)
	D/D	99 (55%)				80 (49,4%)						
rs1800795	C	48 (13,3%)	0,231	0,200	0,196	95 (29,3%)	0,414	0,438	0,766	26,360 (df=1, p<0,001)	C vs G	2.533 (1.799–3.565)
	G	312 (86,7%)				229 (70,7%)					CC+CG vs GG	3.452 (2.173–5.484)
	C/C	6 (3,3%)				12 (7,4%)				28,622 (df=2, p<0,001)	CC vs GG+CG	2.320 (0.850–6.332)
	C/G	36 (20,0%)				71 (43,8%)					CC vs GG	3.494 (1.262–9.672)
	G/G	138 (76,7%)				79 (48,8%)						

Примечание: H_O – наблюдаемая гетерозиготность, H_E – ожидаемая гетерозиготность, P_{HWE} – уровень значимости при равновесии Харди-Вайнберга.

Результаты.

Распределение аллелей и генотипов полиморфных локусов rs946631560 гена *SLC19A1* и rs1800795 гена *IL6* представлено в таблице 2 (доп. файл). Выявлены статистически значимые различия между пациентами с ревматоидным артритом и группой условно здоровых доноров по распределению генотипов обоих исследуемых полиморфизмов. Для полиморфизма rs1800795 достоверные различия наблюдались как по частотам аллелей, так и по распределению генотипов, что свидетельствует о более выраженной ассоциации данного локуса с развитием ревматоидного артрита. Оценка отношения шансов подтвердила наличие генетических вариантов, ассоциированных с повышенным риском заболевания.

Проанализирован уровень экспрессии *SLC19A1*, *IL6* и длинной некодирующей РНК *IL6-AS* у носителей различных генотипов. Результаты представлены на рис. 1 и 2. Наиболее выраженные различия выявлены для экспрессии *SLC19A1* и *IL6-AS*. Статистически значимой зависимости уровня экспрессии *IL6* от генотипа rs1800795 выявлено не было.

Для оценки взаимосвязи между экспрессией исследуемых генов был проведен корреляционный анализ. Установлена сильная положительная корреляция между уровнями экспрессии длинной некодирующей РНК *IL6-AS* и гена *IL6* ($r = 0,80$; $p < 0,001$), что свидетельствует о согласованной регуляции их транскрипционной активности. В то же время выявлена статистически значимая отрицательная корреляция между экспрессией *IL6-AS* и *SLC19A1* ($r = -0,60$; $p < 0,001$), а также между уровнями экспрессии *IL6* и *SLC19A1* ($r = -0,40$; $p < 0,001$). Полученные данные указывают на снижение экспрессии транспортера фолатов *SLC19A1* по мере увеличения экспрессии *IL6-AS* и *IL6*. С использованием дисперсионного анализа установлено статистически значимое влияние уровня *IL6* на экспрессию *SLC19A1* ($F = 22,97$; $p < 0,001$), что подтверждает наличие функциональной взаимосвязи между исследуемыми генами.

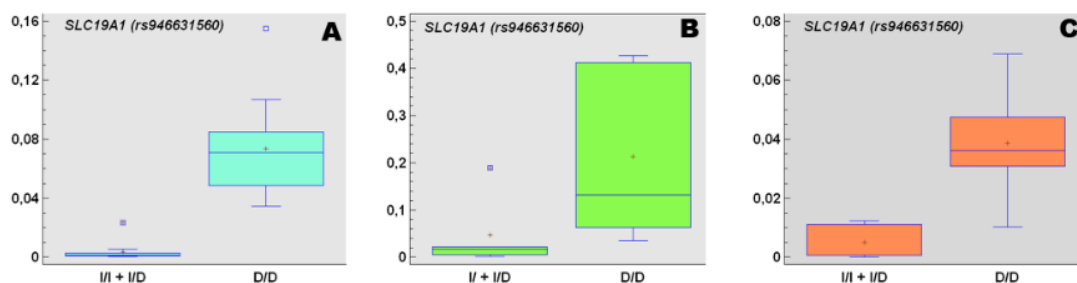


Рис. 1. Содержание мРНК гена *SLC19A1* в ЛПК носителей разных генотипов по полиморфному маркеру rs946631560. А – контрольная группа (условно здоровые доноры); В – больные РА с положительным ответом на терапию МТ; С – больные РА с отрицательной динамикой на данный вид терапии

Примечание: Горизонтальная линия внутри прямоугольника – медиана.

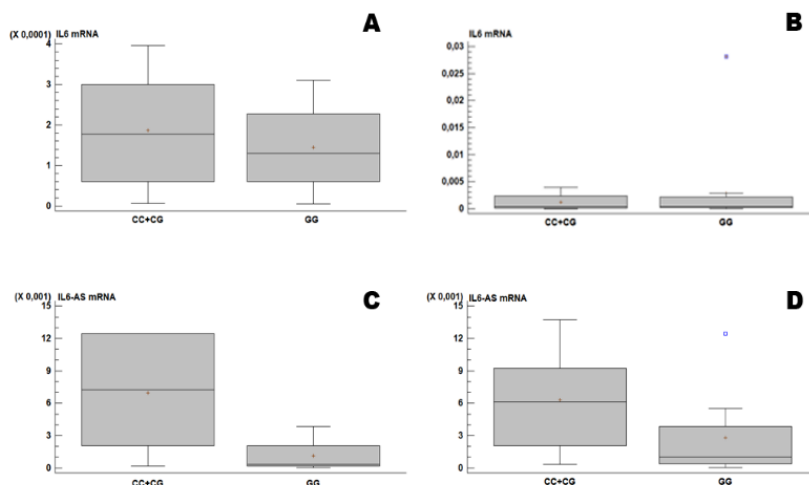


Рис. 2. Содержание мРНК генов *IL6* (A, B) и *IL6-AS* (C, D) в ЛПК носителей разных генотипов по полиморфному маркеру rs1800795. А, С – контрольная группа (условно здоровые доноры); В, D – больные РА

Обсуждение.

Настоящее исследование позволило впервые провести комплексную оценку роли полиморфных вариантов *SLC19A1* и *IL6* совместно с экспрессией длинной некодирующей РНК *IL6-AS* при ревматоидном артрите и оценить их возможное участие в формировании чувствительности к терапии метотрексатом.

Полученные результаты свидетельствуют об ассоциации инсерционно-делеционного полиморфизма rs946631560 гена *SLC19A1* с развитием ревматоидного артрита. Особое значение имеет выявленное снижение экспрессии данного гена у носителей неблагоприятного генотипа, поскольку кодируемый им переносчик RFC1 является одним из ключевых компонентов системы транспорта метотрексата внутрь клетки. Изменение активности RFC1 способно влиять на внутриклеточное накопление препарата и, соответственно, на выраженность его фармакологического эффекта [6; 13; 17]. Известно, что эффективность метотрексата определяется не только его дозировкой, но и индивидуальными особенностями транспорта, метаболизма и внутриклеточного превращения препарата. Генетические варианты компонентов метаболического пути метотрексата рассматриваются как потенциальные предикторы различий в терапевтическом ответе у пациентов с ревматоидным артритом [13; 17; 22; 25]. Полученные в настоящей работе данные согласуются с результатами исследований, демонстрирующих связь изменений экспрессии *SLC19A1* с формированием резистентности к метотрексату [6].

Другим значимым результатом исследования является выявленная ассоциация полиморфизма rs1800795 гена *IL6* с развитием ревматоидного артрита. Данный вариант локализован в промоторной области гена и способен изменять регуляцию транскрипционной активности, влияя на интенсивность продукции IL-6. Ранее было показано, что эпигенетические особенности промоторной области гена *IL6*, включая изменения метилирования CpG-участков, связаны с уровнем экспрессии данного цитокина и активностью воспалительного процесса при РА [11]. При этом в настоящем исследовании не выявлено прямого статистически значимого влияния rs1800795 на уровень экспрессии *IL6*. Это может свидетельствовать о сложном характере реализации функционального эффекта данного полиморфизма, который может осуществляться через дополнительные регуляторные механизмы, включая изменение активности некодирующих РНК. В последние годы длинные некодирующие РНК рассматриваются как важнейшие элементы регуляции воспалительных и иммунных процессов. Они способны

воздействовать на транскрипцию генов, организацию хроматина, стабильность мРНК и активность сигнальных каскадов [5, 8, 20]. При ревматоидном артрите продемонстрировано участие различных lncRNA в регуляции функций фибробластоподобных синовиоцитов, активации NF-κB-зависимого воспалительного ответа и поддержании хронического воспаления [10, 15, 21, 23]. Особый интерес представляет выявленное в настоящей работе влияние полиморфизма rs1800795 гена *IL6* на экспрессию длинной некодирующей РНК *IL6-AS*. Поскольку данная lncRNA располагается в непосредственной близости от гена *IL6*, можно предположить, что она участвует в регуляции его транскрипционной активности. Полученные результаты позволяют рассматривать *IL6-AS* как потенциальное промежуточное звено между генетическим вариантом *IL6* и изменением активности воспалительного сигнального пути.

Выявленная выраженная положительная корреляция между уровнями экспрессии *IL6-AS* и *IL6* подтверждает функциональную взаимосвязь данных транскриптов. Одновременно отрицательная корреляция между экспрессией *IL6-AS* и *SLC19A1*, а также между уровнями мРНК генов *IL6* и *SLC19A1*, указывает на возможное существование регуляторной связи между активностью воспалительного ответа и транспортом метотрексата. Полученные данные согласуются с экспериментальными исследованиями, в которых показано, что повышение продукции IL-6 сопровождается снижением экспрессии *SLC19A1* и уменьшением внутриклеточного поступления метотрексата [6]. Вероятно, активация оси *IL6-AS-IL6* может приводить к подавлению экспрессии *SLC19A1*, снижению концентрации препарата в клетках-мишенях и формированию недостаточного терапевтического ответа.

Таким образом, результаты исследования позволяют предложить модель регуляции эффективности метотрексата, согласно которой полиморфизм rs1800795 гена *IL6* может влиять на активность воспалительного пути посредством изменения экспрессии *IL6-AS*. В свою очередь, повышение активности данной регуляторной системы сопровождается снижением экспрессии транспортера *SLC19A1* и потенциальным уменьшением эффективности терапии.

Предложенная регуляторная ось *IL6-AS-IL6-SLC19A1* объединяет генетические, эпигенетические и транскрипционные механизмы, участвующие в формировании индивидуального ответа на метотрексат, и может рассматриваться как перспективное направление поиска биомаркеров персонализированной терапии ревматоидного артрита.

Заключение.

Проведенное исследование позволило установить вклад генетических и транскрипционных факторов в формирование молекулярных механизмов, определяющих развитие ревматоидного артрита и вариабельность ответа на терапию метотрексатом. Полученные результаты расширяют представления о механизмах формирования терапевтического ответа и определяют перспективность дальнейшего изучения исследуемых молекулярно-генетических маркеров в качестве потенциальных предикторов эффективности терапии метотрексатом при разработке персонализированных подходов к лечению ревматоидного артрита.

Список литературы

1. Насонов Е.Л. Ревматология: клинические рекомендации / Е.Л. Насонов. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2006. – 264 с.
2. Каратеев Д.Е. Ревматоидный артрит: современные подходы к диагностике и лечению / Д.Е. Каратеев, А.М. Лиля // Научно-практическая ревматология. – 2020. – Т. 58, №1. – С. 5–17.
3. Насонов Е.Л. Биологические препараты в лечении ревматоидного артрита: перспективы персонализированной терапии / Е.Л. Насонов, Е.Н. Александрова, А.А. Новиков // Терапевтический архив. – 2018. – Т. 90, №5. – С. 5–12.
4. Aletaha D. Diagnosis and Management of Rheumatoid Arthritis: A Review / D. Aletaha, J.S. Smolen // JAMA. – 2018. – Vol. 320, No. 13. – P. 1360–1372. DOI 10.1001/jama.2018.13103. EDN RMUKAX
5. Fabian M.R. Regulation of mRNA translation and stability by microRNAs / M.R. Fabian, N. Sonenberg, W. Filipowicz // Annual Review of Biochemistry. – 2010. – Vol. 79. – P. 351–379. DOI 10.1146/annurev-biochem-060308-103103. EDN OACRER

6. Interleukin-6 regulates anti-arthritic effect of methotrexate via reduction of SLC19A1 expression in a mouse arthritis model / M. Hashizume, H. Yoshida, K. Tanaka [et al.] // *Arthritis Research & Therapy*. – 2012. – Vol. 14, No. 2. – P. R96.
7. Long non-coding RNA IL6-AS promotes inflammatory responses by regulating IL-6 expression / C. Huang, Y. Luo, J. Zhao [et al.] // *Journal of Cellular and Molecular Medicine*. – 2019. – Vol. 23. – P. 7855–7865.
8. Lekka E. Noncoding RNAs in disease / E. Lekka, J. Hall // *FEBS Letters*. – 2018. – Vol. 592. – P. 2884–2900.
9. Lipovich L. MacroRNA underdogs in a microRNA world: evolutionary, regulatory, and biomedical significance of mammalian long non-protein-coding RNA / L. Lipovich, R. Johnson, C.Y. Lin // *Biochimica et Biophysica Acta*. – 2010. – Vol. 1799. – P. 597–615.
10. Long Non-Coding RNA GAPLINC Promotes Tumor-Like Biologic Behaviors of Fibroblast-Like Synoviocytes as MicroRNA Sponging in Rheumatoid Arthritis Patients / B.Y. Mo, X.H. Guo, M.R. Yang [et al.] // *Frontiers in Immunology*. – 2018. – Vol. 9. – Article 1024. DOI 10.3389/fimmu.2018.01024. EDN YIQMVV
11. Methylation status of a single CpG site in the IL6 promoter is related to IL6 messenger RNA levels and rheumatoid arthritis / C.J. Nile, R.C. Read, M. Akil [et al.] // *Arthritis & Rheumatism*. – 2008. – Vol. 58, No. 9. – P. 2686–2693.
12. HLA-C alleles confer risk for anti-citrullinated peptide antibody-positive rheumatoid arthritis independent of HLA-DRB1 alleles / G.B. Nordang, S.T. Flåm, M.T. Maehlen [et al.] // *Rheumatology*. – 2013. – Vol. 52, No. 11. – P. 1973–1982.
13. Genetic polymorphisms in key methotrexate pathway genes are associated with response to treatment in rheumatoid arthritis patients / S.A. Owen, S.L. Hider, P. Martin [et al.] // *The Pharmacogenomics Journal*. – 2013. – Vol. 13. – P. 227–234.
14. Genetic factors associated with response to methotrexate therapy in rheumatoid arthritis / S.J. Park, S.Y. Lee, S.Y. Kim [et al.] // *Clinical Rheumatology*. – 2019. – Vol. 38. – P. 301–309.
15. Long non-coding RNAs in rheumatoid arthritis: biological functions and therapeutic implications / Y. Qiu, Y. Chen, Y. Zhang [et al.] // *Cell Proliferation*. – 2020. – Vol. 53. – Article e12819. DOI 10.1111/cpr.12819. EDN EVUHXR
16. Srivastava S. Genetics, epigenetics and autoimmunity constitute a Bermuda triangle for the pathogenesis of rheumatoid arthritis / S. Srivastava, M. Rasool // *Life Sciences*. – 2024. – Vol. 357. – Article 123075. DOI 10.1016/j.lfs.2024.123075. EDN LEWRYI
17. The role of genetic polymorphisms in methotrexate treatment response in rheumatoid arthritis / J. Swierkot, K. Bogunia-Kubik, B. Nowak [et al.] // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2015. – Vol. 16. – P. 293–313.
18. Viatte S. Genetics and epigenetics of rheumatoid arthritis / S. Viatte, D. Plant, S. Raychaudhuri // *Nature Reviews Rheumatology*. – 2013. – Vol. 9, No. 3. – P. 141–153.
19. Wang L.M. Long non-coding RNA MALAT1 aggravates human retinoblastoma by sponging miR-20b-5p to upregulate STAT / L.M. Wang, Y.W. Zhang, X.Y. Xin // *Pathology Research and Practice*. – 2020. – Vol. 216, No. 6. – Article 152977. DOI 10.1016/j.prp.2020.152977. EDN EFYKGZ
20. Non-coding RNAs in rheumatoid arthritis: molecular mechanisms and clinical implications / J. Wang, S. Yan, W. Zhang [et al.] // *Frontiers in Immunology*. – 2021. – Vol. 12. – Article 680086.
21. Ye Y. LncRNA ZFAS1 promotes cell migration and invasion of fibroblast-like synoviocytes by suppression of miR-27a in rheumatoid arthritis / Y. Ye, X. Gao, N. Yang // *Human Cell*. – 2018. – Vol. 31. – P. 14–21. DOI 10.1007/s13577-017-0179-5. EDN DTPUD
22. Yu M.B. Predicting methotrexate resistance in rheumatoid arthritis patients / M.B. Yu, A. Firek, W.H.R. Langridge // *Inflammopharmacology*. – 2018. – Vol. 26, No. 3. – P. 699–708. DOI 10.1007/s10787-018-0459-z. EDN YFXTMD
23. LncRNA HOTAIR alleviates rheumatoid arthritis by targeting miR-138 and inactivating NF- κ B pathway / H.J. Zhang, Q.F. Wei, S.J. Wang [et al.] // *International Immunopharmacology*. – 2017. – Vol. 50. – P. 283–290.
24. Pharmacogenomics of methotrexate pathway in rheumatoid arthritis patients: approach toward personalized medicine / Z. Zhao, Y. Li, L. Wang [et al.] // *Frontiers in Pharmacology*. – 2022. – Vol. 13. – Article 932525.
25. Polymorphisms and pharmacogenomics for the clinical efficacy of methotrexate in patients with rheumatoid arthritis: a systematic review and meta-analysis / Y. Zhou, X. Chen, X. Wang [et al.] // *Scientific Reports*. – 2017. – Vol. 7. – Article 44015.

Бильдякова Любовь Александровна

аспирант

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный
педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

г. Ульяновск, Ульяновская область

Антонова Елена Ивановна

д-р биол. наук, профессор, директор

Научно-исследовательский центр фундаментальных
и прикладных проблем биоэкологии и биотехнологииФГБОУ ВО «Ульяновский государственный
педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

г. Ульяновск, Ульяновская область

ГЕМАТОЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДИАГНОСТИКИ ДЕТЕЙ С СИНДРОМОМ ДАУНА

Аннотация: в статье рассматриваются гематоцитогенетические аспекты диагностики детей с синдромом Дауна. Основное внимание уделяется характерным гематологическим нарушениям, включая полицитемию, тромбоцитопению, нейтрофилию и лимфоцитопению. Актуальность исследования определяется высокой частотой развития различных патологий у пациентов с синдромом Дауна, в частности транзиторного аномального миелопоэза (ТАМ) и повышенного риска развития лейкозов. Научная новизна исследования заключается в систематизации современных данных о взаимосвязи гематологических и цитогенетических нарушений при синдроме Дауна, а также в оценке рисков развития онкогематологических заболеваний.

Ключевые слова: синдром Дауна, трисомия 21, гематологические нарушения, транзиторный аномальный миелопоэз, лейкоз, иммунные нарушения, полицитемия, мутация GATA1, иммунодефицит, аутоиммунные заболевания, апластическая анемия.

Синдром Дауна (СД, трисомия 21, Down syndrome, trisomy 21) распространённая, хорошо изученная аутосомная хромосомная анеуплоидная аномалия у человека, обусловленная наличием полной или частичной дополнительной копии 21-й хромосомы, ассоциированная с различными фенотипами заболеваний, включая сердечно-сосудистые, неврологические, гематологические и иммунологические заболевания.

Синдром впервые клинически описан в 1866 году английским врачом Д.Л. Дауном. Молекулярно-генетическая природа заболевания установлена в 1959 году Ж. Леженом [14]. У новорожденных с синдромом Дауна наблюдаются различные гематологические нарушения. Наиболее распространенными из них являются полицитемия, тромбоцитопения, нейтрофилия и лимфоцитопения [5; 15; 17; 25]. От 5% до 30% детей с СД рождаются с транзиторной лейкоемией (ТЛ-СД), также известной как транзиторный аномальный миелопоэз (ТАМ) и транзиторное миелопролиферативное расстройство (ТМПР) – клональное расстройство, характеризующееся циркуляцией мегакариобластов и диспластическими изменениями в клетках периферической крови [21; 23; 27; 31].

У новорожденных с СД отмечается увеличение количества мегакариоцитарных предшественников, у 10% новорождённых выявляется транзиторный аномальный миелопоэз (ТАМ) с переходом в лейкозоподобный синдром, который связан с мутациями в гене GATA1 с последующей пролиферацией мегакариоцитарных предшественников, и в 20 – 30% случаев ТАМ прогрессирует в острый мегакариоцитарный лейкоз (АМКЛ) в первые 4 года жизни [29].

Трисомия 21-й хромосомы определяет значительные изменения в миелоидных клетках с и сопутствующими генетическими, эпигенетическими нарушениями. Эти изменения могут

приводить к миелопролиферативным расстройствам, таким как транзиторный аномальный миелопоз в 5–10% случаев (ТАМ), и 1–2% случаев повышать риск развития острого миелоидного лейкоза (ОМЛ) мегакариоцитарного подтипа (М7 по FAB-классификации) [2; 4; 8; 12]. Риск ОМЛ у детей с СД в 150–400 раз выше [24]. Клиническая гетерогенность ТАМ проявляется в существовании различных форм заболевания. Особого внимания заслуживает так называемый «молчащий ТАМ», который выявляется примерно у 20% новорождённых. При данной форме в периферической крови обнаруживается небольшое количество бластных клеток, однако отсутствуют какие-либо клинические проявления заболевания и другие гематологические изменения [1; 23]. Иммунологическая характеристика ТАМ определяется специфической экспрессией мегакариоцитарных маркеров CD41 и CD42b на поверхности бластных клеток. Естественное течение заболевания характеризуется тенденцией к спонтанной регрессии клинических и гематологических проявлений в течение первых 3–6 месяцев жизни ребёнка без необходимости проведения специфической терапии. Прогностические особенности ТАМ требуют особого внимания, поскольку, несмотря на тенденцию к самопроизвольному разрешению, существует риск трансформации данного состояния в острый лейкоз. Статистические данные свидетельствуют о том, что примерно в 20% случаев после спонтанной регрессии ТАМ у пациентов в возрасте до 5 лет развивается острый миелобластный лейкоз (ОМЛ) М7-варианта по FAB-классификации. При этом механизмы, определяющие такую трансформацию, остаются недостаточно изученными [1].

Как правило отмечается полицитемия, эритропения, нейтрофилия, увеличение среднего объема эритроцитов (MCV) и повышение среднего уровня гемоглобина в эритроците (MCH) и гематокрита, амегакариоцитарная аплазия и апластическая анемия, что напрямую влияет на производство тромбоцитов и эритроцитов, а также морфофункциональные изменения в костном мозге и селезёнке [6; 8; 13; 18; 24]. Лимфоцитопения определяет повышенную восприимчивость к инфекциям, особенно респираторным, так в частности пневмония наиболее частая причина смерти как детей, так взрослых с СД. К дополнительным факторам риска также можно отнести анатомические особенности дыхательных путей, мышечную гипотонию и нарушения глотания, способствующие аспирации.

Также отмечается сопряженность тромбоцитопении, лейкоцитоза, нейтрофилии и в 10–16% эозинофилии с риском развития ТАМ на фоне мутации гена GATA1 и GATA2 [7; 13; 16; 18; 19; 23].

Определяемое снижение числа Т-лимфоцитов (CD3+), в том числе субпопуляций CD4+ и CD8+ отражает нарушение функций тимуса, как органа дифференцировки Т-лимфоцитов. Нарушение структурно-функциональной организации тимуса проявляется в уменьшении числа тимоцитов с нарушением дольчатой архитектуры органа. Аномальная архитектура тимуса характеризуется увеличением доли мозгового слоя, инволюцией телец Гассала, угнетается пролиферативная активность тимоцитов. Нарушение дифференцировки Т-лимфоцитов в тимусе проявляется в уменьшении количества «кругов» удаления Т-клеточных рецепторов (TREC), что указывает на недостаточную эмиграцию Т-лимфоцитов из органа с развитием дефицитного состояния наивных Т-лимфоцитов и нарушению пролиферативного ответа на антигены [10].

Уменьшение абсолютного числа В-лимфоцитов (CD20+), по всей видимости связано с активацией апоптоза. Уменьшение количества субпопуляции В-лимфоцитов памяти и снижение продукции иммуноглобулинов определяют угнетение иммунного ответа, в том числе на вакцинацию, способствуют развитию аутоиммунных заболеваний [10].

У пациентов с СД отмечается нарушение функций щитовидной железы с последующим развитием гипотиреоза. У таких пациентов как правило менее выражено изменение клеточного состава периферической крови [18].

Примерно у половины пациентов с СД диагностируются врожденные пороки сердца. Выявлены мутации генов, которые отмечаются в случае сочетания синдрома Дауна и врожденного порока сердца – COL6A1, COL6A2, CRELD1, FBLN, FRZB, GATA5 [22].

Онкологические риски. Онкологические риски при СД характеризуются существенным повышением вероятности развития различных форм лейкоза по сравнению с общей популяцией. Так в частности ТАМ представляет собой динамически развивающееся состояние с потенциально высоким риском трансформации в онкогематологическое заболевание. Значительное увеличение риска развития острого лимфобластного лейкоза, при этом вероятность возникновения данного заболевания превышает популяционный показатель в 20–30 раз. Особую настороженность вызывает повышенный риск развития ОМЛ, который превышает среднестатистические показатели в 100 раз, что свидетельствует о высокой предрасположенности данной категории пациентов к развитию миелоидных форм лейкоза [9]. По-видимому, ТАМ вызывается единичной мутацией GATA1 и конститутивной трисомией 21. Последующий острый мегакариоцитарный лейкоз развивается из существовавшего ранее клона ТАМ путем приобретения дополнительных мутаций, причем основными мишенями мутаций являются многочисленные компоненты когезина (53%), CTCF (20%), а также EZH2, KANSL1 и другие эпигенетические регуляторы (45%), а также общие сигнальные пути, такие как киназы семейства JAK, MPL, SH2B3 (LNK) и многочисленные гены пути RAS (47%) [30]. Кумулятивный риск развития лейкозов демонстрирует прогрессирующую динамику с возрастом. К пятилетнему возрасту вероятность развития лейкоза составляет 2,1%, что является существенным показателем онкологической настороженности в раннем детском периоде. К тридцатилетнему возрасту совокупный риск развития лейкоза увеличивается до 2,7%. Данные показатели подчеркивают необходимость тщательного динамического наблюдения за пациентами с СД и проведения своевременной диагностики для раннего выявления предлейкозных состояний и первичных проявлений онкогематологических заболеваний.

Цитогенетические аспекты. В основном существует три цитогенетические формы СД [22; 26; 28].

Регулярная/свободная форма, или полная трисомия при СД встречается в 95,3% случаев [11]. В 90% случаев нерасхождение хромосом происходит во время формирования яйцеклетки (т. е. в материнском мейозе), и только в 10% при формировании сперматозоидов (в отцовском мейозе).

Транслокационная форма СД встречается в 2,4% случаев [11]. В основе этой формы лежит перенос сегмента 21-й хромосомы на другую акроцентрическую хромосому (чаще 14 или 22). Можно выделить две формы Робертсоновской транслокационной трисомии 21 – *de novo* или наследственная от родителя-носителя сбалансированной транслокации. Это единственная форма СД, которая может быть наследственной, если один из родителей – носитель робертсоновской мутации. При такой мутации две хромосомы с короткими плечами сливаются в одну с длинными плечами. При этом никаких симптомов у родителя не наблюдается. По проявлениям эта форма мутации чаще всего не отличается от регулярной.

Мозаичная форма встречается в 1,2% случаев. При этой форме отмечается наличие двух клеточных линий: с нормальным (46 хромосом) и трисомным (47 хромосом) набором. Возникает вследствие митотического нерасхождения на ранних стадиях эмбриогенеза. При этой форме дополнительная хромосома есть не во всех клетках, так как нерасхождение хромосом произошло уже после оплодотворения [11]. Мозаичный вариант считается наиболее благоприятным, так как в зависимости от процента трисомных клеток характеризуется более сглаженными внешними проявлениями и более благоприятным прогнозом на интеллектуальное развитие.

Встречается частичная дупликация критической области 21-й хромосомы. В литературе описаны лишь единичные случаи такой формы, так как дупликация затрагивает только ограниченный участок 21-й хромосомы – терминальная перестройка теломерного региона. При этом клинические проявления могут быть настолько сглажены, что диагноз СД не ставится [20]. Была предложена область 21 хромосомы в пределах которой отмечается дубликации, а именно критическая область СД (DSCR), которая была определена с проксимальной

границей между маркерами D21S17 (35 892 кб) и D21S55 (38 012 кб) и дистальной границей в MX1 (41 720 кб).

Также отдельной формой СД является двойная анеуплоидия (например, 48,XY,Y,+21 или 46,X,+21).

В амниотической жидкости были выявлены изменения в экспрессии генов COL6A1 и DSCR1, что привело к фенотипическим краниофациальным изменениям; GSTT1, CLIC6, ITGB2, C21orf67, C21orf86 и RUNX1. В плаценте наблюдалась дисрегуляция генов MEST, SNF1LK и LOX, что, в свою очередь, влияет на развитие нервной системы. В головном мозге нарушение регуляции генов DYRK1A, DNMT3L, DNMT3B, TBX1, olig2 и AQP4 способствует развитию умственной отсталости. В сердечной ткани нарушение экспрессии генов GART, ETS2 и ERG вызывает аномалии. Кроме того, наблюдалось нарушение регуляции генов XIST, RUNX1, SON, ERG и STAT1, способствующее развитию миелопролиферативных заболеваний. Понимание дифференциальной экспрессии генов позволяет получить представление о генетических последствиях СД. Лучшее понимание этих процессов потенциально может проложить путь к разработке генетических и фармакологических методов лечения [3].

Пренатальная диагностика. При беременности подтверждение/исключение СД оценивается путем анализа образцов плода после инвазивной биопсии ворсин хориона (БВХ) и амниоцентеза, а также с помощью лабораторных методов, таких как традиционный цитогенетический анализ (кариотипирование), флуоресцентная гибридизация *in situ* (FISH), количественная флуоресцентная полимеразная цепная реакция (QF-PCR), мультиплексный лигационный зондовый анализ (MLPA) и сравнительная геномная гибридизация на микрочипах (CGH). Существует также неинвазивный метод выявления трисомии 21 с помощью технологии секвенирования нового поколения (NGS), известный как неинвазивная пренатальная диагностика (NIPD). Этот процесс основан на анализе экстрагированной внеклеточной ДНК плода из образцов плазмы матери.

Послеродовое тестирование – для подтверждения диагноза у всех пациентов с подозрением на СД постоянно проводится стандартное кариотипирование периферической крови [22].

Таким образом, гематологические нарушения при СД требуют комплексного подхода к диагностике и лечению. Своевременное выявление отклонений и правильная тактика ведения пациентов позволяют значительно улучшить прогноз и качество жизни больных. Особую важность имеет ранняя диагностика предлейкозных состояний и профилактика инфекционных осложнений.

Список литературы

1. Абашидзе З.А. Транзиторный аномальный миелопоз, миелодиспластический синдром и острый миелоидный лейкоз у детей с синдромом Дауна / З.А. Абашидзе, И.И. Калинина // Вопросы гематологии/онкологии и иммунопатологии в педиатрии. – 2024. – Т. 23, №4. – С. 23–33. – DOI: 10.24287/1726-1708-2024-23-4-23-33. EDN BWYXMX
2. Bruwier A. Immune system abnormalities in Down syndrome / A. Bruwier, R. Van den Bergh, P. De Boever [et al.] // Clinical Immunology. – 2012. – Vol. 145, №3. – P. 209–221.
3. Gene Expression Studies in Down Syndrome: What Do They Tell Us about Disease Phenotypes? / L.R. Chapman, I.V.P. Ramnarine, D. Zemke [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. – 2024. – Vol. 25, No. 5. – Art. 2968. – DOI: 10.3390/ijms25052968. EDN NVKFUU
4. Immunological aspects of Down syndrome / E. Cuadrado, M.T. Carreira, E. Fernandez-Caldas [et al.] // Pediatric Allergy and Immunology. – 1996. – Vol. 7, No. 3. – P. 147–153.
5. Hematologic features of Down syndrome / M.J. Dixon, S.M. Davies, B.J. Bain, [et al.] // Blood Reviews. – 2006. – Vol. 20, No. 5. – P. 245–255.
6. Fulkerson P.C. Role of GATA factors in eosinophil development / P.C. Fulkerson // Blood. – 2017. – Vol. 130, No. 12. – P. 1405–1413.
7. Management of transient myeloproliferative disorder in Down syndrome / A.S. Gamis, T.A. Alonzo, E.A. Raetz [et al.] // Journal of Pediatric Hematology/Oncology. – 2011. – Vol. 33, No. 7. – P. 515–522.

8. Harvey S. Hematological and immune disorders in Down syndrome / S. Harvey, K. Wolter-Warmerdam, F. Hickey // *Current Opinion in Pediatrics*. – 2022. – Vol. 34, No. 6. – P. 685–693.
9. Hasle H. Leukemia risk in Down syndrome / H. Hasle, I.H. Clemmensen // *The Lancet*. – 2000. – Vol. 355, No. 9199. – P. 165–169. EDN DGEIVH
10. Hord J.D. Hematologic manifestations of Down syndrome / J.D. Hord, M.T. Abromowitch, D.O. Smith // *Pediatric Blood & Cancer*. – 1995. – Vol. 25, No. 5. – P. 437–442.
11. Genetic aspects of Down syndrome / S.K. Jaiswal, T.J. Hassold, P.A. Hunt [et al.] // *American Journal of Medical Genetics*. – 2021. – Vol. 185, No. 12. – P. 3215–3228.
12. Immune dysfunction in Down syndrome / R. James, A. Abdel-Haleem, M. Bax [et al.] // *Journal of Clinical Immunology*. – 2009. – Vol. 29, No. 5. – P. 535–545.
13. Myeloid disorders in Down syndrome / J.H. Klusmann, M. Schrappe, M. Zimmermann [et al.] // *Leukemia*. – 2008. – Vol. 22, No. 4. – P. 771–780.
14. Lejeune J. Cytogenetic and clinical findings in Down syndrome / J. Lejeune, M. Gautier, R. Turpin // *Human Genetics*. – 1959. – Vol. 9, No. 1. – P. 36–46.
15. Luchtman-Jones L. Hematologic complications in Down syndrome / L. Luchtman-Jones, M.T. Abromowitch, D.O. Smith // *Pediatric Blood & Cancer*. – 2005. – Vol. 45, No. 4. – P. 487–494.
16. Thrombocytopenia and leukocytosis in transient abnormal myelopoiesis / A. Maroz, I. Roberts, P. Vyas [et al.] // *Pediatric Hematology and Oncology*. – 2014. – Vol. 31, No. 8. – P. 557–564.
17. Miller J.P. Hematologic abnormalities in Down syndrome / J.P. Miller, J.M. Cosgriff // *American Journal of Medical Genetics*. – 1983. – Vol. 14, No. 3. – P. 457–468.
18. Niculina M. Hematological abnormalities in Down syndrome / M. Niculina, A.C. Vizitiu, A. Anghel // *Romanian Journal of Pediatrics*. – 2019. – Vol. 68, No. 3. – P. 257–265.
19. Clinical features of transient abnormal myelopoiesis / D. O'Connor, I. Roberts, P. Vyas [et al.] // *Blood*. – 2013. – Vol. 122, No. 10. – P. 1785–1793.
20. Molecular mapping of twenty-four features of Down syndrome on chromosome 21 / J.M. Delabar, D. Theophile, Z. Rahmani [et al.] // *European Journal of Human Genetics*. – 1993. – Vol. 1, No. 2. – P. 114–124. – DOI: 10.1159/000472398.
21. Transient myeloproliferative disorder in Down syndrome / R.S. Pine, I. Roberts, P. Vyas [et al.] // *Leukemia & Lymphoma*. – 2007. – Vol. 48, No. 12. – P. 2335–2342.
22. Plaiasu V. Down Syndrome – Genetics and Cardiogenetics / V. Plaiasu // *MAEDICA – a Journal of Clinical Medicine*. – 2017. – Vol. 12, No. 3. – P. 208–213.
23. Transient abnormal myelopoiesis in Down syndrome / I. Roberts, P. Vyas, B.J. Bain [et al.] // *British Journal of Haematology*. – 2001. – Vol. 115, No. 1. – P. 105–113.
24. Transient leukemia in Down syndrome: clinical and molecular features / D. Shangpliang, I. Roberts, P. Vyas [et al.] // *Pediatric Blood & Cancer*. – 2020. – Vol. 67, No. 10. – P. 284–292. – DOI: 10.1002/pbc.28492.
25. Sola E. Hematologic disorders in Down syndrome / E. Sola, R.D. Christensen // *Seminars in Perinatology*. – 1999. – Vol. 23, No. 2. – P. 164–172.
26. Sperling K. Population monitoring of trisomy 21: problems and approaches / K. Sperling // *Medizinisches Genetiker*. – 2023. – Vol. 35, No. 2. – P. 101–108.
27. Tunstall O. Transient myeloproliferative disorder in Down syndrome: current understanding and management / O. Tunstall, N. Bhatnagar, B. James // *Pediatric Blood & Cancer*. – 2018. – Vol. 65, No. 11. – P. 272–285. – DOI: 10.1002/pbc.27225.
28. Maternal age and Down syndrome risk / J. Vraneković, T. Stojković, M. Vujković [et al.] // *Genetics in Medicine*. – 2012. – Vol. 14, No. 11. – P. 890–896.
29. Mapping the cellular origin and early evolution of leukemia in Down syndrome / E. Wagenblast, J. Araújo, O.I. Gan [et al.] // *Science*. – 2021. – Vol. 373, No. 6551. – P. 1–10. – DOI: 10.1126/science.abf6202. EDN RSNUVG
30. The landscape of somatic mutations in Down syndrome-related myeloid disorders / K. Yoshida, T. Toki, Y. Okuno [et al.] // *Nature Genetics*. – 2013. – Vol. 45. – P. 1293–1299. DOI 10.1038/ng.2759. EDN QTEUKI
31. Zipursky J.S. Transient leukemia in Down syndrome: biology and therapy / J.S. Zipursky // *Pediatric Blood & Cancer*. – 2003. – Vol. 41, No. 3. – P. 237–244.

Степанкова Дарья Андреевна

аспирант, младший научный сотрудник
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
г. Казань, Республика Татарстан

Елбоева Полина Игоревна

аспирант, младший научный сотрудник
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
г. Казань, Республика Татарстан

Мартынова Екатерина Владимировна

канд. мед. наук, ведущий научный сотрудник
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
г. Казань, Республика Татарстан

Давидюк Юрий Николаевич

канд. биол. наук, доцент, старший научный сотрудник
Научно-клинический центр прецизионной и регенеративной медицины
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
г. Казань, Республика Татарстан
ведущий научный сотрудник

Научно-исследовательский центр фундаментальных
и прикладных проблем биоэкологии и биотехнологии
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный
педагогический университет им. И.Н. Ульянова»
г. Ульяновск, Ульяновская область

Кабве Эммануэль

канд. биол. наук, старший научный сотрудник
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
г. Казань, Республика Татарстан

Андреева Наталья Юрьевна

аспирант, младший научный сотрудник
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
г. Казань, Республика Татарстан

Хайбуллина Светлана Францевна

д-р мед. наук, главный научный сотрудник
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
г. Казань, Республика Татарстан

DOI 10.31483/r-167109

АНАЛИЗ ЧАСТОТ ГЕНОТИПОВ ОДНОНУКЛЕОТИДНЫХ ПОЛИМОРФИЗМОВ ГЕНОВ РАННЕГО ИММУННОГО ОТВЕТА У БОЛЬНЫХ ГЛПС

Аннотация: геморрагическая лихорадка с почечным синдромом (ГЛПС) остаётся одной из ведущих природно-очаговых инфекций в России, которая отличается выраженной клинической вариабельностью. Клинические проявления ГЛПС, в частности, могут быть обусловлены однонуклеотидными полиморфизмами (ОНП) в генах раннего иммунного ответа у пациентов. Нами было проведено определение частот аллелей и генотипов по ОНП в генах CASP1 (rs580253) и IL-6 (rs1800795). При этом CASP1 кодирует каспазу-1 – фермент, являющийся продуктом активированной инфламماسомы, а IL-6 кодирует интерлейкин 6 – цитокин острого иммунного ответа. Установлено, что частоты генотипов в контрольной группе соответствовали закону Харди-Вайнберга, в то время как у пациентов с ГЛПС выявлено статистически значимое отклонение от ожидаемого равновесия, что позволяет

выдвинуть предположение о существовании корреляций между генотипами по исследуемым ОНП и клиническими проявлениями заболевания.

Ключевые слова: геморрагическая лихорадка с почечным синдромом, однонуклеотидные полиморфизмы, NLRP3-инфламмасома, CASP1, IL-6, аллель-специфичная ПЦР.

Работа выполнена в рамках Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета (Приоритет 2030).

Геморрагическая лихорадка с почечным синдромом (ГЛПС) – ежегодно регистрируемая в Российской Федерации ортохантавирусная инфекция, сохраняющая статус одной из ведущих природно-очаговых инфекций [8]. Заболевание характеризуется выраженной клинической вариабельностью, а риск тяжёлого течения может быть ассоциирован с однонуклеотидными полиморфизмами (ОНП) в генах, обеспечивающих ранний иммунный ответ [3]. В частности, большое значение могут иметь ОНП в генах, принимающих участие в формировании и функционировании NLRP3-инфламмасом, таких как *CASP-1* [2; 4]. Наличие полиморфизмов, ассоциированных с гиперэкспрессией основных медиаторов воспаления при ГЛПС (*IL-6*, *CASP1*, *CCL5*), может потенцировать повреждение тканей, главным образом в почках, печени и ЦНС [2; 7]. Ранее нами были получены данные о корреляциях ряда ОНП в генах воспалительных цитокинов с некоторыми клиническими проявлениями у пациентов с ГЛПС. В частности, была обнаружена корреляция между геном *CCL5* (rs2107538) и с гиперактивным воспалением, вовлечением ЖКТ и ЦНС в патогенез ГЛПС. Кроме того, ОНП в гене *IL-6* (rs1800796) коррелировал с повреждением почек, системным воспалением и лихорадкой, а гена *TLR3* (rs5743305) – с печеночной дисфункцией. Так же, варианты гена *TNF-α* (rs1799724 C, rs361525 G, rs1800629 G) ассоциировались с модуляцией продукции цитокинов, тяжёлым течением заболевания [7; 9]. В данной работе было проведено генотипирование пациентов с установленным диагнозом ГЛПС и в контрольной группе по двум ОНП в генах пути NLRP3-инфламмасом, как первый этап исследования корреляций между ОНП в генах раннего иммунного ответа и клинико-биохимическими показателями у больных ГЛПС.

Суммарную ДНК выделяли из крови 160 пациентов с ГЛПС и 70 лиц контрольной группы с помощью набора ExtractDNA Blood & Cells (Евроген, РФ) по методике производителя. Однонуклеотидные полиморфизмы (ОНП) выявляли методом АС-ПЦР (аллель-специфической полимеразной цепной реакции). Амплификацию выполняли на термоциклере C1000 Thermo Cycler (Bio-Rad, США) по программам ПЦР, оптимизированным для каждого ОНП. Продукты амплификации разделяли в 1,5% агарозном геле и окрашивали бромистым этидием. Результаты визуализировали с помощью системы GelDoc XR + (Bio-Rad, США).

В контрольной группе частота аллеля С по ОНП в гене *CASP1* составила 0,791 (79,1%), а аллеля Т – 0,208 (20,8%), что несущественно отличается от частот этих аллелей в европейской популяции: С = 0,8301 (83,01%), Т = 0,1699 (16,99%) (рис. 1).

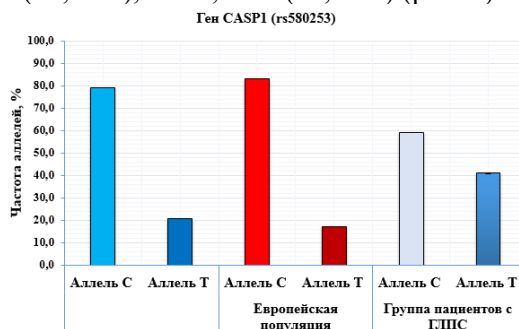


Рис. 1. Частота аллелей по ОНП rs580253 в гене *CASP1*

В то же время в группе пациентов с ГЛПС частота аллеля С равнялась 0,591 (59,1%), а аллеля Т – 0,409 (40,9%). Частоты генотипов в контрольной группе равнялись: СС – 62,25%, СТ – 33,82%, ТТ – 3,92%, а в группе пациентов с ГЛПС: СС – 40,50%, СТ – 37,19%, ТТ – 22,31% (рис. 2). Распределение генотипов в контрольной группе соответствовало равновесию Харди-Вайнберга ($\chi^2 = 0,13$), в то время как у больных ГЛПС выявлено статистически значимое отклонение от ожидаемого равновесия ($\chi^2 = 6,44$).

Полученные данные позволяют предположить существование ассоциации аллеля Т с активностью иммунного ответа у больных ГЛПС. Известно, что ген *CASP1* кодирует каспазу 1 – центральный компонент инфламмасом, который активирует гены интерлейкинов *IL-1 β* и *IL-18* и запускает механизм иммунного ответа на инфицирование вирусами, поэтому наличие варианта Т может способствовать избыточной экспрессии этого гена и, как следствие, развитию «цитокинового шторма» – реакции, характерной для выраженного системного воспаления и органических повреждений при ортохантавирусной инфекции [1; 7; 9]. Таким образом, ОНП rs580253 в гене *CASP1* может служить потенциальным прогностическим маркером и объектом для поиска корреляций между генотипом пациентов и клинико-биохимическими показателями при ГЛПС на следующем этапе исследований.

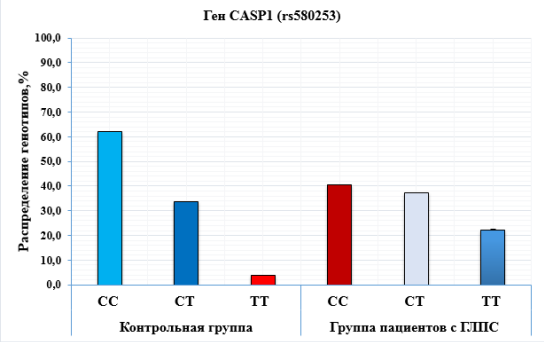


Рис. 2. Распределение генотипов по ОНП rs580253 в гене CASP1

Для ОНП rs1800795 в гене *IL-6* частота аллеля С в контрольной группе равнялась 43,6%, а аллеля G – 56,4%. В Европейской популяции частота аллелей гена составила: 44% и 55% для аллелей С и G соответственно, в то время как в группе пациентов с ГЛПС частота аллеля С равнялась 31,7%, а аллеля G – 68,3%.

Частота генотипов поэтому ОНП в гене *IL-6* в контрольной группе составила: СС – 19,26%, CG – 48,77%, GG – 31,97%, а в группе пациентов с ГЛПС СС – 16,26%, CG – 30,89%, GG – 52,85% (табл. 1). Распределение генотипов в контрольной группе полностью соответствовало равновесию Харди-Вайнберга ($\chi^2 = 0,02$), тогда как у пациентов с ГЛПС отмечено статистически значимое отклонение от ожидаемых частот ($\chi^2 = 10,11$).

Таблица 1

Частоты аллелей и генотипов по ОНП rs1800795 в гене *IL-6*

Частота аллелей гена IL-6 (rs1800795),%					
		Европейская популяция		Группа пациентов с ГЛПС	
Алель С	Алель G	Алель С	Алель G	Алель С	Алель G
43,6	56,4	44	55	31,7	68,3
Распределение генотипов для гена IL-6 (rs1800795),%					
Контрольная группа			Группа пациентов с ГЛПС		
Генотип СС	Генотип CG	Генотип GG	Генотип СС	Генотип CG	Генотип GG
19,26	48,77	31,97	16,26	30,89	52,85

Полученные данные свидетельствуют о статистически значимой разнице в частотах аллеля G и генотипа GG у больных ГЛПС по сравнению со здоровыми лицами. Аллель G традиционно ассоциирован с повышенной транскрипционной активностью гена *IL-6* (rs1800795) и гиперпродукцией провоспалительного интерлейкина-6, что может способствовать более выраженному системному воспалению, лихорадке, наблюдаемой при тяжёлом течении ГЛПС. Таким образом, носительство аллеля G можно рассматривать как фактор риска неблагоприятного клинического исхода при ГЛПС.

Таким образом, выявленные отклонения от закона Харди – Вайнберга в частотах генотипов по исследованным ОНП в генах *CASP1* и *IL-6* у больных ГЛПС могут быть связаны с активностью иммунного ответа на вирусную инфекцию. Это позволяет использовать данные ОНП в качестве объектов для поиска корреляций между генотипом пациентов с ГЛПС и клинико-биохимическими показателями заболевания на следующем этапе исследований.

Список литературы

1. Cytokine storm combined with humoral immune response defect in fatal hemorrhagic fever with renal syndrome case, Tatarstan, Russia / E. Garanina, E. Martynova, Y. Davidyuk [et al.] // *Viruses*. – 2019. – Vol. 11, No. 7. – P. 601. DOI:10.3390/v11070601. EDN RJDEIB
2. ΔCCR5 Genotype Is Associated with Mild Form of Nephropathia Epidemica / K. Kletenkov, E. Martynova, Y. Davidyuk [et al.] // *Viruses*. – 2019. – Vol. 11, No. 7. – P. 675. DOI: 10.3390/v11070675. EDN HQURIS
3. Immunogenetics of hantavirus infections: current knowledge and future perspectives / J. Mustonen, N.P. Huttunen, T. Partanen [et al.] // *Reviews in Medical Virology*. – 2020. – Vol. 30, No. 5. – e2121. DOI: 10.1002/rmv.2121
4. Shaw P.J. Inflammasomes and autoimmunity / P.J. Shaw, M.F. McDermott, T.D. Kanneganti // *Trends Mol Med*. – 2011. – Vol. 17, No. 2. – P. 576–4. DOI: 10.1016/j.molmed.2010.11.001
5. Heterozygous TLR3 mutation in a patient with hantavirus encephalitis / T. Partanen, J. Chen, J. Lehtonen [et al.] // *Journal of Clinical Virology*. – 2020. – Vol. 125. – Art. 104306. DOI: 10.1016/j.jcv.2020.104306
6. Hantaan virus infection induces CXCL10 expression through TLR3-mediated RIG-I signaling / Y. Zhang, B. Liu, Y. Ma [et al.] // *PLoS ONE*. – 2014. – Vol. 9, No. 7. – e102970. DOI: 10.1371/journal.pone.0102970
7. Молекулярно-генетическая характеристика гемостаза пациентов при геморрагической лихорадке с почечным синдромом / К.М. Манахов, Д.С. Сарксян, М.В. Дударев [и др.] // *Казанский медицинский журнал*. – 2020. – Т. 101, №6. – С. 812–819. DOI 10.17816/KMJ2020-812. EDN UMNWNC
8. Хантавирусные болезни: обзор эпидемиологической ситуации в мире. Анализ эпидемиологической ситуации по геморрагической лихорадке с почечным синдромом в Российской Федерации в 2023 г. и прогноз на 2024 г. / Т.А. Савицкая, А.В. Иванова, А.А. Зубова [и др.] // *Проблемы особо опасных инфекций*. – 2023. – №1. – С. 113–124.
9. Генетические факторы, определяющие индивидуальные особенности течения геморрагической лихорадки с почечным синдромом / Е.А. Тюгаева, В.И. Корчагин, К.О. Миронов, А.Е. Платонов // *Эпидемиология и вакцинопрофилактика*. – 2019. – Т. 18, №2. – С. 113–122. DOI 10.31631/2073-3046-2019-18-2-113-122. EDN VZMNMU
10. Прогностическая значимость полиморфизма генов ферментов детоксикации у больных геморрагической лихорадкой с почечным синдромом / Г.М. Хасанова, А.В. Тутельян, Д.А. Валишин, А.Н. Хасанова // *Журнал инфектологии*. – 2016. – Т. 8, №1. – С. 737–8. EDN VTNSLR

БИОМЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Альшабан Диана Лозевна

студентка

Еникеев Анатолий Анатольевич

канд. филос. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
аграрный университет им. И.Т. Трубилина»
г. Краснодар, Краснодарский край

АВТОНОМНЫЕ РОБОТЫ ПО УХОДУ НА ФЕРМЕ: ЭТИКА ЗАМЕЩЕНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ТРУДА

Аннотация: статья посвящена анализу внедрения автономных роботизированных систем по уходу за животными в современном сельском хозяйстве с акцентом на этические и ветеринарные аспекты замещения человеческого труда. Рассматриваются технологические предпосылки развития агроробототехники, связанные с дефицитом рабочей силы, ростом требований к ветеринарной безопасности и необходимостью повышения устойчивости производственных процессов. В работе делается вывод о том, что автономные роботы выступают инструментом структурного изменения аграрного труда, а не его прямого вытеснения.

Ключевые слова: агроробототехника, животноводство, ветеринарный контроль, автоматизация труда, автономные системы.

Современное сельское хозяйство переживает этап глубокой технологической перестройки, в центре которой находится переход от механизированных к автономным системам производства. Наиболее наглядно этот процесс проявляется в животноводстве, где автономные роботы по уходу за животными – доильные установки, кормовые станции, системы мониторинга здоровья и микроклимата – перестают быть экспериментальными решениями и постепенно входят в стандартную производственную практику. Их внедрение обусловлено не только ростом технических возможностей, но и совокупностью структурных проблем аграрного сектора: хроническим дефицитом рабочей силы, высокой физической нагрузкой на персонал, усилением ветеринарных и санитарных требований, а также необходимостью повышения устойчивости и предсказуемости производственных процессов.

Одновременно с технологическими преимуществами роботизация затрагивает более сложный пласт вопросов, выходящих за рамки инженерного и экономического анализа. Автономные системы начинают выполнять функции, традиционно связанные с постоянным присутствием человека и его профессиональным суждением, что меняет характер труда на ферме и ставит вопрос о допустимых границах его замещения.

В этой связи автономные роботы следует рассматривать не как нейтральный инструмент повышения эффективности, а как фактор, трансформирующий социальную, профессиональную и ценностную структуру аграрного труда. Настоящая статья направлена на выявление этических аспектов замещения человеческого труда автономными роботами по уходу на ферме с учётом их влияния на систему ветеринарного контроля и организацию сельскохозяйственного производства.

Современные роботизированные системы в животноводстве включают доильные установки, автоматические кормораздатчики, мобильные платформы для уборки навоза, системы мониторинга поведения и состояния животных, а также элементы интеллектуального управления микроклиматом помещений. Их ключевая особенность заключается в способности работать непрерывно, с высокой повторяемостью операций и минимальной зависимостью от человеческого фактора, что позволяет снижать трудозатраты и производственные риски [1; 3; 5].

По данным современных аналитических обзоров, наибольшая доля внедрения сельскохозяйственных роботов приходится на животноводство, прежде всего на молочные фермы, где автоматизация технологического цикла демонстрирует наибольшую экономическую и ветеринарную эффективность. Как видно из данных, представленных в таблице 1, роботизированные решения в животноводстве значительно опережают другие отрасли аграрного производства по масштабам применения [3; 6].

Таблица 1

Распределение сельскохозяйственных роботов по отраслям аграрного производства

Отрасль сельского хозяйства	Доля роботизированных систем, %	Основные направления применения
Животноводство	55	Доеение, кормление, мониторинг здоровья, уборка помещений
Растениеводство	30	Посев, прополка, мониторинг посевов, сбор урожая
Птицеводство	15	Кормление, контроль микроклимата, сбор яиц

Использование таких систем меняет структуру фермерского труда: оператор и ветеринарный специалист всё чаще выполняют функции контроля, настройки и интерпретации данных, а не непосредственного физического обслуживания животных. При этом возрастает значение клинического мышления и профессионального суждения, поскольку цифровые показатели сами по себе не подменяют диагностику, а требуют сопоставления с физиологическими нормами, условиями содержания и индивидуальными особенностями животных. Таким образом, автоматизация перераспределяет ответственность внутри производственного процесса, смещая её от ручного труда к аналитическому и экспертному уровню.

Современные роботизированные комплексы оснащаются датчиками активности, температуры, потребления корма и воды, параметров доения, что делает возможным раннее выявление заболеваний, стрессовых состояний и отклонений в поведении стада. Практика эксплуатации доильных роботов показывает, что автоматический сбор данных позволяет выявлять признаки мастита и метаболических нарушений на ранних стадиях – ещё до появления клинических симптомов. Однако диагностическая ценность таких сигналов реализуется только при участии ветеринарного специалиста, который соотносит цифровые индикаторы с клинической картиной, условиями содержания и динамикой состояния животного. В этом смысле технологии выступают не альтернативой ветеринарной практике, а её инструментальным расширением, способствующим снижению медикаментозной нагрузки и повышению общего уровня благополучия поголовья [3; 4].

Расширение цифрового ветеринарного контроля неизбежно отражается и на характере взаимодействия человека с животными. По мере того как часть наблюдательных и рутинных функций передаётся автономным системам, меняется не только организация труда, но и форма ответственности за состояние живых организмов. Этот сдвиг требует осмысления не только с позиций эффективности и биобезопасности, но и в более широком этическом контексте, связанном с допустимыми границами автоматизации ухода.

В результате проведённого анализа установлено, что автономные роботы по уходу за животными являются устойчивым и структурно значимым элементом современного аграрного производства, а не временным технологическим экспериментом. Их внедрение объективно обусловлено кадровым дефицитом, ростом требований к ветеринарной безопасности и необходимостью повышения стабильности производственных процессов. Роботизированные системы демонстрируют способность обеспечивать непрерывный контроль состояния животных, повышать точность профилактики заболеваний и снижать уровень стрессовой нагрузки, что подтверждает их положительное влияние на показатели здоровья и благополучия поголовья.

Выявлено, что роботизация не устраняет человека из системы ухода, а перераспределяет его функции, смещая акцент с физического труда на аналитический, управленческий и контрольный уровни. Ветеринарная деятельность в условиях автоматизации приобретает более превентивный и системный характер, опирающийся на обработку потоков данных и раннее выявление отклонений. При этом возрастает значение профессиональной интерпретации информации, клинического опыта и ответственности специалиста за итоговое решение. Такая трансформация усиливает роль ветеринарии как ключевого элемента устойчивого животноводства, а не вспомогательной функции технологического процесса.

Этический анализ показал, что проблема замещения человеческого труда автономными системами не носит абсолютного характера и не сводится к утрате профессиональной роли. Ключевым фактором остаётся сохранение ответственности человека за проектирование, настройку и эксплуатацию роботизированных комплексов. Именно эта ответственность определяет допустимые границы автономности и гуманность технологий ухода.

Список литературы

1. Егоров И.А. Современные технологии автоматизации и роботизации процессов аграрного производства / И.А. Егоров, Н.С. Шипулин, С.Н. Косников // Региональная и отраслевая экономика. – 2023. – №2. – С. 8–17. DOI 10.47576/2949-1916_2023_2_8. EDN FCTJPK
2. Орешников И.М. Философские размышления о проблеме искусственного интеллекта / И.М. Орешников, Т.И. Шкерица // История и педагогика естествознания. – 2017. – №4. – С. 5–11. EDN XOSUBF
3. Плаксин И.Е. Анализ применения автоматизированных и роботизированных комплексов в сельском хозяйстве / И.Е. Плаксин, А.В. Трифанов, С.И. Плаксин // АгроЭкоИнженерия. – 2018. – №4 (97). – С. 73–83. DOI 10.24411/0131-5226-2018-10091. EDN VNRJRC
4. Скворцов Е.А. Сельскохозяйственные роботы в системе воспроизводственных процессов / Е.А. Скворцов // Аграрный вестник Урала. – 2015. – №3 (133). – С. 89–93. EDN TYCLRL
5. Шаныгин С.В. Роботы как средство механизации сельского хозяйства / С.В. Шаныгин // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2013. – №3. – С. 39–42. EDN PYMCKV
6. Шевченко А.В. Обзор состояния мирового рынка робототехники для сельского хозяйства. Ч. 1. Беспилотная агротехника / А.В. Шевченко, Р.В. Мещеряков, А.Н. Мигачев // Проблемы управления. – 2019. – №5. – С. 3–18. DOI 10.25728/ru.2019.5.1. EDN PHNLZV

Григорьян Леонтий Рустемович

канд. физ.-мат. наук, преподаватель

Рефатов Эдем Акимович

бакалавр, студент

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»

г. Краснодар, Краснодарский край

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ ФИЗИОТЕРАПЕВТИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА БИОСИГНАЛОВ

Аннотация: в статье рассмотрены возможности применения технологий искусственного интеллекта в системах физиотерапевтической реабилитации. Проведён анализ принципов построения интеллектуальной обратной связи на основе обработки биосигналов пациента. Рассмотрены основные этапы анализа физиологических данных, механизмы адаптации терапевтической нагрузки и перспективы использования алгоритмов машинного обучения для персонализации реабилитационного процесса.

Ключевые слова: искусственный интеллект, физиотерапия, медицинская реабилитация.

Современная реабилитационная медицина всё больше ориентируется на использование цифровых технологий, позволяющих объективно оценивать состояние пациента и повышать эффективность восстановительных мероприятий. Традиционные методы физиотерапии в

значительной степени зависят от опыта специалиста и субъективной оценки качества выполнения упражнений. Вместе с тем развитие сенсорных технологий, вычислительных систем и методов искусственного интеллекта открывает новые возможности для автоматизированного анализа физиологических параметров и формирования адаптивной обратной связи [1; 2].

Особое значение в современных системах реабилитации приобретают технологии биологической обратной связи, позволяющие пациенту получать информацию о собственном физиологическом состоянии в режиме реального времени. В качестве источников данных могут использоваться электромиографические сигналы, показатели сердечно-сосудистой системы, параметры двигательной активности, данные акселерометров и других сенсорных устройств. Использование подобных данных позволяет не только контролировать правильность выполнения упражнений, но и своевременно корректировать нагрузку в зависимости от состояния пациента [3; 4].

Целью исследования является рассмотрение принципов функционирования интеллектуальных систем обратной связи в физиотерапии, основанных на применении методов искусственного интеллекта для обработки биосигналов, а также оценка перспектив их использования в задачах персонализированной медицинской реабилитации.

Развитие методов искусственного интеллекта существенно расширило возможности анализа биосигналов. Современные алгоритмы машинного обучения способны выявлять сложные закономерности в физиологических данных, классифицировать двигательные паттерны и прогнозировать эффективность реабилитационных мероприятий. Благодаря этому становится возможным создание интеллектуальных систем физиотерапии, обеспечивающих персонализированный подход к лечению [5; 6].

Принцип работы интеллектуальной системы обратной связи включает несколько последовательных этапов. На первом этапе осуществляется регистрация физиологических сигналов с помощью сенсорных устройств. Далее выполняется предварительная обработка данных, включающая фильтрацию шумов, нормализацию и выделение информативных признаков. После этого данные поступают в модуль искусственного интеллекта, где производится анализ состояния пациента и оценка качества выполнения упражнений [5; 6].

На основании результатов анализа система формирует корректирующее воздействие. Обратная связь может быть представлена в визуальной, звуковой или тактильной форме. При использовании роботизированных тренажёров возможна автоматическая коррекция параметров нагрузки и траектории движения. Такой подход позволяет повысить эффективность тренировочного процесса и минимизировать риск возникновения ошибок при выполнении упражнений [6; 7].

Одним из основных преимуществ применения искусственного интеллекта является возможность персонализации реабилитационных программ. Алгоритмы способны учитывать возраст пациента, характер заболевания, уровень двигательной активности и скорость восстановления. По мере накопления новых данных система уточняет параметры модели и адаптирует программу лечения к текущему состоянию пациента [6; 8].

На рисунке 1 представлена обобщённая структура интеллектуальной системы физиотерапевтической обратной связи.

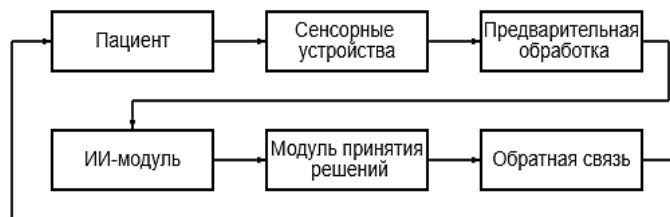


Рис. 1. Структурная схема интеллектуальной системы физиотерапевтической реабилитации

Дополнительным преимуществом является возможность прогнозирования результатов реабилитации. Анализ временных рядов физиологических данных позволяет выявлять тенденции изменения состояния пациента и своевременно предупреждать возникновение перегрузок или осложнений. Это особенно актуально при длительном восстановлении после инсульта, травм опорно-двигательного аппарата и нейродегенеративных заболеваний [7].

Экономическая эффективность является важным критерием внедрения новых медицинских технологий.

Для расчёта использовались следующие показатели:

- количество пациентов за 8-часовую смену, ~5 пациентов в час – 40;
- количество пациентов в месяц (22 рабочих дня) – 880;
- среднее время анализа пациента врачом – 15 минут;
- время анализа при использовании ИИ – 2 минуты.

Экономия времени на одного пациента составляет:

$$15 - 2 = 13 \text{ минут.}$$

Для 880 пациентов:

$$13 \times 880 = 11\,440 \text{ минут.}$$

$$11\,440 \text{ минут} = \sim 190,7 \text{ часов рабочего времени ежемесячно}$$

Несмотря на значительные преимущества, внедрение интеллектуальных систем в физиотерапию связано с рядом ограничений. К ним относятся необходимость использования специализированного оборудования, высокая стоимость некоторых решений, зависимость качества работы алгоритмов от объёма обучающих данных, а также вопросы защиты персональной медицинской информации [2].

Заключение.

Применение искусственного интеллекта в системах физиотерапевтической обратной связи является перспективным направлением развития современной медицинской техники. Использование интеллектуального анализа биосигналов позволяет повысить объективность оценки состояния пациента, обеспечить персонализацию терапии и увеличить эффективность реабилитационного процесса. Дальнейшее развитие систем связано с совершенствованием методов машинного обучения, внедрением технологий объяснимого искусственного интеллекта и интеграцией интеллектуальных платформ в телемедицинские сервисы.

References

1. Topol E. Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again. – New York: Basic Books, 2019.
2. WHO. Ethics and Governance of Artificial Intelligence for Health. – Geneva: World Health Organization, 2021.
3. Patel S., Park H., Bonato P., Chan L., Rodgers M. A Review of Wearable Sensors and Systems with Application in Rehabilitation // Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. – 2012. – Vol. 9. – Article 21.
4. Kristoffersson A., Lindén M. A Systematic Review of Wearable Sensors for Monitoring Physical Activity // Sensors. – 2022. – Vol. 22(2). – Article 573.
5. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. – Cambridge: MIT Press, 2016.
6. Sumner J., Lim H.W., Chong L.S., Bunde A., Mukhopadhyay A., Kayambu G. Artificial Intelligence in Physical Rehabilitation: A Systematic Review // Artificial Intelligence in Medicine. – 2023. – Vol. 146. – Article 102693. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2023.102693>. EDN: VVGXNQ
7. Boukhennoufa I., Zhai X., Utti V., Jackson J., McDonald-Maier K. Wearable Sensors and Machine Learning in Post-Stroke Rehabilitation Assessment: A Systematic Review // Biomedical Signal Processing and Control. – 2022. – Vol. 71. – Article 103197. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.103197>. EDN: KXBFRB

Елбоева Полина Игоревна

аспирант, младший научный сотрудник
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
г. Казань, Республика Татарстан

Андреева Наталья Юрьевна

аспирант, младший научный сотрудник
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
г. Казань, Республика Татарстан

Степанкова Дарья Андреевна

аспирант, младший научный сотрудник
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
г. Казань, Республика Татарстан

Баталин Алексей Денисович

студент
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
г. Казань, Республика Татарстан

Мартынова Екатерина Владимировна

канд. мед. наук, ведущий научный сотрудник
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
г. Казань, Республика Татарстан

Кабве Эммануэль

канд. биол. наук, старший научный сотрудник
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
г. Казань, Республика Татарстан

Давидюк Юрий Николаевич

канд. биол. наук, доцент, старший научный сотрудник
Научно-клинический центр прецизионной и регенеративной медицины
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
г. Казань, Республика Татарстан

ведущий научный сотрудник
Научно-исследовательский центр фундаментальных
и прикладных проблем биоэкологии и биотехнологии

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный
педагогический университет им. И.Н. Ульянова»
г. Ульяновск, Ульяновская область

Хайбуллина Светлана Францевна

д-р мед. наук, главный научный сотрудник
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
г. Казань, Республика Татарстан

DOI 10.31483/r-167194

МУЛЬТИЭПИТОПНЫЕ ВАКЦИНЫ ПРОТИВ ИНФЕКЦИОННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ: КОНЦЕПЦИЯ И ДИЗАЙН ВАКЦИННОЙ КОНСТРУКЦИИ IN SILICO

Аннотация: мультиэпитопные вакцины представляют собой перспективный инструмент профилактики вирусных инфекций, способный индуцировать комплексный гуморальный и клеточный иммунный ответ. В статье рассмотрены современные подходы к проектированию *in silico* химерных вакцинных конструкций: критерии отбора эпитопов, методы прогнозирования перспективных Т- и В-клеточных эпитопов, выбор линкеров и адъювантов, структурное моделирование, молекулярный докинг и симуляция иммунного ответа. Интеграция иммуноинформатических методов и молекулярного моделирования существенно ускоряет разработку вакцинных кандидатов и повышает точность прогнозирования до начала экспериментальной проверки.

Ключевые слова: мультиэпитопные вакцины, иммунноинформатика, эпитопы, молекулярный докинг, структурное моделирование, дизайн *in silico*.

Работа выполнена в рамках Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета (Приоритет 2030).

Разработка мультиэпитопных вакцин признана перспективной стратегией создания безопасных средств профилактики инфекционных заболеваний. Уникальный потенциал мультиэпитопных вакцинных конструкций обусловлен возможностью объединять в единой химерной конструкции множественные иммунодоминантные эпитопы, обеспечивая активацию как гуморального, так и клеточного иммунитета [17]. Ключевым этапом дизайна мультиэпитопных вакцинных конструкций является анализ *in silico*, позволяющий отбирать оптимальные эпитопы, проектировать стабильные конструкции и прогнозировать их взаимодействие с иммунной системой [2].

У вирусных патогенов в качестве мишеней для иммунной системы, как правило, выступают поверхностные белки, обеспечивающие связывание с клеточными рецепторами. Эффективность иммунного ответа на мультиэпитопные вакцины напрямую зависит от правильного выбора эпитопов по следующим ключевым критериям [2; 3]:

1) иммуногенность. Т-клеточные эпитопы должны стимулировать цитотоксические CD8⁺ Т-лимфоциты и/или CD4⁺ Т-хелперы. Для их предсказания применяется раздел NetMHCpan, входящий в IEDB Analysis Resource [18]. В-клеточные эпитопы, которые дифференцируются на линейные и конформационные, обеспечивают продукцию антител; линейные эпитопы предсказываются с помощью инструментов ABCpred и BepiPred-2.0, а конформационные – с помощью ElliPro и DiscoTope [2];

2) консервативность. Отбор высококонсервативных вирусных эпитопов повышает вероятность перекрёстной защиты между близкородственными патогенами. Анализ проводится методом множественного выравнивания последовательностей, например, с помощью программы MEGA X [7], и с использованием баз данных аминокислотных последовательностей геномов [12; 14];

3) безопасность. Эпитопы должны обладать минимальным аллергенным и токсическим потенциалом. Для оценки применяются инструменты ToxinPred и AllerTop, а также проводится анализ гомологии с белками хозяина для снижения риска аутоиммунных реакций [2];

4) поверхностная доступность. Эпитоп должен быть доступен для взаимодействия с иммунной системой. Для оценки применяются методы трёхмерного моделирования (AlphaFold2, I-TASSER, PEP-FOLD3.0), анализ RSA (NetSurfP-3.0, порог RSA > 0,25) и расчёт доступных сайтов (CASTp) [5; 9; 16; 18];

5) популяционное покрытие. При отборе эпитопов необходимо учитывать их способность связываться с широким спектром аллелей главного комплекса гистосовместимости (МНС) I и II классов. Для расчёта популяционного охвата используется инструмент IEDB Population Coverage [1; 18];

6) релевантность и перекрёстная реактивность. Предпочтение отдаётся эпитопам, локализованным в функционально значимых участках вирусных белков, отвечающих за рецепторное связывание, мембранное слияние. Перекрёстная реактивность оценивается с помощью IEDB Epitope Cluster Analysis и филогенетического анализа (MEGA X, IQ-TREE), что особенно важно для ортохантавирусов, коронавирусов и филовирuсов [7; 18].

После отбора эпитопов следующим этапом является их рациональная организация в единую химерную конструкцию. Ключевую роль при этом играет выбор линкерных последовательностей – коротких аминокислотных мотивов, разделяющих эпитопы и структурные домены. Выбор линкеров определяет пространственную организацию, стабильность, эффективность антигенного процессинга и иммуногенные свойства белка [3; 9].

Гибкие линкеры (GGGGS, GP GPG, GGS, GSGSGS) обеспечивают конформационную подвижность эпитопов, повышают растворимость конструкции и снижают вероятность

агрегации. Применяются преимущественно для разделения конформационно чувствительных В-клеточных и коротких Т-клеточных эпитопов [1].

Жёсткие линкеры (EAAAK, PAPAP) формируют стабильные α -спиральные структуры, фиксируют пространственное расположение доменов и снижают нежелательные межэпитопные взаимодействия. Используются для разделения крупных функциональных модулей, включая адьювантные домены [1, 3].

Расщепляемые линкеры (AAV, KK, RVRR) содержат мотивы, распознаваемые протеасомами, что обеспечивает корректный протеолитический процессинг и снижает вероятность формирования нежелательных нефункциональных эпитопов. Применяются между CD8⁺ Т-клеточными эпитопами для оптимизации презентации через молекулы МНС I класса [3].

Короткие пептидные эпитопы нередко обладают ограниченной иммуногенностью вследствие низкой способности активировать врождённый иммунитет. В связи с этим в состав мультиепитопных вакцинных конструкций часто включают адьювантные молекулы, усиливающие активацию антиген-презентирующих клеток и формирование адаптивного иммунного ответа. Адьюванты, как правило, интегрируются на N-конце конструкции с использованием жёстких линкеров EAAAK [3]. Наиболее широко в качестве адьювантов используются агонисты Toll-подобных рецепторов (TLR). Агонисты TLR3, TLR7/8 и TLR9 имитируют вирусные нуклеиновые кислоты, активируя интерфероновый ответ и усиливая противовирусный иммунитет, что особенно актуально для разработки вакцин против РНК-вирусов [3; 12]. Например, β -дефензин человека взаимодействует с TLR1, TLR2 и TLR4, индуцируя продукцию провоспалительных цитокинов и активацию дендритных клеток [3]. Другой адьювант флагеллин, агонист TLR5, активирует NF- κ B-зависимые сигнальные пути, стимулирует созревание дендритных клеток и продукцию IL-6, TNF- α [3], а белки теплового шока (HSP70, HSP90) повышают эффективность захвата антигенов, усиливают кросс-презентацию и активацию цитотоксических Т-лимфоцитов [3]. Кроме того, иногда используется синтетический пептидный адьювант PADRE (Pan HLA-DR-binding epitope) – универсальный Т-хелперный эпитоп, связывающийся с широким спектром HLA-DR-аллелей, – который позволяет преодолевать ограничения HLA-полиморфизма и повышать популяционный охват [12].

После сборки аминокислотной последовательности вакцины, моделирование её трёхмерной структуры осуществляется с помощью инструментов AlphaFold2, I-TASSER или trRosetta. Полученные модели визуализируются с помощью программ PyMOL или UCSF Chimera для анализа пространственной ориентации эпитопов [4; 5; 12].

Для оценки стереохимического качества модели используется карта Рамачандрана (PROCHECK), по критериям которой качественная модель характеризуется наличием более 90% остатков в разрешённых областях. Энергетическая стабильность структуры (Z-оценка) оценивается с помощью инструмента ProSA-web, а ERRAT применяется для выявления аномалий межатомных взаимодействий (приемлемый показатель качества – выше 80–90%) [11; 12]. Расчёт относительной доступности растворителю (RSA) с помощью инструмента NetSurfP-3.0 позволяет оценить поверхностную экспозицию ключевых эпитопов [6], а конформационная гибкость белка анализируется с помощью CABS-flex 2.0 [8].

Проводимый на следующем этапе молекулярный докинг позволяет оценить способность вакцинной конструкции взаимодействовать с иммунными рецепторами (например, рецепторами из рода TLR) и прогнозировать аффинность и стабильность этих взаимодействий до начала экспериментальной валидации [13]. Необходимая для этого подготовка структур антигена и рецептора включает удаление воды, ионов и лигандов с помощью UCSF Chimera. Для молекул TLR4, TLR7/8 формируются координаты GridBox, ограничивающие область поиска [13]. Применяются два основных подхода: жёсткий докинг (фиксированные структуры) и гибкий докинг (учёт подвижности боковых цепей – AutoDockFR, Schrödinger Glide-Flex), который более точно описывает взаимодействия пептид-TLR [14].

Для подтверждения стабильности комплексов вакцинная конструкция -рецептор применяется молекулярно-динамическое моделирование (инструменты GROMACS, NAMD, AMBER). Данный подход является стандартом при исследовании вакцинных конструкций против норовируса, SARS-CoV-2 и вируса Денге [10, 13, 15]. Моделирование иммунного ответа позволяет прогнозировать эффективность вакцинной конструкции до начала экспериментов *in vitro* и *in vivo*. Наиболее широко применяются инструменты C-ImmSim и UISS [16].

C-ImmSim моделирует молекулярные процессы адаптивного и врождённого иммунитета: динамику антител (IgM, IgG1/IgG2), дифференцировку плазматических клеток, активацию CD4⁺ и CD8⁺ Т-клеток, продукцию цитокинов. Применение C-ImmSim для мультиэпитопных конструкций показано в работах по коронавирусам и другим вирусным патогенам [17].

UISS представляет собой платформу, моделирующую как врождённый (TLR-сигнальные пути, активность макрофагов, нейтрофилов, дендритных клеток), так и адаптивный иммунитет (клональная экспансия Т- и В-клеток, продукция цитокинов). Платформа применяется для прогнозирования схем вакцинации, эффективности Т-клеточного ответа, риска гиперцитотокемии и популяционного охвата [16; 18].

Таким образом, комплексный подход *in silico* к дизайну мультиэпитопных вакцин включает последовательные этапы: идентификацию антигенов и отбор эпитопов по критериям иммуногенности, консервативности, безопасности и популяционного покрытия; сборку конструкции с использованием линкеров и адъювантов; структурное моделирование и валидацию; молекулярный докинг и симуляцию иммунного ответа. Интеграция иммуноинформатических методов, молекулярного моделирования и биоинформатических платформ позволяет существенно ускорить разработку вакцинных кандидатов и повысить точность прогнозирования иммунного ответа, снижая ресурсные затраты до начала экспериментальной проверки.

References

1. Design of the linkers which effectively separate domains of a bifunctional fusion protein / R. Arai, H. Ueda, A. Kitayama [et al.] // Protein Engineering. – 2001. – Vol. 14, No. 8. – P. 529–532. EDN: IVXQCJ
2. Design, Development and Immunogenicity Study of a Multi-Epitope Vaccine Prototype Against SARS-CoV-2 / M. Atanasova, I. Dimitrov, N. Ralchev [et al.] // Pharmaceuticals. – 2024. – Vol. 17, No. 11. – P. 1498. <https://doi.org/10.3390/ph17111498>. EDN: NMDMBE
3. Chen X. Fusion protein linkers: property, design and functionality / X. Chen, J.L. Zaro, W.C. Shen // Advanced Drug Delivery Reviews. – 2013. – Vol. 65, No. 10. – P. 1357–1369.
4. DeLano W. L. PyMOL User's Guide / W. L. DeLano. – San Francisco: DeLano Scientific LLC, 2004.
5. Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold / J. Jumper, R. Evans, A. Pritzel [et al.] // Nature. – 2021. – Vol. 596, No. 7873. – P. 583–589. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03819-2>. EDN: GEXUCN
6. NetSurfP-2.0: Improved prediction of protein structural features by integrated deep learning / M.S. Klausen, M.C. Jespersen, H. Nielsen [et al.] // Proteins. – 2019. – V. 87, No. 6. – P. 520–527.
7. MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across Computing Platforms / S. Kumar, G. Stecher, M. Li [et al.] // Mol. Biol. Evol. – 2018. – Vol. 35, No. 6. – P. 1547–1549.
8. CABS-flex 2.0: a web server for fast simulations of flexibility of protein structures / A. Kuriata, A. M. Gierut, T. Oleniecki [et al.] // Nucl. Acids Res. – 2018. – Vol. 46, W1. – P. W338-W343.
9. PEP-FOLD3: faster de novo structure prediction for linear peptides in solution and in complex / A. Lamiable, P. Thévenet, J. Rey [et al.] // Nucl. Acids Res. – 2016. – Vol. 44, W1. – P. W449-W454.
10. Mohammadipour, S. Designing a multi-epitope universal vaccine for concurrent infections of SARS-CoV-2 and influenza viruses using an immunoinformatics approach / S. Mohammadipour, H. Tavakkoli, S.N. Fatemi [et al.] // BMC Inf. Dis. – 2025. – Vol. 25. – P. 688. <https://doi.org/10.1186/s12879-025-11066-3>. EDN: XNCIFS
11. Ong Y.C. An Immunoinformatic Approach for Identifying and Designing Conserved Multi-Epitope Vaccines for Coronaviruses / Y.C. Ong, B.A. Tejo, W. B. Yap // Biomedicines. – 2024. – V. 12, No. 11. – P. 2530. <https://doi.org/10.3390/biomedicines12112530>. EDN: VZOZEH
12. Integrated in-silico design and in vivo validation of multi-epitope vaccines for norovirus / J. Qiu, Y. Wei, J. Shu [et al.] // Virol. J. – 2025. – Vol. 22. – P. 166.
13. Rapin N. Immune system simulation online / N. Rapin, O. Lund, F. Castiglione // Bioinformatics. – 2011. – Vol. 27, No. 14. – P. 2013–2014.

14. Rehman Z. Sculpting multi-epitope vaccine against Monkeypox viral strains using immunoinformatics / Z. Rehman, A. Fahim, M. Irtash // Acta Virologica. – 2025. – Vol. 68. – P. 13542. <https://doi.org/10.3389/av.2024.13542>. EDN: NSUDWD
15. Designing a multi-epitope vaccine against SARS-CoV-2: an immunoinformatics approach / A. Samad, F. Ahammad, Z. Nain [et al.] // J. Biomol. Struct. Dynamics. – 2022. – Vol. 40, No. 1. – P. 14–30. <https://doi.org/10.1080/07391102.2020.1792347>. EDN: OZZRRH
16. CASTp 3.0: computed atlas of surface topography of proteins / W. Tian, C. Chen, X. Lei [et al.] // Nucl. Acids Res. – 2018. – V. 46, W1. – P. W363–W367.
17. Villanueva-Flores F. AI-driven epitope prediction: a systematic review, comparative analysis, and practical guide for vaccine development / F. Villanueva-Flores, J. I. Sanchez-Villamil, I. Garcia-Atutxa // Vaccines. – 2025. – Vol. 10. – P. 207.
18. The Immune Epitope Database (IEDB): 2018 update / R. Vita, S. Mahajan, J. A. Overton [et al.] // Nucl. Acids Res. – 2019. – V. 47, D1. – P. D339–D343.

Фёдоров Игорь Витальевич

магистрант

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»

г. Краснодар, Краснодарский край

КЛАССИФИКАЦИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОЦЕНКИ МЕДИЦИНСКИХ ДИСПЛЕЕВ

Аннотация: в статье проведён комплексный анализ физических параметров, определяющих диагностическое качество медицинских дисплеев. Целью исследования является разработка научно обоснованной классификации этих параметров и выявление актуальных трендов оптимизации эргономики медицинской визуализации. В работе проанализированы физические принципы работы дисплейных технологий (LCD, OLED, QLED, MicroLED), их фотометрические, колориметрические, пространственные и временные характеристики. Предложена оригинальная трёхуровневая иерархическая классификация, включающая семь групп параметров: люминансные, пространственные, временные (первичные), колориметрические и шумовые (вторичные), эргономические и средовые (третичные). Разработана система взвешенных оценок Q_j для интегральной количественной характеристики соответствия дисплея требованиям конкретной медицинской модальности (рентгенология, МРТ, маммография, эндоскопия, патоморфология). Проанализированы ключевые тренды: адаптивные технологии управления яркостью, динамическое управление спектральными характеристиками для снижения синезасветки, системный подход «дисплей-среда-наблюдатель», а также перспективные направления (MicroLED, AI-интеграция). Показано, что комплексная оптимизация даёт синергетический эффект, недостижимый при изолированном улучшении параметров дисплея.

Ключевые слова: медицинский дисплей, физические параметры оценки, DICOM GSDF, модуляционная передаточная функция, эргономика визуализации, классификация параметров, OLED, MicroLED, контрастность, адаптивное управление яркостью, синезасветка, системная эргономика.

Благодарность профессорскому составу кафедры физики и информационных систем физико-технического факультета Кубанского государственного университета (г. Краснодар), а именно: д-ру мед. наук профессору Еремину А.Л., д-ру физ.-мат. наук, профессору Богатову Н.М.

Введение.

Медицинская визуализация является краеугольным камнем современной клинической диагностики. Свыше 70% диагностических решений принимаются на основе анализа медицинских изображений. При этом конечным звеном диагностической цепочки является дисплей – устройство, преобразующее цифровые данные в видимое изображение. Качество дисплея напрямую определяет вероятность обнаружения патологических изменений и, в конечном

счёте, исход лечения пациента. Исследования показывают, что использование дисплеев, не соответствующих стандартам, увеличивает частоту диагностических ошибок на 15–25% для низкоконтрастных объектов и на 30–40% при оценке микроструктур.

Несмотря на очевидную клиническую значимость, физические параметры медицинских дисплеев до сих пор не имеют единой систематизированной классификации. Существующие стандарты (AAPM TG-18, IEC 62563, DICOM Part 14) охватывают лишь отдельные группы параметров, не предусматривают иерархической соподчинённости и не учитывают специфику медицинских модальностей.

Цель данной работы – разработка научно обоснованной классификации физических параметров оценки медицинских дисплеев и анализ современных трендов оптимизации эргономики медицинской визуализации. Для достижения цели решаются задачи: анализ физических принципов работы дисплейных технологий; систематизация параметров; разработка системы взвешенных оценок с учётом клинической специализации; анализ современных тенденций оптимизации эргономических характеристик.

1. Физические основы работы медицинских дисплеев.

1.1. Современные дисплейные технологии.

Современный парк медицинских дисплеев включает несколько технологических платформ, каждая из которых базируется на специфических физических механизмах.

Жидкокристаллические дисплеи (LCD) являются наиболее распространённой технологией. Их работа основана на электрооптическом эффекте в нематических жидких кристаллах. Наибольшее распространение в медицине получили IPS-матрицы с улучшенными угловыми характеристиками и VA-матрицы, обеспечивающие высокий статический коэффициент контрастности (до 3000:1).

Органические светодиодные дисплеи (OLED) принципиально отличаются отсутствием отдельной подсветки: каждый пиксель является самостоятельным источником света. Ключевыми преимуществами являются абсолютный чёрный цвет и теоретически бесконечный контраст. Время отклика пикселя менее 1 мс делает их предпочтительными для динамической визуализации (флюороскопия, эхокардиография).

Квантово-точечные дисплеи (QLED) представляют собой развитие LCD-технологии с использованием полупроводниковых нанокристаллов. Полуширина спектральных полос квантовых точек составляет 20–30 нм, что обеспечивает расширенный цветовой охват (до 90–95% Rec. 2020).

Технология MicroLED предполагает интеграцию массива неорганических светодиодов с размером элемента менее 100 мкм. Она объединяет преимущества OLED (самоизлучение, высокий контраст) с достоинствами неорганических полупроводников (высокая яркость >10 000 кд/м², длительный ресурс >100 000 часов, отсутствие деградации).

Отдельную нишу занимают монохромные дисплеи, применяемые в рентгенологии и маммографии. Человеческий глаз значительно более чувствителен к перепадам яркости в серой шкале, и отказ от цветowych фильтров позволяет достичь яркости 1000–2000 кд/м². Стандарт AAPM TG-18 для маммографических дисплеев требует $L_{max} \geq 500$ кд/м², $CR \geq 250:1$ и $MTF(fN) \geq 0,50$.

1.2. Основные физические параметры.

Фотометрические характеристики.

Яркость (luminance) L является центральной характеристикой и определяется как:

$$L = \frac{d^2\Phi}{dA \cdot d\Omega \cdot \cos\theta} \text{ [кд/м}^2\text{]}$$

где:

L – яркость, измеряемая в канделах на квадратный метр (кд/м²);

Φ – световой поток, измеряемый в люменах (лм), характеризующий полную мощность излучения, воспринимаемую глазом;

$d^2\Phi$ – элементарный световой поток, испускаемый элементарной площадкой;

dA – площадь излучающей поверхности, измеряемая в квадратных метрах (м^2);

$d\Omega$ – элементарный телесный угол, измеряемый в стерadianах (ср), определяющий направление распространения излучения;

θ – угол между нормалью (перпендикуляром) к поверхности и направлением наблюдения, измеряемый в градусах или радианах. Учёт $\cos\theta$ отражает закон Ламберта для диффузно излучающих поверхностей.

Для диагностических дисплеев L_{max} составляет 250–500 кд/м²; для маммографических систем – 500–1000 кд/м².

Коэффициент контрастности (CR) характеризует динамический диапазон:

$$CR = \frac{L_{max}}{L_{min}}$$

где:

CR – коэффициент контрастности (безразмерная величина);

L_{max} – максимальная яркость дисплея, измеряемая при отображении полностью белого поля, в кд/м²;

L_{min} – минимальная яркость дисплея, измеряемая при отображении полностью чёрного поля, в кд/м².

Минимальное допустимое значение для диагностических дисплеев – 250:1. Однако для реальных условий эксплуатации вводится понятие клинического коэффициента контрастности (CCR), учитывающего внешнюю засветку. При освещённости $E_{amb} = 50$ лк и коэффициенте отражения $R = 1\%$ значение ACR может снижаться в несколько раз.

Равномерность яркости U оценивается по 25 точкам:

$$U = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{avg}} \times 100\%$$

где:

U – коэффициент неравномерности яркости, выраженный в процентах;

L_{max} и L_{min} – соответственно максимальное и минимальное значения яркости, измеренные в различных точках экрана (обычно по матрице 5×5 точек), в кд/м²;

L_{avg} – среднее арифметическое значение яркости по всем измерительным точкам, в кд/м².

Допустимое значение – $\leq 30\%$ для нового оборудования и $\leq 40\%$ при эксплуатационном контроле.

Пространственные характеристики.

Пиксельная разрешающая способность характеризуется плотностью пикселей $PPI = 25,4/p$, где p – размер пикселя в мм. Теорема Найквиста-Шеннона требует для достоверного воспроизведения частоты f : $p \leq 1/(2f)$ или $fN = 1/(2p) \geq f$.

Модуляционная передаточная функция (MTF) является наиболее полной количественной характеристикой разрешающей способности:

$$MTF(f) = \frac{M_{out}(f)}{M_{in}(f)}$$

где:

$MTF(f)$ – модуляционная передаточная функция на пространственной частоте f (безразмерная величина, принимает значения от 0 до 1);

f – пространственная частота тест-объекта, измеряемая в парах линий на миллиметр (пар лин/мм);

$M_{out}(f)$ – модуляция (контраст) воспроизведённого дисплеем изображения на частоте f (безразмерная);

$M_{in}(f)$ – модуляция (контраст) исходного тест-объекта на частоте f (безразмерная).

Модуляция (коэффициент Майкельсона) для каждого случая определяется как $M = (L_{max} - L_{min}) / (L_{max} + L_{min})$, где L_{max} и L_{min} – максимальная и минимальная яркость в

тестовом паттерне. Требование AAPM TG-18: $MTF(fN) \geq 0,50$, где $fN = 1/(2p)$ – частота Найквиста, определяемая размером пикселя p .

Цветовое пространство определяется координатами основных цветов в системе CIE 1931. Для медицинских применений рекомендуется sRGB как базовое пространство.

Стандарт DICOM GSDF определяет зависимость между цифровым управляющим значением и яркостью, согласованную с контрастно-чувствительной функцией зрительной системы. Функция JND-индекса (Just Noticeable Difference) описывается полиномиальным разложением. Калибровка под GSDF является обязательной для диагностических систем.

Точность цветовоспроизведения оценивается цветовым различием в пространстве CIELAB:

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

где:

ΔE_{ab}^* – полное цветовое различие между измеренным и эталонным цветом в единицах CIELAB (безразмерная величина);

ΔL^* – различие по светлоте (координата светлоты в пространстве CIELAB, изменяется от 0 (чёрный) до 100 (белый));

Δa^* – различие по координате a^* (красно-зелёная ось: положительные значения – красный, отрицательные – зелёный);

Δb^* – различие по координате b^* (жёлто-синяя ось: положительные значения – жёлтый, отрицательные – синий).

Для медицинских дисплеев допустимое значение $\Delta E_{ab}^* \leq 3,0$ единиц.

Временные характеристики.

Время отклика пикселя $t_{resp} = t_{90\%} - t_0$. Для ЖК-дисплеев в режиме флюороскопии $t_{resp} \leq 16$ мс (частота 60 Гц). OLED-дисплеи обеспечивают $t_{resp} < 1$ мс.

Важным параметром является input lag – задержка обработки сигнала, которая для медицинских систем не должна превышать 33 мс (один кадр при 30 fps).

2. Классификация физических параметров медицинских дисплеев.

2.1. Методологический подход.

Разработка классификации основана на принципах системного анализа: полнота охвата, непересекаемость групп, измеримость, иерархическая соподчинённость по степени влияния на диагностическое качество. В качестве критериев приняты: физическая природа параметра, непосредственность влияния на качество изображения, измеримость и нормируемость.

Анализ существующих стандартов (AAPM TG-18, IEC 62563–1, DICOM Part 14, JESRA X-0093) выявил системные пробелы: отсутствие иерархии параметров, игнорирование эргономических характеристик, отсутствие модально-специфичной дифференциации требований.

2.2. Предлагаемая трёхуровневая классификация.

На основании проведённого анализа разработана трёхуровневая иерархическая классификация (табл. 1).

Таблица 1

Авторская трёхуровневая классификация физических параметров
медицинских дисплеев

Уровень	Группа параметров	Конкретные параметры	Размерность	Нормирующий стандарт
I (Первичные)	Люминансные	L_{max}, L_{min}, CR, U	кд/м ² , %	AAPM TG-18, IEC 62563
I (Первичные)	Временные	$t_{resp}, f_{ref}, blur$	мс, Гц	IEC 62563
I (Первичные)	Пространственные	$PPI, MTF(f)$, геом. искажения	мм ⁻¹ , %	AAPM TG-18
II (Вторичные)	Колориметрические	ΔE , охват, $CCT, GSDF$	ед. CIE LAB, К	DICOM P14, sRGB
II (Вторичные)	Шумовые	$NNPS(f), SNR, DQE$	безразм.	AAPM TG-18
III (Третичные)	Эргономические	$Flicker, Blue\ light, EMP$	%, Вт/м ² , мкТл	IEC 62471, TCO

2.3. Система взвешенных оценок по медицинским модальностям.

Для формализации клинической значимости параметров введена система весовых коэффициентов w_{ij} , где i – номер группы, j – индекс модальности, с условием нормировки $\sum_i w_{ij} = 1,0$ для каждого j .

Интегральный показатель качества дисплея для модальности j :

$$Q_j = \sum_i w_{ij} \cdot q_i$$

где:

Q_j – интегральный показатель качества дисплея для медицинской модальности j (безразмерная величина от 0 до 1, где 1 – идеальное соответствие);

j – индекс, обозначающий конкретную медицинскую модальность (например, рентгенология, маммография);

i – индекс, обозначающий группу параметров (люминансные, пространственные и т. д.);

w_{ij} – весовой коэффициент i -й группы параметров для модальности j (безразмерная величина, сумма весов по всем группам для каждой модальности равна 1,0);

q_i – нормированная оценка i -й группы параметров, определяемая как отношение измеренного значения к нормативному:

$q_i = X_{изм}/X_{норм}$ для параметров, рост которых улучшает качество (например, CR), или $q_i = X_{норм}/X_{изм}$ для параметров, рост которых ухудшает качество (например, неравномерность U). Значение q_i ограничено диапазоном $[0, 1]$.

Весовые коэффициенты для пяти основных модальностей представлены в таблице 2.

Таблица 2

Весовые коэффициенты групп параметров по медицинским модальностям

Параметр/ группа	Рентген	MPT	Маммография	Эндоскопия	Патоморфология
I. Люминансные	0,30	0,25	0,35	0,20	0,15
I. Пространственные (MTF)	0,25	0,20	0,30	0,15	0,20
I. Временные	0,05	0,10	0,05	0,20	0,05
II. Колориметрические	0,10	0,15	0,10	0,25	0,35
II. Шумовые	0,15	0,15	0,10	0,05	0,10
III. Эргономические	0,10	0,10	0,05	0,10	0,10
III. Средовые	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Сумма весов	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Анализ таблицы показывает модально-специфичные приоритеты. В рентгенологии и маммографии доминируют люминансные и пространственные параметры (суммарный вес

0,55–0,65). В эндоскопии и патоморфологии возрастает вес колориметрических параметров (0,25–0,35). В МРТ повышается роль временных параметров в связи с функциональными протоколами.

Заключение.

В работе решена актуальная научно-техническая задача разработки классификации физических параметров медицинских дисплеев и анализа трендов оптимизации их эргономики.

Основные результаты.

1. Проведён анализ физических принципов работы дисплейных технологий (LCD, OLED, QLED, MicroLED), выявлены их принципиальные различия и специфические преимущества, обосновывающие модально-специфичный выбор оборудования.

2. Разработана трёхуровневая иерархическая классификация, включающая 7 групп параметров: люминансные, пространственные, временные (I уровень), колориметрические и шумовые (II уровень), эргономические и средовые (III уровень). Классификация вводит явную иерархию по степени влияния на диагностическое качество, включает третичные эргономические параметры и предусматривает модально-специфичное взвешивание.

3. Предложена система взвешенных оценок $Q_j = \sum w_{ij} \cdot q_i$, обеспечивающая интегральную характеристику соответствия дисплея требованиям конкретной модальности. Показано, что в маммографии доминируют люминансные и пространственные параметры (0,65), в патоморфологии – колориметрические (0,35).

4. В рамках концепции системной эргономики «дисплей – среда – наблюдатель» установлено, что комплексная оптимизация даёт синергетический эффект, недостижимый при изолированном совершенствовании параметров дисплея.

Практическая значимость результатов заключается в возможности применения при разработке регламентов технического обслуживания, проектировании диагностических помещений и обосновании технических требований при закупке оборудования. Предложенная классификация создаёт основу для формирования нового поколения стандартов, ориентированных на интегральное диагностическое качество.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на экспериментальную проверку системы Q_j на реальном парке дисплеев, разработку алгоритмов автоматизированного QA-тестирования и расширение системы на другие медицинские модальности (ядерная медицина, ультразвук).

Список литературы

1. Samei E. Assessment of display performance for medical imaging systems: Executive Summary of AAPM TG18 Report / E. Samei, A. Badano, D. Chakraborty [et al.] // Medical Physics. – 2005. – Vol. 32, No. 4. – P. 1205–1225.

2. Бломберген Н. Ядерная магнитная релаксация / Н. Бломберген. – М.: Мир, 1964. – 548 с.

3. Badano A. Consistency and standardization of color in medical imaging: a consensus report / A. Badano, C. Revie, A. Casertano [et al.] // Journal of Digital Imaging. – 2015. – Vol. 28, No. 1. – P. 41–52. DOI 10.1007/s10278-014-9721-0. EDN KYSQWZ

4. Barten P.G.J. Contrast Sensitivity of the Human Eye and Its Effects on Image Quality. – Bellingham: SPIE Press, 1999. – 210 p.

5. Михайлов И.В. Физические методы контроля качества медицинских дисплеев / И.В. Михайлов, Д.В. Лычагин // Медицинская физика. – 2020. – № 2 (86). – С. 49–56.

6. ГОСТ Р ИСО 9241-307-2012. Эргономика взаимодействия человек-система. Часть 307. Методы анализа и соответствия для электронных визуальных дисплеев. – М.: Стандартинформ, 2012. – 44 с.

7. Морозов С.П. Телерадиология / С.П. Морозов, Н.В. Ледихова, И.Ю. Насникова. – М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2020. – 194 с.

8. Гуревич М.В. Физика и техника медицинских изображений / М.В. Гуревич. – М.: Физматлит, 2014. – 424 с.

9. Захарченко А.В. Эргономика рабочего места оператора визуального контроля / А.В. Захарченко. – М.: Машиностроение, 2015. – 248 с.

10. IEC 62563-2:2016. Medical electrical equipment – Medical image display systems – Part 2: Acceptance and constancy tests. – Geneva: IEC, 2016. – 68 p.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ МЕТОДОМ ЯМР-СПЕКТРОСКОПИИ

Аннотация: исследовано влияние низкоинтенсивного лазерного излучения на ЯМР-характеристики водных растворов различного состава. Цель работы заключается в выявлении изменений релаксационных и спектральных параметров водных систем после лазерного воздействия. В качестве объектов исследования использовались дистиллированная вода и водные растворы хлорида натрия концентрацией 0,9% и 3%. Экспериментальная методика включала регистрацию протонных ЯМР-спектров до и после облучения полупроводниковым лазером с длиной волны 650 нм и мощностью 50 мВт. Проведён анализ времён продольной и поперечной релаксации, химического сдвига и ширины спектральных линий. Установлено, что воздействие лазерного излучения сопровождается уменьшением значений T_1 и T_2 на 2,4–2,8% и незначительным уширением спектральных линий. Наиболее выраженные изменения наблюдались для дистиллированной воды. Полученные результаты свидетельствуют о возможной модификации межмолекулярных взаимодействий и динамики водородных связей в исследуемых растворах под действием лазерного излучения. Показана перспективность применения ЯМР-спектроскопии для исследования процессов взаимодействия лазерного излучения с водными и биологическими средами.

Ключевые слова: лазерное излучение, низкоинтенсивное лазерное воздействие, ядерный магнитный резонанс, ЯМР-спектроскопия, водные растворы, релаксационные характеристики, продольная релаксация, поперечная релаксация, водородные связи, межмолекулярные взаимодействия, хлорид натрия, физика жидких систем, биофизика, медицинская физика.

Введение.

В настоящее время исследование взаимодействия электромагнитного излучения с веществом является одним из актуальных направлений современной физики, биофизики и медицинской науки. Особый интерес представляет изучение воздействия лазерного излучения на водные среды, поскольку вода является основным компонентом большинства биологических систем и играет ключевую роль в обеспечении физико-химических процессов, протекающих в живых организмах. Изменение структуры и свойств воды под воздействием внешних факторов может оказывать влияние на характеристики биологических объектов и процессов молекулярного взаимодействия.

Целью данной работы является исследование влияния лазерного излучения на ЯМР-характеристики водных растворов. Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи: подготовка исследуемых образцов, проведение лазерного облучения растворов, регистрация ЯМР-спектров до и после воздействия, а также анализ изменений релаксационных и спектральных параметров исследуемых систем.

Полученные результаты могут способствовать расширению представлений о механизмах взаимодействия лазерного излучения с водными средами и представляют интерес для дальнейших исследований в области биофизики, медицинской физики и применения ЯМР-методов для анализа свойств жидких систем.

1.1. Материалы исследования.

В качестве объектов исследования в данной работе использовались водные растворы различного состава. Выбор исследуемых сред обусловлен необходимостью анализа влияния лазерного излучения на физические свойства систем, отличающихся концентрацией растворённых веществ и характером межмолекулярных взаимодействий.

Основным объектом исследования являлась дистиллированная вода, поскольку она представляет собой удобную модельную систему для изучения процессов, связанных с изменением структуры водородных связей и динамики молекул воды под воздействием внешних физических факторов. Кроме того, в работе использовались водные растворы хлорида натрия, позволяющие оценить влияние присутствия ионов на изменение ЯМР-характеристик после лазерного воздействия.

Для приготовления растворов использовалась дистиллированная вода комнатной температуры. Растворы готовились непосредственно перед проведением эксперимента, что позволяло минимизировать влияние внешних факторов и возможных изменений состава исследуемых образцов при длительном хранении.

Состав исследуемых образцов представлен в таблице 1.

Таблица 1

Исследуемые образцы водных растворов

№ образца	Состав раствора	Концентрация NaCl, %
1	Дистиллированная вода	0
2	Раствор NaCl	0,9
3	Раствор NaCl	3,0

Для приготовления раствора хлорида натрия использовалась химически чистая соль NaCl. Необходимая масса вещества рассчитывалась исходя из требуемой концентрации раствора и объёма исследуемого образца.

Все исследуемые образцы имели одинаковый объём, что позволяло обеспечить одинаковые условия проведения эксперимента и повысить точность сравнения результатов. Перед проведением измерений растворы помещались в стандартные пробирки для ЯМР-исследований.

Для уменьшения влияния температурных колебаний подготовка и хранение образцов осуществлялись при постоянной комнатной температуре. Дополнительно перед проведением ЯМР-измерений растворы выдерживались в одинаковых условиях в течение фиксированного промежутка времени.

Выбор именно водных растворов обусловлен высокой чувствительностью структуры воды к внешним физическим воздействиям. Наличие развитой системы водородных связей и высокая подвижность молекул делают водные среды удобным объектом для регистрации изменений при помощи ЯМР-спектроскопии.

Кроме того, растворы хлорида натрия представляют интерес с точки зрения моделирования биологических жидкостей, поскольку ионы натрия и хлора являются важными компонентами физиологических сред организма. Исследование подобных растворов позволяет приблизить условия эксперимента к реальным биофизическим системам.

Таким образом, выбранные материалы исследования позволяют провести сравнительный анализ влияния лазерного излучения на ЯМР-характеристики водных систем различного состава и оценить возможные изменения структуры растворов после лазерного воздействия.

1.2. Оборудование и параметры эксперимента.

Для проведения исследования использовались установка для лазерного облучения образцов и ЯМР-спектрометр, предназначенный для регистрации спектральных и релаксационных характеристик водных растворов. Экспериментальная установка была собрана таким образом, чтобы обеспечить одинаковые условия воздействия для всех исследуемых образцов и минимизировать влияние внешних факторов на результаты измерений.

Регистрация ЯМР-спектров проводилась с использованием ЯМР-спектрометра, работающего на ядрах водорода ^1H . Выбор протонного ЯМР обусловлен высокой чувствительностью метода к состоянию молекул воды и изменению межмолекулярных взаимодействий в исследуемых растворах.

В качестве источника лазерного излучения использовался полупроводниковый лазер непрерывного действия. Для проведения эксперимента был выбран режим низкоинтенсивного лазерного воздействия, позволяющий исследовать возможные структурные изменения растворов без выраженного теплового эффекта.

Основные параметры лазерного излучения приведены в таблице 2.

Таблица 2

Параметры лазерного излучения

Параметр	Значение
Тип лазера	Полупроводниковый
Длина волны	650 нм
Мощность излучения	50 мВт
Режим работы	Непрерывный
Время облучения	10 мин
Расстояние до образца	5 см

Использование лазера с длиной волны 650 нм обусловлено его широким применением в биофизических исследованиях и достаточной проникающей способностью для воздействия на жидкие среды. Выбранная мощность излучения позволяла проводить исследование в условиях низкоинтенсивного воздействия без существенного нагрева образцов.

Перед началом эксперимента все растворы выдерживались при одинаковой температуре в течение фиксированного времени. Облучение проводилось в затемнённом помещении для уменьшения влияния внешнего светового излучения на результаты исследования.

Во время проведения эксперимента лазерное излучение направлялось перпендикулярно поверхности исследуемого образца. Для обеспечения одинаковых условий воздействия расстояние между лазером и образцом сохранялось постоянным для всех серий измерений.

Схема проведения эксперимента включала регистрацию исходных ЯМР-спектров, последующее лазерное облучение образцов и повторное проведение ЯМР-измерений после воздействия. Такой подход позволял проводить сравнительный анализ изменений релаксационных характеристик и спектральных параметров растворов.

Для уменьшения случайных погрешностей каждое измерение проводилось несколько раз, после чего рассчитывались средние значения исследуемых параметров. Среднее значение определялось по формуле:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i,$$

где:

$\bar{x}$ — среднее значение;

x_i — отдельное измерение;

n — количество измерений.

Использование повторных измерений позволяло повысить достоверность результатов и снизить влияние случайных отклонений, связанных с нестабильностью экспериментальных условий.

Таким образом, выбранное оборудование и параметры эксперимента обеспечивали возможность регистрации изменений ЯМР-характеристик водных растворов после воздействия низкоинтенсивного лазерного излучения и проведения дальнейшего анализа полученных результатов.

1.3. Методика проведения эксперимента.

Экспериментальное исследование проводилось с целью анализа изменений ЯМР-характеристик водных растворов после воздействия низкоинтенсивного лазерного излучения. Для обеспечения достоверности результатов все этапы эксперимента выполнялись при одинаковых условиях и с соблюдением одинаковой последовательности измерений для каждого исследуемого образца.

На первом этапе проводилась подготовка растворов. Для исследования использовались дистиллированная вода и растворы хлорида натрия различной концентрации. Растворы готовились непосредственно перед проведением измерений с использованием дистиллированной воды комнатной температуры. После приготовления образцы помещались в стандартные ЯМР-пробирки одинакового объёма.

Перед проведением лазерного воздействия для каждого образца регистрировались исходные ЯМР-спектры. Измерения выполнялись при одинаковой температуре и неизменных параметрах работы ЯМР-спектрометра. На данном этапе определялись основные спектральные характеристики исследуемых растворов:

- время продольной релаксации T_1 ;
- время поперечной релаксации T_2 ;
- химический сдвиг;
- интенсивность сигнала;
- ширина спектральной линии.

После регистрации исходных спектров проводилось лазерное облучение исследуемых образцов. Лазерное излучение направлялось на центральную часть пробирки перпендикулярно поверхности раствора. Во время воздействия положение образцов оставалось фиксированным, что позволяло обеспечить одинаковые условия облучения для всех исследуемых растворов.

Плотность мощности лазерного излучения определялась соотношением:

$$P = \frac{W}{S}$$

где:

P — плотность мощности;

W — мощность лазера;

S — площадь облучаемой поверхности.

Продолжительность воздействия для каждого образца составляла 10 минут. В ходе эксперимента контролировалась температура растворов, поскольку изменение температуры способно влиять на релаксационные характеристики и приводить к дополнительным изменениям параметров ЯМР-спектров.

После завершения лазерного облучения проводилась повторная регистрация ЯМР-спектров исследуемых растворов. Измерения выполнялись при тех же параметрах спектрометра, что и до воздействия, что обеспечивало корректность последующего сравнения результатов.

Для повышения точности эксперимента каждое измерение повторялось не менее трёх раз. Полученные значения усреднялись, а дальнейший анализ проводился на основании средних величин измеряемых параметров.

Среднее значение рассчитывалось по формуле:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

где:

$\bar{x}$ — среднее значение;

x_i — отдельное измерение;

n — количество измерений.

Для оценки изменения ЯМР-характеристик после лазерного воздействия определялась относительная разница между параметрами до и после облучения. Расчёт производился по формуле:

$$\Delta X = \frac{X_2 - X_1}{X_1} \cdot 100\%$$

где:

ΔX — относительное изменение параметра;

X_1 — значение параметра до облучения;

X_2 — значение параметра после облучения.

Полученные данные заносились в таблицы и использовались для построения сравнительных графиков. Основное внимание уделялось анализу изменений времён релаксации T_1 и T_2 , поскольку данные параметры наиболее чувствительны к изменению структуры раствора и динамики межмолекулярных взаимодействий.

Для уменьшения влияния внешних факторов все измерения проводились в одинаковых условиях окружающей среды. Во время эксперимента исключалось воздействие посторонних источников света и электромагнитных помех. Кроме того, между сериями измерений соблюдались одинаковые временные интервалы, что позволяло минимизировать влияние нестациональности исследуемых систем.

Таким образом, разработанная методика эксперимента позволяла проводить сравнительный анализ ЯМР-характеристик водных растворов до и после воздействия лазерного излучения, а также оценивать возможные изменения структуры исследуемых сред под действием внешнего физического воздействия.

2.1. Анализ ЯМР-спектров исследуемых растворов.

В ходе проведённого эксперимента были получены ЯМР-спектры исследуемых водных растворов до и после воздействия низкоинтенсивного лазерного излучения. Основное внимание уделялось анализу изменений релаксационных характеристик, интенсивности сигнала и формы спектральных линий, поскольку данные параметры наиболее чувствительны к изменениям структуры раствора и межмолекулярных взаимодействий.

На первом этапе были зарегистрированы исходные ЯМР-спектры дистиллированной воды и растворов хлорида натрия различной концентрации. Для всех образцов наблюдался характерный протонный сигнал воды, положение и форма которого зависели от состава исследуемого раствора.

После лазерного воздействия были проведены повторные измерения ЯМР-спектров. Сравнение спектров до и после облучения показало наличие небольших изменений исследуемых параметров. Наиболее заметные изменения наблюдались в значениях времён релаксации и интенсивности сигнала.

Результаты измерения времени продольной релаксации T_1 представлены в таблице 3.

Таблица 3

Значения времени продольной релаксации T_1

Образец	T_1 до облучения, мс	T_1 после облучения, мс	Изменение, %
Дистиллированная вода	2480	2415	-2,6
NaCl 0,9%	2310	2255	-2,4
NaCl 3%	2145	2090	-2,5

Полученные результаты показывают, что после лазерного воздействия наблюдается незначительное уменьшение времени продольной релаксации для всех исследуемых растворов. Наиболее выраженные изменения были зафиксированы для дистиллированной воды, что может быть связано с более высокой подвижностью молекул и меньшим влиянием растворённых ионов на структуру среды.

Аналогичные изменения наблюдались и при анализе времени поперечной релаксации T_2 . Результаты измерений представлены в таблице 4.

Значения времени поперечной релаксации T_2

Образец	T_2 до облучения, мс	T_2 после облучения, мс	Изменение, %
Дистиллированная вода	1980	1925	-2,8
NaCl 0,9%	1845	1800	-2,4
NaCl 3%	1710	1668	-2,5

Изменение времени поперечной релаксации также свидетельствует о возможном изменении динамики молекулярного движения в растворе после воздействия лазерного излучения. Снижение значений T_2 может быть связано с изменением характера межмолекулярных взаимодействий и перераспределением системы водородных связей.

Дополнительно проводился анализ химического сдвига исследуемых сигналов. Существенных изменений положения резонансных линий обнаружено не было, однако для некоторых образцов наблюдалось незначительное уширение спектральных линий после лазерного воздействия.

Ширина спектральной линии определялась на уровне половины максимальной интенсивности сигнала. Полученные значения представлены в таблице 5.

Таблица 5

Изменение ширины спектральной линии

Образец	Ширина линии до облучения, Гц	Ширина линии после облучения, Гц	Изменение, %
Дистиллированная вода	8,2	8,7	+6,1
NaCl 0,9%	9,1	9,5	+4,4
NaCl 3%	10,4	10,9	+4,8

Наблюдаемое уширение спектральных линий может указывать на изменение локального окружения протонов воды и увеличение неоднородности молекулярной среды после лазерного воздействия. При этом величина изменений оставалась сравнительно небольшой, что соответствует условиям низкоинтенсивного лазерного облучения.

Для более наглядного сравнения результатов были построены графики зависимости времён релаксации от состава раствора до и после лазерного воздействия. Полученные зависимости демонстрируют общую тенденцию к снижению релаксационных параметров после облучения.

Следует отметить, что изменения ЯМР-характеристик носили воспроизводимый характер и наблюдались во всех сериях измерений. Несмотря на относительно небольшую величину зарегистрированных изменений, результаты эксперимента свидетельствуют о чувствительности ЯМР-методов к воздействию низкоинтенсивного лазерного излучения на водные растворы.

Таким образом, проведённый анализ ЯМР-спектров показал наличие изменений релаксационных характеристик и спектральных параметров исследуемых растворов после лазерного воздействия, что может свидетельствовать о модификации межмолекулярных взаимодействий в исследуемых системах.

Анализ экспериментальных данных показал, что воздействие низкоинтенсивного лазерного излучения приводит к изменениям ЯМР-характеристик исследуемых водных растворов. Наиболее заметные изменения были зафиксированы для времён продольной и поперечной релаксации, а также для ширины спектральных линий. Несмотря на то, что величина зарегистрированных изменений была сравнительно небольшой, полученные результаты носили устойчивый и воспроизводимый характер.

Снижение значений времени продольной релаксации T_1 после лазерного воздействия может свидетельствовать об изменении динамики молекулярного движения в растворе. Поскольку параметр T_1 связан с процессами обмена энергией между ядерными спинами и окружающей средой, его изменение указывает на возможную перестройку межмолекулярных взаимодействий в исследуемой системе.

Изменение времени поперечной релаксации T_2 также может быть связано с модификацией структуры раствора. Данный параметр особенно чувствителен к локальной неоднородности среды и характеру взаимодействия между молекулами. Наблюдаемое уменьшение T_2 после лазерного облучения может указывать на изменение подвижности молекул воды и особенностей системы водородных связей.

Полученные результаты согласуются с предположением о том, что воздействие лазерного излучения способно оказывать влияние на состояние водных систем на молекулярном уровне. В жидкой воде непрерывно происходят процессы образования и разрушения водородных связей между молекулами. Под действием внешнего электромагнитного воздействия возможно изменение динамического равновесия данной системы, что может отражаться в релаксационных характеристиках, регистрируемых методом ЯМР.

Особый интерес представляет различие в изменениях параметров для растворов различной концентрации. Для дистиллированной воды наблюдались более выраженные изменения по сравнению с растворами хлорида натрия. Вероятно, присутствие ионов натрия и хлора частично стабилизирует структуру раствора и снижает чувствительность системы к внешнему воздействию.

Кроме того, увеличение концентрации соли сопровождалось уменьшением исходных значений времён релаксации. Это связано с тем, что растворённые ионы влияют на подвижность молекул воды и изменяют характер межмолекулярных взаимодействий. В присутствии ионов формируются гидратные оболочки, ограничивающие движение молекул и влияющие на процессы релаксации.

Незначительное уширение спектральных линий после лазерного воздействия также может свидетельствовать о повышении неоднородности локального магнитного окружения протонов воды. Подобные изменения могут быть связаны как с изменением структуры раствора, так и с незначительными изменениями динамики молекулярного движения.

Следует отметить, что при проведении эксперимента важную роль играет температурный фактор. Даже небольшое изменение температуры способно влиять на времена релаксации и параметры спектра. В данной работе температурные условия контролировались на всех этапах эксперимента, что позволяет предположить, что зарегистрированные изменения в первую очередь связаны именно с воздействием лазерного излучения.

При этом полученные результаты не позволяют сделать однозначный вывод о конкретном механизме воздействия лазерного излучения на водные растворы. Вероятнее всего, наблюдаемые изменения обусловлены совокупностью нескольких процессов, включая изменение межмолекулярных взаимодействий, динамики водородных связей и локальной молекулярной подвижности.

Несмотря на сравнительно небольшую величину зарегистрированных изменений, результаты исследования подтверждают высокую чувствительность ЯМР-спектроскопии к изменениям состояния водных систем. Это делает данный метод перспективным инструментом для дальнейшего изучения влияния лазерного и других видов электромагнитного воздействия на жидкие среды.

Полученные данные представляют интерес не только с точки зрения физики жидкостей, но и для биофизических исследований. Поскольку вода является основным компонентом биологических тканей, изучение её поведения под действием лазерного излучения может

быть полезно для понимания механизмов лазерного воздействия в медицинских и физиотерапевтических технологиях.

Таким образом, результаты проведённого исследования свидетельствуют о наличии изменений ЯМР-характеристик водных растворов после воздействия низкоинтенсивного лазерного излучения. Наблюдаемые изменения могут быть связаны с модификацией межмолекулярных взаимодействий и перестройкой структуры водной среды, что требует дальнейшего экспериментального изучения.

Заключение.

В рамках работы были рассмотрены основные физические принципы метода ядерного магнитного резонанса, особенности структуры водных растворов и возможные механизмы взаимодействия лазерного излучения с жидкими средами. На основании теоретического анализа было показано, что изменения межмолекулярных взаимодействий и динамики водородных связей могут отражаться в параметрах ЯМР-спектров.

В экспериментальной части исследования были подготовлены образцы дистиллированной воды и растворов хлорида натрия различной концентрации. После регистрации исходных ЯМР-спектров исследуемые растворы подвергались воздействию низкоинтенсивного лазерного излучения, после чего проводились повторные измерения релаксационных и спектральных характеристик.

Анализ полученных результатов показал, что после лазерного воздействия наблюдаются изменения времён продольной и поперечной релаксации, а также незначительное изменение ширины спектральных линий. Наиболее выраженные изменения были зафиксированы для дистиллированной воды, тогда как в растворах хлорида натрия изменения носили менее выраженный характер. Полученные результаты могут свидетельствовать о влиянии лазерного излучения на межмолекулярные взаимодействия и динамику молекул воды в исследуемых системах.

Следует отметить, что зарегистрированные изменения имели сравнительно небольшую величину, что соответствует условиям низкоинтенсивного лазерного воздействия. При этом результаты эксперимента носили воспроизводимый характер и наблюдались во всех сериях измерений, что подтверждает чувствительность ЯМР-методов к подобным физическим воздействиям.

Проведённое исследование показывает перспективность применения ЯМР-спектроскопии для изучения процессов взаимодействия лазерного излучения с водными средами. Полученные данные могут представлять интерес для дальнейших исследований в области биофизики, медицинской физики и физики жидких систем.

В дальнейшем представляется целесообразным расширить диапазон исследуемых параметров, включая изменение длины волны и мощности лазерного излучения, увеличение времени воздействия, а также исследование растворов более сложного состава. Дополнительный интерес представляет изучение температурных эффектов и применение других спектроскопических методов для комплексного анализа изменений структуры водных систем под действием лазерного излучения.

Таким образом, поставленная цель работы была достигнута, а результаты исследования подтвердили возможность регистрации изменений ЯМР-характеристик водных растворов после воздействия низкоинтенсивного лазерного излучения.

Список литературы

1. Абрагам А. Ядерный магнетизм / А. Абрагам. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. – 622 с.
2. Бломберген Н. Ядерная магнитная релаксация / Н. Бломберген. – М.: Мир, 1964. – 548 с.
3. Ерёмин Н.Н. Основы физической химии. Теория и задачи / Н.Н. Ерёмин. – М.: Юрайт, 2021. – 580 с.

4. Кессених Д.Г. Ядерный магнитный резонанс для химиков и биологов / Д.Г. Кессених. – М.: Наука, 1985. – 312 с.
5. Скрышевский А.Ф. Структурный анализ жидкостей и аморфных тел / А.Ф. Скрышевский. – М.: Высшая школа, 1980. – 328 с.
6. Варфоломеев С.Д. Биофизика / С.Д. Варфоломеев, К.Г. Гуревич. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018. – 512 с.
7. Владимиров Ю.А. Физико-химические основы фотобиологических процессов / Ю.А. Владимиров, А.Я. Потапенко. – М.: Высшая школа, 1989. – 199 с. EDN VTFWWP
8. Крылов В.И. Основы лазерной техники и лазерных технологий / В.И. Крылов. – СПб.: Лань, 2019. – 176 с.
9. Демтредер В. Лазерная спектроскопия: основные понятия и приборы / В. Демтредер. – М.: Физматлит, 2009. – 544 с.
10. Ландау Л.Д. Теоретическая физика. Том 8. Электродинамика сплошных сред / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Физматлит, 2016. – 656 с.
11. Callaghan P.T. Principles of Nuclear Magnetic Resonance Microscopy / P.T. Callaghan. – Oxford: Oxford University Press, 1993. – 492 p.
12. Levitt M.H. Spin Dynamics: Basics of Nuclear Magnetic Resonance / M.H. Levitt. – 2nd ed. – Chichester: John Wiley & Sons, 2008. – 744 p.
13. Abragam A. Principles of Nuclear Magnetism / A. Abragam. – Oxford: Oxford University Press, 1961. – 614 p.
14. Hore P.J. Nuclear Magnetic Resonance / P.J. Hore. – Oxford: Oxford University Press, 2015. – 368 p.
15. Keeler J. Understanding NMR Spectroscopy / J. Keeler. – 2nd ed. – Chichester: Wiley, 2010. – 520 p.
16. Saleh B.E.A. Fundamentals of Photonics / B.E.A. Saleh, M.C. Teich. – 3rd ed. – Hoboken: Wiley, 2019. – 1200 p.

КЛЕТОЧНАЯ БИОЛОГИЯ, ЦИТОЛОГИЯ, ГИСТОЛОГИЯ, АНАТОМИЯ И ФИЗИОЛОГИЯ

Александрова Александра Владимировна
студентка

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
университет им. И.Н. Ульянова»
г. Чебоксары, Чувашская Республика

Фролова Мария Александровна

канд. хим. наук, доцент
ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
университет им. И.Н. Ульянова»
г. Чебоксары, Чувашская Республика

Сапёрова Елена Владимировна

канд. биол. наук, доцент
ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
педагогический университет им. И.Я. Яковлева»
г. Чебоксары, Чувашская Республика

Добросмыслов Светослав Анатольевич
учащийся

МАОУ «СОШ №3»
г. Канаш, Чувашская Республика

Журавлев Анатолий Петрович
магистрант

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный аграрный университет»
г. Чебоксары, Чувашская Республика

DOI 10.31483/r-168438

ЗДОРОВЬЕ ЗРИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Аннотация: в статье представлены результаты сравнительного анализа распространённости дефектов зрения и факторов риска в студенческой среде, а также экспериментальной оценки ключевых параметров зрительного аппарата – ближней точки ясного видения и площади слепого пятна. Изысканием исследования являлась оценка влияния повышенной зрительной нагрузки от цифровых устройств на состояние зрения молодёжи и проверка эффективности простых физиологических тестов для экспресс-диагностики отдельных зрительных функций. Практическая часть включала социологическое анкетирование учащихся и серию физиологических опытов. Результаты анкетирования свидетельствуют о значительном превышении допустимого времени использования электронных устройств у респондентов (в среднем 6–7 часов в день) и высокой распространённости проблем со зрением (54,5%). Выдвинутая гипотеза о том, что соблюдение гигиены зрения и систематические тренировки глаз снижают риск прогрессирования дефектов зрения, нашла подтверждение в ходе исследования.

Ключевые слова: аметропия, миопия, гиперметропия, астигматизм, пресбиопия, рефракция, аккомодация, коррекция зрения, офтальмохирургия, гигиена зрения, зрительная нагрузка.

Проблема сохранения зрительного здоровья остаётся одной из значительных в современной офтальмологии и профилактической медицине. История изучения строения глаза и механизмов зрения охватывает тысячелетия, ещё в античности учёные пытались объяснить природу восприятия света и причины искажений изображения. В Новое время значительный

вклад в понимание оптики глаза внесли работы по физиологической оптике, позволившие описать механизмы рефракции и аккомодации. В XX–XXI веках фокус исследований сместился на изучение факторов риска, связанных с образом жизни, в частности, на влияние длительной работы на близком расстоянии и использования цифровых экранов на развитие и прогрессирование миопии [4; 5].

Актуальность настоящего исследования определяется ростом распространённости дефектов зрения в молодёжной среде на фоне повсеместного использования гаджетов, а также необходимостью популяризации доступных методов самоконтроля зрительных функций и профилактики зрительных расстройств. Физиологические тесты (например, определение ближней точки ясного видения или обнаружение слепого пятна) представляют особый интерес как простые и наглядные методики, пригодные для учебных и просветительских целей благодаря своей воспроизводимости и минимальной технической оснащённости [2; 3; 7]. При этом стандартизация условий проведения таких тестов и учёт индивидуальных особенностей респондентов имеют существенное значение для корректной интерпретации результатов.

Целью работы являлся сравнительный анализ распространённости основных дефектов зрения (миопии, гиперметропии, астигматизма) в студенческой среде, оценка влияния факторов зрительной нагрузки и экспериментальная проверка методик экспресс-оценки отдельных зрительных функций (ближней точки ясного видения, площади слепого пятна).

Для достижения цели были поставлены следующие задачи.

1. Проанализировать научную литературу по строению оптической системы глаза, механизм формирования рефракционных нарушений и современным методам коррекции зрения.

2. Изучить основные причины и факторы риска развития дефектов зрения в современных условиях, включая влияние цифровых устройств.

3. Провести эмпирическое исследование: анонимное анкетирование учащихся для оценки распространённости зрительных нарушений и времени использования гаджетов, а также серию физиологических опытов для определения ближней точки ясного видения и площади слепого пятна.

4. Сопоставить полученные данные с теоретическими представлениями о механизмах развития зрительных дефектов и сформулировать практические рекомендации по профилактике нарушений зрения.

Эксперимент выполнен на базе Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова. Объектом исследования служили показатели зрительной функции у студентов, включая субъективные данные анкетирования и объективные результаты физиологических тестов. Для минимизации внешних влияний все процедуры анкетирования и экспериментов проводились в стандартизированных условиях: единая форма анкеты, одинаковые инструкции для участников, фиксированное освещение и расстояние до тестовых объектов, единая методика расчёта показателей.

В качестве основных методов исследования использованы:

- социологический опрос (анкетирование) для оценки распространённости дефектов зрения и уровня зрительной нагрузки;

- физиологический тест по определению ближней точки ясного видения (БТЯВ) – измерение минимального расстояния чёткого видения текста для оценки состояния аккомодационного аппарата;

- тест по обнаружению и расчёту площади слепого пятна – выявление области сетчатки, лишённой фоторецепторов, с использованием специализированных изображений.

Критериями оценки служили: процент респондентов с диагностированными проблемами зрения, среднее время использования электронных устройств, индивидуальные значения БТЯВ (в сантиметрах), а также рассчитанная площадь слепого пятна (в см²). Данные методы

позволяют получить воспроизводимые и наглядные результаты, пригодные для количественного сравнения и популяционного анализа.

Расчёт относительных показателей и сопоставление групп проводили по следующей логике: для БТЯВ определяли среднее значение в каждой подгруппе (миопия, нормальное зрение, гиперметропия) и оценивали смещение точки в зависимости от типа рефракционного нарушения; для площади слепого пятна сравнивали полученный результат с физиологической нормой (48–56,5 см²).

Эксперимент 1 («Оценка распространённости дефектов зрения и зрительной нагрузки методом анкетирования»). В опросе приняли участие студенты, анализ данных выявил тревожные тенденции: 54,5% опрошенных имеют диагностированные проблемы со зрением, а среднее время использования электронных устройств составляет 6–7 часов в сутки – это значительно превышает рекомендованные санитарные нормы для данной возрастной группы. Большинство респондентов не соблюдают режим зрительных нагрузок и не выполняют гимнастику для глаз. Полученные данные указывают на прямую корреляцию между высокой зрительной нагрузкой от цифровых экранов и распространённостью дефектов зрения.

Эксперимент 2 («Определение ближней точки ясного видения»). Для оценки состояния аккомодационного аппарата было обследовано 12 человек. Результаты показали выраженную вариабельность БТЯВ в зависимости от рефракционного статуса: у лиц с миопией точка располагалась ближе (от 5,5 до 12,0 см), у лиц с нормальным зрением – в диапазоне 13,0–15,3 см, у лиц с гиперметропией – дальше (16,0–18,0 см). Это согласуется с физиологическими представлениями об аккомодации: при близорукости глаз лучше фокусируется на близких объектах при дальнозоркости, требуется большее напряжение для чёткого видения вблизи.

Эксперимент 3 («Обнаружение и расчёт площади слепого пятна»). Рассчитанная площадь слепого пятна составила 0,52 см², что укладывается в диапазон физиологической нормы (0,25–0,60 см²) и свидетельствует об отсутствии патологий в данной области сетчатки у обследованных лиц. Тест наглядно демонстрирует наличие анатомической особенности зрительного аппарата и позволяет убедиться в её нормальном проявлении. Результаты экспериментов систематизированы в таблице 1.

Таблица 1

*Сравнительная характеристика параметров зрительных функций
участников исследований*

Показатель	Миопия (4 чел.)	Без очков (4 чел.)	Гиперметропия (4 чел.)	Примечания
БТЯВ, см ср.; диапазон)	8,7 (5,5–12,0)	14,3 (13,0–15,3)	17,0 (16,0–18,0)	Смещение БТЯВ коррелирует с типом рефракции
Дефекты зрения (анкета)	-	-	-	54,5% имеют проблемы
Гаджеты, ч/день	-	-	-	6–7 (выше нормы)
Слепое пятно, см ²	-	0,52 (0,25–0,60)	-	В пределах нормы, не зависит от рефракции

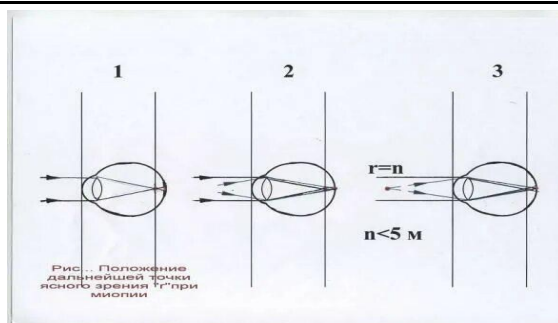


Рис. 1. Определение ближней точки ясного видения. Схема фиксации результатов участника с миопией

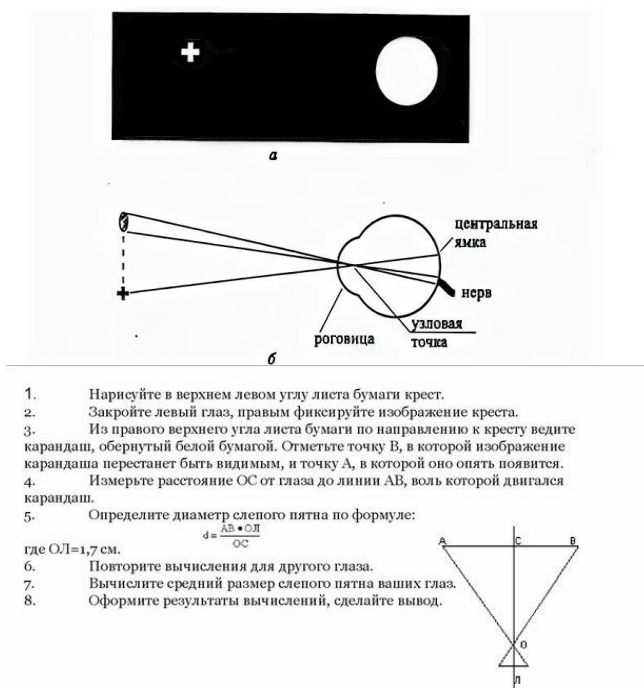


Рис. 2, 3. Тест на обнаружение слепого пятна (опыт Мариотта) и методика расчёта её диаметра

Зная диаметр, площадь круга – слепого пятна вычисляют по стандартной формуле: $S = \pi \times (d/2)^2$, где d – найденный диаметр А1В1. В норме площадь слепого пятна колеблется от 0,25 до 0,60 см².

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о высокой распространённости дефектов зрения среди студентов и значительном влиянии факторов образа жизни – в первую очередь длительной зрительной нагрузки от цифровых устройств. Все использованные методики (анкетирование, определение БТЯВ, расчёт площади слепого пятна) продемонстрировали выраженную вариабельность показателей в зависимости от рефракционного статуса и подтвердили свою пригодность для экспресс-оценки зрительных функций в учебных и просветительских целях.

Ранжирование по степени выраженности влияния факторов риска:

а) длительная работа с цифровыми устройствами – наиболее значимый фактор в современных условиях;

б) недостаточная зрительная гигиена и отсутствие профилактических мер – усугубляющий фактор;

в) индивидуальные особенности рефракции (наследственность, возраст) – базовый фактор, определяющий предрасположенность к тем или иным дефектам.

Выявленные закономерности согласуются с современными представлениями об этиологии дефектов зрения: рост миопии в молодёжной среде связывают с сочетанием генетической предрасположенности и внешних факторов (длительная работа на близком расстоянии, недостаток времени на открытом воздухе); гиперметропия и пресбиопия обусловлены анатомическими и возрастными изменениями оптической системы глаза; астигматизм чаще связан с особенностями формы роговицы или хрусталика [1; 2; 6].

Полученные результаты подтверждают пригодность комплекса простых физиологических тестов (определение БТЯВ, обнаружение слепого пятна) для экспресс-оценки состояния отдельных зрительных функций, а также важность анкетирования для выявления факторов риска и распространённости зрительных нарушений. Комплекс использованных методик (стандартизированное анкетирование, количественная оценка параметров зрения, сопоставление с нормативами) продемонстрировал свою воспроизводимость и информативность для популяционных и учебных исследований.

Таким образом, проведённое исследование наглядно демонстрирует, что дефекты зрения широко распространены в студенческой среде и тесно связаны с современными условиями жизни, в первую очередь с интенсивным использованием цифровых устройств. Наиболее перспективным направлением профилактики признано формирование культуры зрительной гигиены, включающей нормирование нагрузки, регулярные перерывы, выполнение упражнений для глаз и систематический контроль зрения. Результаты могут быть использованы в учебных курсах по анатомии, физиологии, офтальмологии и гигиене, а также в разработке просветительских материалов по сохранению зрительного здоровья.

Список литературы

1. Аветисов С.Э. Аккомодация. Руководство для врачей / С.Э. Аветисов, Ю.З. Розенблюм, Е.П. Тарутта. – М.: МИА, 2018.
2. Катаргина Л.А. Близорукость у детей и подростков / Л.А. Катаргина, Е.Ю. Маркова. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020.
3. Мухортова Л.И. Техногенные системы и экологический риск: учебное пособие / Л.И. Мухортова, П.М. Лукин, И.В. Добросмыслова; отв. ред. П.М. Лукин; М-во образования и науки РФ, Федеральное агентство по образованию, Чувашский гос. ун-т им. И.Н. Ульянова. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2009. – 443 с. – ISBN 978-5-7677-1302-8.
4. Тарутта Е.П. Склеропластика и коллагенопластика в лечении прогрессирующей близорукости / Е.П. Тарутта, Е.Н. Иомдина, Н.А. Тарасова. – М.: Апрель, 2019.
5. Егоров Е.А. Офтальмология: национальное руководство / Е.А. Егоров, Ю.С. Астахов, Т.В. Ставицкая. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2022.
6. Association between digital smart device use and myopia: a systematic review and meta-analysis / J. Foreman, A.T. Salim, A. Praveen [et al.] // The Lancet Digital Health. – 2021. – Vol. 3(12). – P. e806–e818. DOI 10.1016/S2589-7500(21)00135-7. EDN HHXFUJ
7. Global Prevalence of Myopia and High Myopia and Temporal Trends from 2000 through 2050 / B.A. Holden, T.R. Fricke, D.A. Wilson [et al.] // Ophthalmology. – 2016. – Vol. 123(5). – P. 1036–1042.
8. Sheppard A.L. Digital eye strain: prevalence, measurement and amelioration / A.L. Sheppard, J.S. Wolfsohn // BMJ Open Ophthalmology. – 2018. – Vol. 3(1). – e000146.

Бриантон Анна Сергеевна

магистрант

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

г. Ульяновск, Ульяновская область

Антонова Елена Ивановна

д-р биол. наук, профессор, директор

Научно-исследовательский центр фундаментальных и прикладных проблем биоэкологии и биотехнологии

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

г. Ульяновск, Ульяновская область

Чистякова Надежда Петровна

канд. мед. наук, преподаватель

³ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет»

г. Ульяновск, Ульяновская область

МИКРОБИОМ КОЖИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ОНКОЗАБОЛЕВАНИЯХ КОЖИ

Аннотация: в статье рассматриваются вопросы динамики видового состава и роли микробиома кожи человека при меланомных и немеланомных формах онкозаболеваниях кожи. Разработка исследований в данной области проводится с учетом влияния микробиома кожи и его микробиологического видового состава на местный иммунитет, развитие воспалительных процессов, этиопатогенез опухолевого процесса и нарушение кожного барьера в целом. Предполагается, что выявление связи микробиома кожи с процессами онкогенеза с учетом возраста, пола, этнической принадлежности, образа жизни, питания и воздействия экологических факторов, в первую очередь УФ-излучения, во многом будет способствовать развитию фармакотерапии онкозаболеваний, определению диагностических маркеров, развитию новых методов лечения с использованием живых, генетически модифицированных или бактерий комменсалов, вирусов в качестве векторов, бактериальных компонентов для достижения различных терапевтических эффектов, модуляции иммунной системы, разрушения сосудистой системы, доставки лекарств и прямого онколиза. Проведенный анализ отечественных и зарубежных исследований указал на недостаточную научную разработанность данного вопроса. Исследование кожного микробиома является совершенно новым направлением в современной онкодерматологии.

Ключевые слова: микробиом, рак кожи, меланома, дисбиоз, микробиота, иммунитет кожи, бактериотерапия.

Кожа человека представляет собой сложный, полифункциональный, многотканевой орган, образует наружный покров тела, является биологическим барьером и обеспечивает взаимосвязи с факторами окружающей среды и внутренней среды организма [6; 7; 14].

Микробиом кожи тесно связан с развитием меланомы на протяжении всего онкогенеза, от первичной до прогрессирующей стадии, но исследований в этой области крайне мало [28]. Растет интерес к бактериотерапии меланомы [17].

В соответствии со статистическим сборником «Здравоохранение в России за 2025 год» заболеваемость онкологией за последние пять лет проявляет тенденцию к увеличению (рис. 1). В 2021 году показатель общей заболеваемости злокачественными новообразованиями составила 580,4 на 100 тыс. населения и к 2024 показатель вырос до 698,7 на 100 тыс. населения [1]. Заболеваемость раком кожи среди населения России в 2025 году составила 161,4 тыс. человек, что на 11,8% выше в сравнении с 2024 годом [2]. Наиболее распространенными типами рака кожи являются кератиноцитарные карциномы, в частности базальноклеточная

карцинома и плоскоклеточная карцинома кожи, в то время как меланома кожи является наиболее тяжелой формой [25; 31].

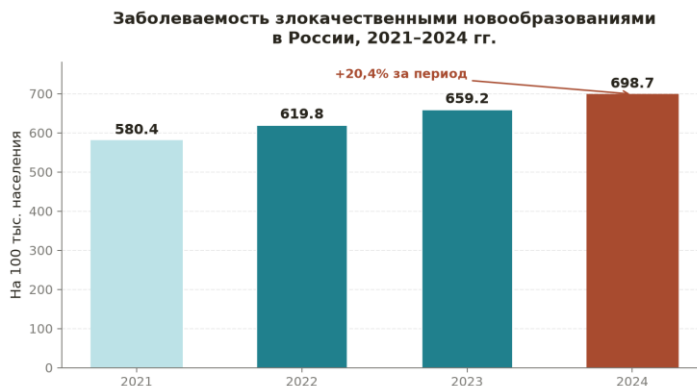


Рис. 1. Динамика общей заболеваемости злокачественными новообразованиями в России, 2021–2024 гг. (на 100 тыс. населения) [1]

Нарушения состава и функциональной активности микробиоты кожи могут быть связаны не только с воспалительными заболеваниями, но и с процессами канцерогенеза, поскольку микроорганизмы способны влиять на иммунный ответ, воспалительные реакции и механизмы опухолевой трансформации клеток [4; 5; 24; 31]. Канцерогенез опосредованный участием микробиома кожи развивается через процесс хронического воспаления, подавление иммунного ответа и нарушение клеточного гомеостаза ткани [22].

В физиологических условиях нормальная микробиота кожи состоит примерно из 25 представителей комменсальной флоры в основном *Firmicutes*, *Actinobacteria*, *Actinobacteria*, *Firmicutes*, *Actinobacteria*, *Proteobacteria* и *Bacteroidetes*.

Немеланомный рак кожи – наиболее распространенный вид рака в мире, заболеваемость которым постоянно растет. НМРК часто рассматривают как все злокачественные новообразования кожи, не связанные с меланоцитами [25]. Плоскоклеточная карцинома (ПМК) и базальноклеточная карцинома (БМК) составляют до 99% случаев НМРК, в эту группу также относят плоскоклеточный рак кожи (СКК) [31].

При ПМК – в биопсиях опухоли обнаружена чрезмерная колонизация кожи золотистым стафилококком (*S. aureus*) (29,3%), в сравнении со здоровой кожей (6%), которая коррелирует с актиническим кератозом, увеличением экспрессия гена hBD-2 с последующей активацией пролиферации опухолевых клеток [18]. Чрезмерная колонизация кожи *S. aureus* свидетельствует о нарушении барьерной функции кожи в следствии повреждения (ожоги, механические травмы и др.). Помимо колонизации *S. aureus* отмечена обратная тенденция относительно количества колоний *Cutibacterium/ Cutibacterium acnes* (*C. acnes*), несмотря на то что этот род бактерий является частью здорового микробиома, избыточное размножение может приводить к развитию воспалительных процессов. Снижение количества *C. acnes*, которые обладают липофильными свойствами, может определять сухость и шелушение кожи, повышение pH, нарушение деятельности сальных желез, снижения синтеза антимикробных пептидов. Предполагается, что изменение метаболизма в опухолевых клетках может подавлять рост липофильных комменсалов, таких как *Cutibacterium*, и стимулировать рост *S. aureus* [31].

Staphylococcus epidermidis (*S. epidermidis*) оказывает противоопухолевое действие, его присутствие определяет антимикробное действие за счет синтеза PSM α и PSM δ (ферментостойкие модулины, относящиеся к классу провоспалительных и цитолитических

альфа-спиральных пептидов) угнетая рост *S.aureus* [11], продукты синтетической деятельности оказывают противовоспалительное действие путем активации регуляторных Т-клеток, синтезируемый 6-N-гидроксиаминопурин (6-НАР) угнетает репликацию ДНК и пролиферацию трансформированных опухолевых клеток.

Исследований, непосредственно устанавливающих связь между грибковой микробиотой и раком кожи, мало. В рамках проведенных исследований выявлено, что наблюдается снижение колонизации кожи *Malassezia* в коже при SCC [18], который также является липофильным комменсалом, подавляет образование биопленки и рост *S. aureus* путем секреции специфических протеаз. Исследования также указывают на возможную связь между SCC и повышенным риском инфицирования вирусом папилломы человека (ВПЧ/ HPV), особенно у пациентов с ослабленным иммунитетом [9], Е6 и Е7 семейства HPV являются ключевыми онкопротеинами и около 50 типов бета- HPV-1, 2, 3, 4, 5 и 8 связаны с SCC [31] в сочетании с синергическим эффектом с УФ-излучением. Есть предположение о существовании селективного иммунитета против вирус-позитивных опухолевых клеток, поскольку Т-клеточный иммунитет против комменсальных HPV может подавлять опухолеобразование у иммунокомпетентных пациентов, в то время как потеря Т-клеточного иммунитета связана с повышенным риском рака кожи у лиц с ослабленным иммунитетом [21].

Наличие полиомавируса клеток Меркеля (MCPyV), недавно идентифицированного вируса человека, участвует в патогенезе карциномы клеток Меркеля (ККМ). Наличие MCPyV также связано с высокой опухолевой нагрузкой ККМ, MCPyV был обнаружен в 15% образцов ДНК иммунокомпетентных пациентов с ПКР [21].

Злокачественная меланома. Среди различных видов рака кожи злокачественная меланома является наиболее агрессивной формой рака кожи, составляя 75% всех смертей, связанных с раком кожи. Меланома – это гетерогенное заболевание с подтипами, различающимися по анатомическому распределению, характеру соматических мутаций и гистопатологическим особенностям [25; 27; 31].

У пациентов с акральная меланомой отмечена более высокая колонизация *Corynebacterium* у пациентов с III/IV стадией по сравнению с пациентами I/II стадии [20]. У пациентов положительных по роду *Corynebacterium*, было обнаружено большее количество клеток, положительных по интерлейкину (IL)-17, который может индуцировать рост меланомы путем повышения уровня IL-6 и сигнального трансдуктора и активатора транскрипции 3. Эти данные позволяют предположить, что виды *Corynebacterium* могут влиять на развитие меланомы через зависимый от IL-17 путь. Тогда как внутриопухолевая инъекция *C. acnes* приводила к значительному уменьшению размеров опухоли за счет индукции цитокинов типа Th1, таких как IL-12, фактор некроза опухоли альфа (TNF- α) и интерферон гамма (IFN- γ) [25].

Получены сведения о защитной роли 6-НАР полученного из *S. Epidermidis* [29]. Липотейхсовая кислота (LTA) из *S. epidermidis* повышают выживаемость меланоцитов за счет повышения экспрессии TRAF1, CASP14, CASP5 и TP73 во время УФ-облучения. Тогда как *C. acnes* может подавлять выживаемость меланоцитов после УФ-излучения, активируя апоптоз, усиливая секрецию копропорфиринов и повышая экспрессию TNF α .

Секвенирование 16S рибосомальной РНК выявило незначительное снижение микробного разнообразия в образцах кожи с меланомой по сравнению с меланоцитарными невусами.

В образцах кожи с меланомой отмечена повышенная колонизация *Fusobacterium* и *Trueperella*, увеличение количества *Fusobacterium nucleatum* было связано с прогрессированием заболевания [25], за счет активации пролиферации клеток опухолей, ингибируя цитотоксичность Т-НК посредством взаимодействия белка *Fusobacterium* Fap2 с иммуноглобулином Т-клеток [31].

У пациентов с меланомой кожи отмечается увеличение в микробиоме *Staphylococcus aureus* и *Pseudomonas aeruginosa* и снижение колонизации опухоли представителями *Cutibacterium acnes* и *Staphylococcus epidermidis* [33].

Роль вирусов в развитии кожной меланомы не однозначна. Можно отметить несколько исследований которые указывают на связь между HPV и меланомой. Когортное исследование показало, что инфекция HPV связана с повышенным риском развития меланомы [9], наиболее часто выявляется HPV-16 и HPV-33. Исследование на примере увеальной меланомы показало, что снижение экспрессии HPV-18 E6/E7 может ингибировать рост опухоли и блокировать клеточный цикл путем активации пути p53 и Rb. Что касается бета- HPV, то HPV-22 был более распространен в меланоме. Однако клинические и патологические характеристики меланомы не были конкретно связаны с распространенностью HPV.

Не выявлено связи между онкогенезом меланомы и MCPyV, но отмечено четыре MCPyV-положительных кожных меланомы среди 60 образцов, которые проявляли незначительную связь между инфекцией MCPyV и тяжестью меланомы [21].

Эндогенные ретровирусы человека (HERV) могут выступать в качестве клеточного резервуара патогенных ретровирусных генов. Активация последовательности ERV связана с трансформацией меланоцитов и способствует возможности «ускользнуть» клеткам меланомы от иммунного надзора. Повышенная экспрессия ретровирусного белка оболочки и активация ретровирусного гена *Pol* наблюдались в линиях клеток меланомы после УФ-облучения.

Микробные метаболиты и токсины при раке кожи. Предполагается, что все опухоли паракринно изменяют микроокружение, включая микробиом кожи. Микроокружение опухоли состоит из лейкоцитов, фибробластов, сосудистых и лимфатических эндотелиальных клеток, перидцитов, адипоцитов и разнообразного совокупного межклеточного продукта, секретируемого как опухолевыми, так и неопухолевыми клетками [12]. Метаболиты микробиома кожи могут напрямую взаимодействовать с опухолевыми клетками или влиять на канцерогенез, регулируя другие компоненты микроокружения опухоли. Предложенный механизм действия микробных метаболитов на развитие рака включает модуляцию доступности метаболитов, повреждение ДНК и модуляцию иммунной системы [12]. Хотя о роли метаболитов микробиома кожи в развитии рака кожи известно немного, влияние метаболитов кожи на ряд кожных воспалительных заболеваний, таких как атопический дерматит и псориаз, хорошо изучено [8; 10]. Помимо метаболитов, токсины, продуцируемые микробиотой кожи, могут повышать вероятность онкогенных мутаций. К примеру, экзотоксин *S. argenteus* и энтеротоксин А стафилококка сопряжены с кожной Т-клеточной лимфомой.

Нарушение барьерной функции при раке кожи. Поскольку кожа человека функционирует как основной внешний барьер между хозяином и окружающей средой, нарушение кожного барьера может привести к микробному дисбиозу, в частности определяет изменение видового состава комменсальной микробиоты. Также протеазы микробиоты кожи могут приводить к нарушению эпидермального барьера, например, внеклеточная цистеиновая протеаза А *Staphylococcus epidermidis* повреждает эпидермальный барьер у пациентов с синдромом Нетертона [15, 30]. В различных исследованиях наблюдалась чрезмерная колонизация кожи *S. aureus* при SCC, которая сопровождается увеличением экспрессии hBD (синтез антимикробных пептидов) и ростом опухоли. Однако микробиота, специфически связанная с нарушением барьера при раке кожи, еще не изучена.

Внутриопухолевая микробиота и рак кожи. Проводятся исследования по выявлению функциональной роли внутриопухолевой микросреды в биологии рака на примере различных солидных опухолях с определением специфики видового состава опухолевого микробиома кожи, состав которого варьируется у пациентов с разной выживаемостью, что может указывать на прогностический показатель [13; 23]. Выявлено, что внутриопухолевые

бактерии в основном присутствуют во внутриклеточной среде, затрагивая как опухолевые, так и иммунные клетки. Так у пациентов с множественной меланомой, на фоне курса терапии и отвечающие на действие ингибиторов контрольных точек иммунитета на 18 таксонов микроорганизмов больше. В частности, род *Clostridium* был более распространен у пациентов, отвечающих на лечение, в то время как *Gardnerella vaginalis* была более распространена у пациентов, не отвечающих на терапию [17].

Продолжая исследование того, как внутриопухолевая микробиота влияет на иммунную реакцию при меланоме, секвенировали гены 16S рРНК из 17 образцов меланомы и выявили, что семь родов в большей мере представлены в составе микробиома кожи: *Acinetobacter*, *Actinomyces*, *Comamonas*, *Corynebacterium*, *Enterobacter*, *Roseomonas* и *Streptococcus* [16]. Также определено, что бактерии, обитающие в меланоме, могут проникать в клетки меланомы; внутриопухолевые бактериальные пептиды HLA-I и HLA-II могут быть представлены антигенпрезентирующими клетками, учитывая, что HLA-I и HLA-II меланомы могут вызывать иммунную реакцию [34].

Также выявлено, что снижение уровня инфильтрации меланомы Т-клетками CD8⁺ связано с более короткой выживаемостью пациентов и сопряжено дополнительно с видовым составом внутриопухолевых бактерий [34]. Так положительно сильную связь обнаруживают с инфильтрирующими CD8⁺ Т-клетками представители рода *Lachnoclostridium*, *Gelidibacter*, *Flammeovirga* и *Acinetobacter*, тогда как *Algibacter* и *Epilithnimonas* проявляют отрицательную сопряженность. Бактериальная нагрузка *Lachnoclostridium* значительно коррелировала со сниженным риском смертности. Следовательно, увеличение количества инфильтрирующих CD8⁺ Т-клеток и увеличение численности *Lachnoclostridium* могут рассматриваться как хорошие прогностические факторы у пациентов с кожной меланомой, наряду с молекулярно-генетическими методами диагностики [32].

Среди различных иммунных клеток внутри опухоли Трег-клетки хорошо известны тем, что подавляют противоопухолевый иммунный ответ при различных видах рака, что приводит к иммуносупрессивной микросреде опухоли (ТМЕ). Инфильтрация Трег-клеток часто наблюдается в образцах кожи при БКК, меланоме и ПКР [19]. В микроокружении опухоли также наблюдалась инфильтрация ассоциированных с опухолью макрофагов типа M2, которая, как полагают, участвует в канцерогенезе кожи.

Терапевтическое воздействие микробиоты человека на рак кожи. Пребиотики и/или пробиотики рассматриваются как перспективные терапевтические варианты благодаря их способности регулировать дисбиоз кожи и кишечника. В этой связи *Lachnoclostridium* и *Bifidobacterium* используются в качестве пробиотиков, которые к тому же проявляют фотозащитный эффект от действия УФ-облучения. Также необходимо отметить, что восстановление микрофлоры кишечника может улучшить состояние кожи за счет косвенной модуляции (ось «кишечник-кожа»), в обратном случае нарушения микробиоты кожи и/или кишечника связаны с развитием рака кожи. Недавние исследования продемонстрировали фотозащитный эффект пероральных пробиотиков, которые блокируют иммуносупрессию, вызванную УФ-излучением, угнетают рост опухолей кожи. Таким образом предположили, что пробиотики могут напрямую модулировать иммунную систему кожи, микроокружение кожи и внутриопухолевую среду при меланоме за счет усиления иммунного надзора и подавления хронического воспаления и способствовать восстановлению гомеостаза через ось «кишечник-кожа» [31].

В будущем особое внимание уделяется персонализированному подходу к лечению, основанному на составе микробиоты пациента [26].

Таким образом, выявление сложной взаимосвязи между микробиомом кожи, и развитием злокачественных опухолей кожи имеет решающее значение для комплексного понимания

механизма онкогенеза и разработки новых, с участием бактерий, персонализированных терапевтических подходов.

Список литературы

1. Здравоохранение в России. 2025: стат. сб. / Г.А. Александрова, Н.А. Голубев, В.В. Краснова [и др.]; Росстат. – М., 2025. – 149 с.
2. Кретьова К.А. Влияние микробиоты кожи на дерматологические реакции при проведении химиотерапии / К.А. Кретьова, В.А. Маркина, С.С. Новиков [и др.] // Злокачественные опухоли. – 2023. – №13 (3s1). – С. 53–63. – DOI: 10.18027/2224-5057-2023-13-3s1-53-63. EDN LJMJNG
3. Лебедева Д. Аналитики рассказали о динамике болезней россиян в 2025 году / Д. Лебедева // Медвестник. – URL: <https://medvestnik.ru/content/news/analitiki-rasskazali-o-dinamike-boleznei-rossiyan-v-2025-godu.html> (дата обращения: 20.05.2026).
4. Моисеенко Ф.М. Микробиом и его роль в онкологии / Ф.М. Моисеенко, С.В. Юрай, Н.М. Волков // Практическая онкология. – 2020. – Т. 21, №1. – С. 11–20. DOI 10.31917/2101011. EDN QBYGYA
5. Особенности микробиоты при различных злокачественных новообразованиях / Л.Г. Соленова, Н.И. Рыжова, И.А. Антонова [и др.] // Research'n Practical Medicine Journal. – 2024. – Т. 11, №3. – С. 85–102. – DOI: 10.17709/2410-1893-2024-11-3-7. EDN MCIPTTR
6. Цибулевский А.Ю. Кожа: морфология, гистохимия, гистофизиология / А.Ю. Цибулевский, Т.К. Дубовая // Крымский журнал экспериментальной и клинической медицины. – 2021. – Т. 11, №1. – С. 37–42. DOI 10.37279/2224-6444-2021-11-1-37-42. EDN RVLOFH
7. Changes in human skin composition due to intrinsic aging: a histologic and morphometric study / M. Arnal-Forne, T. Molina-Garcia, M. Ortega [et al.] // Histochem Cell Biol. – 2024. – Vol. 162. – №4. – P. 259–271. – DOI: 10.1007/s00418-024-02305-w. EDN KTBFOO
8. Microbiome and Metabolome Analyses Reveal Novel Interplay Between the Skin Microbiota and Plasma Metabolites in Psoriasis / D. Chen, J. He, J. Li [et al.] // Front. Microbiol. – 2021. – Vol. 12. – P. 535. – DOI: 10.3389/fmicb.2021.643449. EDN EJUUMK
9. The Impact of Human Papillomavirus Infection on Skin Cancer: A Population-Based Cohort Study / M.L. Chen, S.H. Wang, J.C.C. Wei [et al.] // Oncologist. – 2021. – Vol. 26. – P. e473-e483. – DOI: 10.1002/onco.13593. EDN JCLYHZ
10. El-Sayed A. Microbiota's role in health and diseases / A. El-Sayed, L. Aleya, M. Kamel // Environ Sci Pollut Res Int. – 2021. – №28(28). – DOI: 10.1007/s11356-021-14593-z. EDN JUNUTJ
11. Small molecules produced by commensal *Staphylococcus epidermidis* disrupt formation of biofilms by *Staphylococcus aureus* / T. Glatthardt, J.C.d.M. Campos, R.C. Chamon [et al.] // Appl. Environ. Microbiol. – 2020. – Vol. 86. – P. e02539–19. – DOI: 10.1128/AEM.02539-19. EDN YDRWCW
12. González-Sánchez P. The microbiome(s) and cancer: Know thy neighbor(s) / P. González-Sánchez, G.M. DeNicola // J. Pathol. – 2021. – Vol. 254. – P. 332–343. – DOI: 10.1002/path.5661. EDN UIVNVB
13. Gut Microbiota and Therapy in Metastatic Melanoma: Focus on MAPK Pathway Inhibition / M. Guardamagna, M.A. Berciano-Guerrero [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. – 2022. – Vol. 23. – №19. – P. 11990. DOI 10.3390/ijms231911990. EDN GOLGRF
14. Harry J. Anatomy and physiology of the skin / J. Harry // Br J Nurs. – 2025. – Vol. 34. – №12. – P. 754–760. – DOI: 10.12968/bjon.2024.0471. EDN FRZCAV
15. Mendelian randomization study reveals causal association between skin microbiome and skin cancers / Y. He, L. Li, Y. Li [et al.] // Scientific Reports. – 2025. – DOI: 10.1038/s41598-025-07265-2. EDN BNFUDJ
16. Identification of bacteria-derived HLA-bound peptides in melanoma / S. Kalaora, A. Nagler, D. Nejman [et al.] // Nature. – 2021. – Vol. 592. – P. 138–143. – DOI: 10.1038/s41586-021-03368-8. EDN IDQISN
17. L'Orphelin J.-M. The Skin Microbiome: A New Key Player in Melanoma, From Onset to Metastatic Stage / J.-M. L'Orphelin, A. Domp Martin, B. Dréno // Pigment Cell Melanoma Res. – 2025. – Vol. 38. – №2. – P. e13224. – DOI: 10.1111/pcmr.13224. EDN IYSBSR
18. Molecular Profiling of Keratinocyte Skin Tumors Links *Staphylococcus aureus* Overabundance and Increased Human β -Defensin-2 Expression to Growth Promotion of Squamous Cell Carcinoma / N. Madhusudhan, M.R. Pausan, B. Halwachs [et al.] // Cancers. – 2020. – Vol. 12. – P. 541. – DOI: 10.3390/cancers12030541. EDN TVBRDF
19. Tumor-infiltrating lymphocytes and their prognostic value in cutaneous melanoma / F. Maibach, H. Sadozai, S.M.S. Jafari [et al.] // Front. Immunol. – 2020. – Vol. 11. – P. 1664–3224. – DOI: 10.3389/fimmu.2020.02105. EDN QWDDII

20. Skin microbiome in acral melanoma: *Corynebacterium* is associated with advanced melanoma / S. Mizuhashi, I. Kajihara, S. Sawamura [et al.] // *J. Dermatol.* – 2020. – Vol. 48. – P. e15-e16. – DOI: 10.1111/1346–8138.15633. EDN SFTSKC
21. Molecular Profiling of Merkel Cell Polyomavirus-Associated Merkel Cell Carcinoma and Cutaneous Melanoma / A. Mokánszki, G. Méhes, S.L. Csoma [et al.] // *J. Diagn.* – 2021. – Vol. 11. – P. 212. – DOI: 10.3390/diagnostics11020212. EDN SFOTMF
22. Mortaja M. Skin cancer prevention – Recent advances and unmet challenges / M. Mortaja, S. Demehri // *Cancer Lett.* – 2023. – Vol. 575. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.canlet.2023.216406>. EDN DEPYOO
23. The human tumor microbiome is composed of tumor type-specific intracellular bacteria / D. Nejman, I. Livyatan, G. Fuks [et al.] // *Science.* – 2020. – Vol. 368. – P. 973–980. – DOI: 10.1126/science.aay9189. EDN EOOMZY
24. The Human Microbiota and Skin Cancer / C.M. Olsen, Y. Zakharia [et al.] // *International Journal of Molecular Sciences.* – 2022. – Vol. 23. – №3. – DOI: 10.3390/ijms23031813. EDN VWCOXB
25. Leveraging Microorganisms to Combat Skin Cancer / H.J. Oyler, A.W. Callister, M.N. Kutch [et al.] // *Microorganisms.* – 2025. – Vol. 13. – №2. – P. 462. – DOI: 10.3390/microorganisms13020462. EDN DLAYDW
26. Savoia P. Role of the Microbiota in Skin Neoplasms: New Therapeutic Horizons / P. Savoia, B. Azzimonti, R. Rolla, E. Zavattaro // *Microorganisms.* – 2023. – Vol. 11. – №10. – P. 2386. – DOI: 10.3390/microorganisms11102386. EDN ZPNKYQ
27. Advancing Cancer Research: Current Knowledge on Cutaneous Neoplasia / L. Stătescu, L.M. Trandafir, E. Țarcă [et al.] // *Int. J. Mol. Sci.* – 2023. – Vol. 24. – P. 11176. – DOI: 10.3390/ijms241311176. EDN CTTLAM
28. A Bibliometric Analysis of Global Research on Microbial Immune Microenvironment in Melanoma From 2012 to 2022 / L. Sun, J. Ying, R. Guo [et al.] // *Skin Research and Technology.* – 2024. – Vol. 30. – №8. – P. e70017. DOI 10.1111/srt.70017. EDN YDGJMY
29. Skin commensal bacteria *Staphylococcus epidermidis* promote survival of melanocytes bearing UVB-induced DNA damage, while bacteria *Propionibacterium acnes* inhibit survival of melanocytes by increasing apoptosis / Z. Wang, J.E. Choi, C.C. Wu, A. Di Nardo // *Photodermatol. Photoimmunol. Photomed.* – 2018. – Vol. 34. – P. 405–414. – DOI: 10.1111/phpp.12411.
30. Interplay of staphylococcal and host proteases promotes skin barrier disruption in Netherton syndrome / M.R. Williams, L. Cau, Y. Wang [et al.] // *Cell Rep.* – 2020. – Vol. 30. – P. 2923–2933. – DOI: 10.1016/j.celrep.2020.02.021. EDN LJDPAL
31. The Human Microbiota and Skin Cancer / Y.R. Woo, S.H. Cho, J.D. Lee, H.S. Kim // *Int J Mol Sci.* – 2022. – №23(3). – DOI: 10.3390/ijms23031813. EDN VWCOXB
32. Associations between the tissue bacterial microbiome and keratinocyte cancer / H. Kim, H.S. Park, J.Y. Kim [et al.] // *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology.* – 2024. – DOI: 10.1111/jdv.19887. EDN RLABJH
33. Genetic causality linking skin microbiota to skin cancer: Mendelian randomization study and meta-analysis / R. Zhao, Y. Li, M. Han [et al.] // *Medicine (Baltimore).* – 2025. – Vol. 104. – №32. – DOI: 10.1097/MD.00000000000043571. EDN SQQBZA
34. Intratumour microbiome associated with the infiltration of cytotoxic CD8⁺ T cells and patient survival in cutaneous melanoma / G. Zhu, H. Su, C.H. Johnson [et al.] // *Eur. J. Cancer.* – 2021. – Vol. 151. – P. 25–34. – DOI: 10.1016/j.ejca.2021.03.053. EDN TNKSCF

Зубова Наталья Михайловна

магистрант

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный
педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

г. Ульяновск, Ульяновская область

Антонова Елена Ивановна

д-р биол. наук, профессор, директор

Научно-исследовательский центр фундаментальных
и прикладных проблем биоэкологии и биотехнологии

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный
педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

г. Ульяновск, Ульяновская область

DOI 10.31483/r-168023

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ КОЛОНИЗАЦИИ КИШЕЧНОЙ МИКРОБИОТЫ НОВОРОЖДЕННЫХ

Аннотация: формирование кишечной микробиоты у новорожденных представляет собой сложный многофакторный процесс, оказывающий долгосрочное влияние на здоровье человека. В статье рассматриваются современные представления о временных рамках и механизмах первичной колонизации кишечника. Отдельное внимание уделено концепции «критических 1000 дней» и потенциалу персонализированных вмешательств для коррекции микробиоты.

Ключевые слова: микробиота кишечника, новорожденный, способ родоразрешения, антибиотики, диета, внутриутробный микробиом.

Перинатальный период – критически важный этап в развитии человека, в течение которого микробиом новорожденного, формируемый материнскими, экологическими и генетическими факторами, влияет на иммунные, метаболические и нейроразвивающие процессы [1].

Традиционно считалось, что желудочно-кишечный тракт человека при рождении является стерильным, а процесс колонизации запускается исключительно во время родов и после рождения. Однако эта догма в последнее время оспаривается рядом исследований, обнаруживших микробную ДНК в тканях матки, включая плаценту, что предполагает возможную дородовую колонизацию. Независимо от времени начала, после рождения кишечник подвергается стремительной и обширной бактериальной колонизации. Микробиота кишечника строго индивидуальна и формируется на протяжении первых нескольких лет жизни, при этом ключевые жизненные события (болезни, диета, антибиотики, способ родоразрешения) вызывают хаотические сдвиги в ее составе. Первые 1000 дней жизни называют критическим периодом для формирования микробиоты, и, как следствие, здоровья организма [2], однако этот аспект остается недостаточно изученным.

Внутриутробная колонизация. Вопрос о существовании микробиома *in utero* (внутриутробный микробиом) остается открытым. С одной стороны, плацента и амниотическая жидкость традиционно считаются стерильными, а инфильтрация микроорганизмов расценивается как патология, повышающая риск преждевременных родов [3]. С другой стороны, некоторые исследования предполагают, что отдельные микроорганизмы могут проникать к плоду через гематогенный барьер или с восходящими путями нервных волокон уже в третьем триместре, формируя раннюю иммунную толерантность [4]. Доказано, что материнская микробиота кишечника изменяет метаболизм во время беременности, влияет на метаболизм плаценты и лактацию, тем самым опосредованно воздействуя на рост плода [5]. Существует ряд работ, в которых описано наличие микробной ДНК в плацентарной ткани, амниотической жидкости и меконии. Некоторые бактериальные клетки шейки матки могут проникать вместе

со сперматозоидом во время оплодотворения и достигать яйцеклетки в момент оплодотворения, имплантации или раннего эмбрионального развития [6]. Вертикальное наследование (от родителей к потомству) выходит за рамки бактериома: новорожденного совместно колонизируют вирусы (виром), грибы (микобиом) и археи, участвуя в иммунном импринтинге [7].

Колонизация *in utero* имеет фундаментальное значение для определения долгосрочного здоровья, даже в постэмбриогенезе. Одним из основных действий бактериального воздействия внутриутробно является модуляция программирования иммунной и метаболической системы: примитивной иммунной системе необходимо взаимодействие с бактериями, чтобы научиться отличать «вредные» бактерии от «полезных».

Способ родов как ключевой фактор колонизации. Способ родоразрешения существенно определяет первичный пул микроорганизмов.

Вагинальные роды способствуют вертикальной передаче микробов из влагалища и кишечника матери, заселяя новорожденного «полезными» таксонами бактерий, такими как *Lactobacillus*, *Prevotella* и *Bacteroides*, которые критичны для развития иммунной системы. Приблизительно 50–60% микробиома младенца материнского происхождения [8].

Кесарево сечение (КС) приводит к колонизации бактериями, ассоциированными с кожей, такими как *Staphylococcus*, *Corynebacterium*, *Propionibacterium*, с дефицитом *Bacteroides* и задержкой колонизации облигатными (строгие, анаэробные) группами бактерий. Если при вагинальных родах микробиота 72% детей напоминает материнскую, то при КС этот показатель снижается до 41%. Дополнительным повреждающим фактором выступает интранатальная антибиотикотерапия. Частичное восстановление микробиоты у детей с родоразрешением КС возможно с помощью вагинального сидинга (экспозиции вагинальным содержимым матери), однако долгосрочные последствия этого вмешательства остаются неясными [9].

Видовое различий бактерий, наблюдаемые у детей, рожденных вагинальными родами и КС, не ограничиваются лишь изменением состава – симбиотические отношения между микробиотой кишечника и хозяином регулируются и стабилизируются сложной метаболической, иммунной и нейроэндокринной сетью взаимодействий, опосредованные метаболитами, которые синтезируют бактерии. В свою очередь метаболиты проявляют плеiotропные эффекты, в том числе действуя как сигнальные молекулы в регуляции нейроиммунно-воспалительных осей хозяина физиологически связывая кишечник с другими системами органов. Например, у детей, рожденных родоразрешением КС, наблюдается снижение колонизации иммунорегуляторными бактериями, что в значительной мере повышает риск развития астмы, ожирения и диабета 1 типа в более позднем возрасте [10].

Влияние типа вскармливания (диета) на микробиоту ребенка. Грудное вскармливание обеспечивает уникальную комбинацию питательных веществ, иммуноглобулинов (sIgA) и биоактивных компонентов. Олигосахариды грудного молока действуют как пребиотики, которые ферментируют преимущественно *Bifidobacterium* с образованием короткоцепочечных жирных кислот. У детей, которые на грудном вскармливании, количество *Bifidobacterium* и *Lactobacillus* более чем в два раза выше, чем у детей на искусственном вскармливании. Более того, грудное молоко само является источником микробиоты, допуская вертикальную передачу бактерий от матери к ребенку.

Тогда как, искусственное вскармливание приводит к более раннему разнообразию микробиоты, с преобладанием *Clostridium* и *Bacteroides* с ростом условно-патогенных видов (*Escherichia coli*, *Clostridioides difficile*). Современные коммерческие смеси обогащают пребиотиками, однако они являются лишь аналогами олигосахаридов грудного молока, не воспроизводя натуральных свойств. Тогда как диета матери (особенно высокожировая) негативно влияет на микробиоту молока и кишечника младенца, снижая численность *Bacteroides* [11].

Роль гестационного возраста. Гестационный возраст – важный фактор в аспекте формирования микробиома новорожденных детей. У недоношенных детей (рожденные до достижения 37 недель беременности) наблюдается задержка колонизации, снижение видового разнообразия и доминирование потенциально патогенных *Enterobacteriaceae* на фоне дефицита

строгих анаэробов (*Bifidobacterium*, *Bacteroides*). Экстремально недоношенные дети (рожденные до достижения 28 недель беременности) имеют радикально отличающийся видовой бактериальный профиль с преобладанием *Staphylococcus*, *Enterococcus* и *Clostridium*. Недоношенность часто сочетается с интенсивной терапией, антибиотикотерапией и парентеральным питанием, что дополнительно искажает развитие микробиома новорожденного [12].

Антибиотики как модулятор микробиоты. Антибиотики нарушают богатство и стабильность микробиома младенца. У недоношенных детей это связано с обогащением генов резистентности, нарушением синтеза короткоцепочечных жирных кислот, которые вырабатываются кишечными бактериями при расщеплении пищевых волокон (клетчатки), и снижением продукции антибактериальных агентов, что повышает восприимчивость к инфекциям. Одним из наиболее тревожных последствий раннего воздействия антибиотиков является обогащение кишечного резистома – пула генов устойчивости к антибиотикам как в патогенных, так и в комменсальных бактериях. Эти гены могут передаваться между видами микроорганизмов посредством горизонтального переноса генов, что позволяет возникать организмам с множественной лекарственной устойчивостью [13]. Интранатальное введение антибиотиков матери ассоциировано со снижением *Bifidobacteriaceae* и ростом *Proteobacteria* у ребенка [14]. Использование пробиотиков для лечения недоношенных новорожденных помогает ускорить процесс формирования микробиоты [15].

Эволюция микробиоты после рождения. Сразу после рождения альфа-разнообразие кишечника временно снижается, а к 4–6 неделям пул микробов расширяется. Окончание грудного вскармливания и введение прикорма (твердой пищи) увеличивает разнообразие микробиома за счет бактерий-продуцентов бутирата (*Faecalibacterium prausnitzii*). Примерно к 2,5 годам состав и функциональный потенциал микробиоты ребенка приближаются к взрослому профилю. Однако такие факторы, как генетика (например, полиморфизм *FUT2*), продолжительность грудного вскармливания и географическая среда проживания и социально-экономические условия, вносят дополнительные коррективы.

Таким образом, колонизация кишечника новорожденного представляет собой многоэтапный процесс, в котором сочетается вероятное родовое влияние и значимые постнатальные факторы, включающие способ родоразрешения, диета, прием антибиотиков и факт гестационной зрелости. Понимание этих факторов открывает перспективы для персонализированных вмешательств (пробиотики, синбиотики, коррекция микробиоты матери) с целью снижения риска инфекций, развития аллергических и метаболических нарушений. По всей видимости дальнейшие исследования должны быть направлены на стандартизацию методов детекции видового состава микробиома *in utero* и разработку «синтетического женского молока», максимально имитирующего естественные пребиотические и иммунологические свойства.

Перинатальный микробиом представляет собой мощный фактор, определяющий здоровье человека, с широким спектром мер для предупреждения развития патологий, в рамках профилактической/превентивной медицины. Ключевыми приоритетами в этой связи являются: разработка микробных биомаркеров раннего развития для прогнозирования риска хронических заболеваний; установление стандартизированных определений и показателей неонатального дисбиоза; создание системно-биологических моделей, которые интегрируют генетику хозяина, микробную экологию и воздействие окружающей среды для отражения сложности перинатального развития; гармонизацию протоколов для вмешательств на основе микробиома, включая пробиотики, синбиотики и трансплантацию фекальной микробиоты, для обеспечения безопасности и сопоставимости в клинических испытаниях.

Список литературы

1. Microbial signatures in metastatic cancer / J. Bautista, M.P. Fuentes-Yépez, J. Adatty-Molina, A. López-Cortés // Front Med. – 2025. – Vol. 12. – DOI: 10.3389/fmed.2025.1654792. EDN FFTOAX
2. Barker-Tejeda T.C. Comparative characterization of the infant gut microbiome and their maternal lineage by a multi-omics approach / T.C. Barker-Tejeda, E. Zubeldia-Varela // Nat Commun. – 2024. – Vol. 15. – P. 3004. – DOI: 10.1038/s41467-024-47182-y. EDN JAHORJ

3. Questioning the fetal microbiome illustrates pitfalls of low-biomass microbial studies / K.M. Kennedy, M.C. de Goffau, M.E. Perez-Muñoz [et al.] // *Nature*. – 2023. – Vol. 613, No. 7945. – P. 639–649. DOI 10.1038/s41586-022-05546-8. EDN KMIXDV
4. In utero human intestine harbors unique metabolome, including bacterial metabolites / Y. Li, J.M. Tothaker, S. Ben-Simon [et al.] // *JCI Insight*. – 2020. – Vol. 5, No. 21. – e138751. DOI 10.1172/jci.insight.138751. EDN EFJQVX
5. Maternal gut microbiota *Bifidobacterium* promotes placental morphogenesis, nutrient transport and fetal growth in mice / J. Lopez-Tello, Z. Schofield, R. Kiu [et al.] // *Cell Mol Life Sci*. – 2022. – Vol. 79, No. 7. – 386. DOI 10.1007/s00018-022-04379-y. EDN RWFVKQ
6. Gut microbiome and breast-feeding: implications for early immune development / E.C. Davis, V.P. Castagna, D.A. Sela [et al.] // *J. Allergy Clin. Immunol.* – 2022. – Vol. 150. – P. 523–534. – DOI: 10.1016/j.jaci.2022.07.014. EDN JGGFRU
7. Zeng S. Clinical implications of maternal multikingdom transmissions and early-life microbiota / S. Zeng, M. Zhou, D. Mu, S. Wang // *Lancet Microbe*. – 2025. – Vol. 6. – 101042. – DOI: 10.1016/j.lanmic.2024.101042. EDN JPVDRB
8. The resistance within: antibiotic disruption of the gut microbiome and resistome dynamics in infancy / R. Thänert, S.S. Sawhney, D.J. Schwartz, G. Dantas // *Cell Host Microbe*. – 2022. – Vol. 30. – P. 675–683. – DOI: 10.1016/j.chom.2022.03.013. EDN PYHLZC
9. Can vaginal seeding at birth improve health outcomes of cesarean section-delivered infants? A scoping review / P. La Point, K. Banks, M. Bacorn [et al.] // *Microorganisms*. – 2025. – Vol. 13, No. 6. – 1236. – DOI: 10.3390/microorganisms13061236. EDN MJIBEJ
10. Gao S. Maternal and infant microbiome: next-generation indicators and targets for intergenerational health and nutrition care / S. Gao, J. Wang // *Protein Cell*. – 2023. – Vol. 14. – P. 807–823. – DOI: 10.1093/procel/pwad029. EDN IKJPTK
11. Development of gut microbiota in the first 1000 days after birth and potential interventions / A.C. Pantazi, A.L. Balasa, C.M. Mihai [et al.] // *Nutrients*. – 2023. – Vol. 15, No. 16. – 3647. – DOI: 10.3390/nu15163647. EDN ONCFNP
12. Yap P.S.X. Neonatal intensive care unit (NICU) exposures exert a sustained influence on the progression of gut microbiota and metabolome in the first year of life / P.S.X. Yap, C.W. Chong // *Scientific Reports*. – 2021. – Vol. 11, No. 1. – 1353. DOI 10.1038/s41598-020-80278-1. EDN MOJFJV
13. Antibiotic exposure prevents acquisition of beneficial metabolic functions in the preterm infant gut microbiome / Y. Xu, O. Milburn, T. Beiersdorfer [et al.] // *Microbiome*. – 2022. – Vol. 10. – 103.
14. Zimmermann P. Effect of intrapartum antibiotics on the intestinal microbiota of infants: a systematic review / P. Zimmermann, N. Curtis // *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* – 2020. – Vol. 105. – P. 201–208.
15. Развитие микробиоты кишечника доношенных и поздно недоношенных новорожденных / Т.В. Припутневич, Е.Л. Исаева, В.В. Муравьева [и др.] // *Неонатология: новости, мнения, обучение*. – 2023. – Т. 11, №1. – С. 42–56. DOI 10.33029/2308-2402-2023-11-1-42-56. EDN DXEIBL

Коннова Мария Евгеньевна

магистрант

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный
педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

г. Ульяновск, Ульяновская область

Антонова Елена Ивановна

д-р биол. наук, профессор, директор

Научно-исследовательский центр фундаментальных
и прикладных проблем биоэкологии и биотехнологии

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный
педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

г. Ульяновск, Ульяновская область

DOI 10.31483/r-168099

ЖЕЛЕЗОДЕФИЦИТНАЯ АНЕМИЯ ДЕТЕЙ, МЕХАНИЗМ РАЗВИТИЯ, ГРУППЫ РИСКА

Аннотация: среди всех анемий в детском возрасте наиболее часто встречается железодефицитная анемия (ЖДА), которая определяет системные нарушения в росте, развитие организма детей. В связи с этим в статье рассматривается роль железа (Fe) в организме, динамика, стадии развития ЖДА, возрастные особенности, механизмы развития и клинические последствия дефицита Fe. Особое внимание уделяется критическим возрастным периодам, лабораторной диагностике дефицита Fe, наиболее распространенным факторам риска развития ЖДА, эпидемиология дефицита Fe у детей. Раскрываются механизмы нарушения синтеза гемоглобина, влияния дефицита Fe на тканевой метаболизм, эндокринную систему и адаптационные механизмы организма. Подчеркивается важность ранней диагностики и своевременной коррекции дефицита Fe для предотвращения долгосрочных осложнений.

Ключевые слова: дефицит железа, железодефицитная анемия у детей, диагностика железодефицитной анемии, метаболизм железа, профилактика железодефицитной анемии у детей, группы риска железодефицитной анемии, классификация анемий.

Анемия – наиболее распространенное гематологическое заболевание у детей и представляет собой серьезную глобальную проблему здравоохранения. Задержка в диагностике и лечении могут быть причиной риска развития редких, но серьезных осложнений, включая хронические и необратимые когнитивные нарушения [4; 5]. К выявленным факторам риска развития анемии у детей, относят дефицит питательных веществ, факторы окружающей среды, хронические сопутствующие заболевания, врожденные нарушения гемоглобина (Hb) или эритроцитов. Своевременное распознавание этих факторов риска имеет решающее значение для разработки соответствующих и своевременных терапевтических вмешательств и стратегий профилактики [17]. Среди всех анемий в детском возрасте наиболее часто встречается железодефицитная анемия (ЖДА). ЖДА – патологическое состояние, обусловленное дефицитом железа (Fe) в организме, с нарушением метаболизма гемоглобина и трофическими расстройствами в тканях [16]. ЖДА отмечается примерно у 2 миллиардов человек во всем мире в основном у беременных женщин, плодов и детей [4]. Дети в возрасте от 2 до 5 лет и девочки-подростки после менархе являются двумя группами детского возраста с самым высоким риском развития ЖДА. В развитых странах распространенность ЖДА среди детей младше 4 лет оценивается в 20%. В развивающихся странах этот показатель возрастает до 39%. Распространенность ЖДА среди девочек-подростков после менархе может достигать 16% [17; 19; 25].

Дефицит запасов Fe в организме условно можно разделить на три стадии: истощение запасов Fe, дефицит Fe и, наконец, ЖДА [3]. Важно различать «дефицит железа» и «анемию».

Эпидемиология дефицита железа у детей. Во всем мире дефицит Fe является наиболее часто встречающимся дефицитом питательных веществ. По данным ВОЗ, в неиндустриализованных странах дефицит Fe наблюдается у 39% детей младше 5 лет и у 48% детей в возрасте от 5 до 14 лет, по сравнению с 20% у детей младше 5 лет и 6% у детей 5–14 лет в индустриально развитых странах. Так в США дефицит Fe отмечен у 2,4 миллиона детей, в Испании – 6%, в Эстонии – 14%, в Бразилии – 31%, в Африке от 10% до 21%; в европейских странах у 2–25% детей в возрасте от 6 до 12 месяцев, в возрасте от 12 до 36 месяцев от 3% до 48%. Дефицит Fe с анемией наблюдался у 50% детей в Восточной Европе и менее чем у 5% в Западной Европе [3; 4].

Классификация анемий. Анемию можно классифицировать (приведено ниже текст) как врожденную или приобретенную, острую или хроническую. Анемия может быть вторичной по отношению к снижению выработки эритроцитов или усиленному разрушению эритроцитов (гемолиз). Гемолитическая анемия может быть дополнительно классифицирована как иммунная или неиммунная, в зависимости от того, происходит ли гемолиз в сосудистой системе (внутрисосудистый) или ретикулоэндотелиальной системе (внесосудистый), и от наличия клеточного дефекта эритроцитов (внутриклеточный) или внеклеточного (внеклеточный) нарушения. В то время как большинство внутренних дефектов являются наследственными, такими как нарушения мембран, метаболические дефекты и нарушения Hb, большинство внешних дефектов являются приобретенными, такими как иммуноопосредованная анемия, системные заболевания и эффекты, вызванные лекарственными препаратами или токсинами. Некоторые заболевания, такие как пароксизмальная ночная гемоглобинурия, проявляют как внутренний, так и внешний гемолиз [22]. Клинически анемия классифицируется по среднему объему эритроцитов (MCV): нормоцитарная (когда MCV находится в пределах нормы для данного возраста), микроцитарная или макроцитарная. Так, в частности, выделяют:

I. Нормоцитарная анемия.

Нормоцитарная анемия с повышенным количеством ретикулоцитов: Неиммунный гемолиз; Нарушения мембраны эритроцитов; Наследственный сфероцитоз; Наследственный эллиптоцитоз, наследственный пиропойкилоцитоз и связанные с ними заболевания; Наследственные синдромы стоматоцитоза; Дефекты метаболизма эритроцитов (дефицит глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы, пируваткиназы/аномалия пути Эмбдена-Мейерхофа, нарушения метаболизма глутатиона/дефицит γ -глутамилцистеинсинтазы и глутатионсинтазы); Нестабильный гемоглобин (аномалии α - или β -глобиновой цепи, гемоглобин Хашарона, Кёльн); Микроангиопатический гемолиз (тромботическая микроангиопатия); Диссеминированное внутрисосудистое свертывание; Триада гемолитико-уремического синдрома (тромботическая микроангиопатия, гемолитическая анемия, тромбоцитопения и поражение почек); Тромботическая микроангиопатия; Пароксизмальная ночная гемоглобинурия; Нарушение метаболизма меди (болезнь Вильсона); Неонатальная аллоиммунная гемолитическая анемия; Аутоиммунная гемолитическая анемия (первичная, вторичная и лекарственно-ассоциированная иммунная гемолитическая анемия).
Нормоцитарная анемия с нормальным или пониженным количеством ретикулоцитов: Острое кровотечение; Острый гемолиз; Хроническое заболевание/воспаление; Транзиторная эритробластопения детского возраста.

II. Микроцитарная анемия.

Микроцитарная анемия с нормальным или пониженным количеством ретикулоцитов: Железодефицитная анемия; Гипохромная анемия; Отравление свинцом; Нарушения гемоглобина (носительство α - или β -талассемии или гетерозиготной $\alpha\beta$ -талассемией); Врожденные сидеробластические анемии синдромные и несиндромные (X-сцепленная несиндромная сидеробластная анемия – XLSA, мутации генов *TRNT1*, *PUS1*, *YARS2*, *LARS2*, *ABCB7*, *ALAS2*, *SLC25A38*, *HSPA9*, *HSCB*, *NDUFB11*, *GLRX5*, *FECH*).

Микроцитарная анемия с повышенным количеством ретикулоцитов: Нарушения гемоглобина (талассемические синдромы и серповидно-клеточная анемия); Дефекты α -глобина (гомозиготная α -талассемия, Hb H-болезнь); Дефекты β -глобина ($\gamma\delta\beta$ - и $\epsilon\gamma\delta\beta$ -талассемия, β -талассемия, HbE, Серповидно-клеточная анемия, HbC).

III. Макроцитарная анемия.

Макроцитарная анемия с нормальным или пониженным количеством ретикулоцитов: Анемии, вызванные недостатком питательных веществ (витамина В12, фолиевой кислоты); Генетические синдромы (Анемия Даймонда-Блэкфана, Синдром Аазе, Анемия Фанкони, Синдром Швахмана-Даймонда, Врожденный дискератоз, Синдром Пирсона, Идиопатическая приобретенная апластическая анемия, Врожденная дизэритропоэтическая анемия, Транзиторное миелопролиферативное расстройство, Остеопетроз, Миелодиспластические синдромы); Подавление костного мозга – инфекционное, лекарственными препаратами или токсинами, дефицит меди, заболевания щитовидной железы, секвестрация селезенки.

Макроцитарная анемия с повышенным количеством ретикулоцитов.

Железо является эссенциальным (незаменимым) микроэлементом и благодаря своим уникальным химическим свойствам (легкость вступления в окислительно-восстановительные реакции: $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$), играет ключевую роль во многих биологических процессах: транспорт электронов (цитохромы, железосеропротеиды) и кислорода (Hb, миоглобин), входит в состав активных центров окислительно-восстановительных ферментов (оксидазы, гидроксилазы, супероксиддисмутазы), участвует в развитии мозга, в иммунном ответе, энергетическом обмене [12], необходим для процесса фагоцитоза, высокой активности НК-лимфоцитов, для синтеза пропердина, лизоцима, интерферона, sIgA, гидроксирования ксенобиотиков (лекарства, пестициды, гербициды, терпены, алкалоиды), функционирования железосодержащих ферментов АОС (супероксиддисмутазы и каталазы), для пролиферации и дифференцировки клеток, миелинизации нейронов и нейротрансмиссии дофамина [4; 9; 12; 14; 18].

Группы риска развития железодефицитной анемии. Нарушение всасывания Fe из желудочно-кишечного тракта наблюдается при заболеваниях кишечника (целиакия, болезнь Крона, лямблиоз), *Helicobacter pylori* и резекция проксимального отдела тонкой кишки, язвенный колит, пищевая аллергия. Дефицит Fe усугубляется хроническим желудочно-кишечным кровотечением, связанным с энтеропатией, которая часто встречается у маленьких детей, получающих немодифицированное коровье молоко [3; 16; 20; 17; 23]. Коровье молоко снижает усвоение Fe из других пищевых источников из-за высокого содержания казеина и кальция. Казеин связывает Fe и предотвращает его высвобождение в свободной форме, необходимое для всасывания слизистой оболочкой двенадцатиперстной кишки [3]. Известно также, что высокое потребление кальция ингибирует транспортер Fe – человеческий двухвалентный транспортер металлов 1 (hDMT1) – на уровне просвета кишечника.

Хроническая кровопотеря является основной причиной дефицита Fe у девочек-подростков с длительными и/или обильными менструальными кровотечениями. По оценкам, эта проблема затрагивает примерно 18–38% женщин репродуктивного возраста, а дефицит Fe встречается примерно у 30–50% девочек [15; 17]. Обильные менструальные кровотечения у девочек-подростков (ОМК), определяются гормональным дисбалансом (ановуляция), врожденными нарушениями системы свертываемости крови (болезнь фон Виллебранда, дефицит факторов свертывания VII, XI, XIII и др.) и нарушением функции тромбоцитов [17; 24]. Дефицит Fe приводит к снижению способности к обучению и нарушению когнитивных функций.

Другая группа причин ЖДА связана с аномальной секрецией гепсидина, гормона, вырабатываемого печенью, а также белка острой фазы. Гепсидин отвечает за регуляцию системного гомеостаза Fe, связываясь с ферропортином, белком, транспортирующим Fe (например, из энтероцитов и макрофагов ретикулоэндотелиальной системы селезенки), он ингибирует поступление Fe из желудочно-кишечного тракта и Fe из эритроцитов, разрушенных в селезенке. Хроническое воспаление, сопровождающее, например, инфекцию (*Helicobacter pylori*), аутоиммунное заболевание или аллергию, увеличивает секрецию гепсидина в печени. Повышенная секреция гепсидина также наблюдается у детей с ожирением, которое почти вдвое увеличивает риск развития дефицита Fe, при этом в три раза чаще у девочек [13].

Пороговые значения Hb содержания гемоглобина варьирует в зависимости от возраста, расы и пола, зависит от факторов окружающей среды. У новорожденных уровень Hb выше, чем у детей старшего возраста, но затем достигает физиологического минимума (анемия новорожденных) в возрасте от 9 до 12 недель жизни. Уровень Hb постепенно повышался в течение всего детства, и стабилизировался на уровне, характерном для взрослых, к подростковому периоду. Гендерные различия наблюдаются преимущественно после полового созревания (циклические кровопотери у девочек с началом менструации, повышение уровня тестостерона у мальчиков после полового созревания способствует синтезу эритропоэтина и, следовательно, высоким уровням Hb, на уровне взрослых мужчин). Популяционные исследования показали более низкие уровни Hb, примерно на 0,5–1 г/дл, у афроамериканцев и латиноамериканцев по сравнению с европеоидами. Разработаны специальные кривые Hb, учитывающие этническую принадлежность и расу пациента, возраст детей [2; 17].

ЖДА может протекать в трех стадиях. На первой стадии, которая характеризуется легкой формой ЖДА, запасы Fe истощены, но выработка железозависимых белков сохраняется. Однако даже легкая форма ЖДА может вызывать такие симптомы, как усталость, когнитивные нарушения, снижение аэробной выносливости, ослабление иммунитета и ухудшение качества сна. На второй стадии, также известной как эритропоэз при дефиците Fe, потребность в Fe для эритропоэза удовлетворяется не в полной мере, но синтез Hb и эритропоэз сохраняются. Кроме того, может нарушаться выработка железозависимых белков. Третья стадия – ЖДА – характеризуется нарушением выработки Hb. Почти у всех недоношенных детей, не получавших дополнительное Fe с пищей, к 6-месячному возрасту развивается анемия.

Дефицит Fe может оставаться незамеченным до тех пор, пока у пациента не снизится уровень гемоглобина до критического уровня. Такая задержка в диагностике может подвергнуть пациентов риску редких, но серьезных осложнений, включая тромбоз, инсульт, застойную сердечную недостаточность и даже смерть. Дефицит Fe также связан с долгосрочными последствиями для нейropsychического развития, обучаемости.

Метаболизм железа. Ежедневно происходит метаболизм около 30–40 мг Fe, которое высвобождается из Hb после гибели эритроцитов, Fe поступает в плазму крови, где прочно связывается с внеклеточным переносчиком трансферрином. Через 1–2 часа, содержащий Fe трансферрин прикрепляется к специфическим рецепторам, расположенным на поверхности предшественников эритроцитов в костном мозге способствуя эритропоэзу. Вновь образованные эритроциты возвращаются в кровообращение в течение следующих 7–10 дней, и это завершает цикл обмена Fe.

Железо распределяется в виде активного метаболита, после разрушения эритроцитов, всасывается в тонком кишечнике (только 10% Fe, поступающего с пищей). Лучше усваивается гемовая форма (органическая), тогда как негемовая (неорганическая) требует восстановления до Fe²⁺. Гемовое Fe всасывается в неизменном виде белком-переносчиком гема 1 (HCP1), тогда как негемовое Fe транспортируется в окисленной форме, транспортером двухвалентных ионов металлов 1 (DMT1) через кишечный эпителий предварительно восстанавливаясь под действием ферриредуктазой. Поступление Fe из тонкого кишечника в плазму крови опосредуется железооксидазой, гепестином и ферропортином 1.

Источником негемового Fe в основном являются овощи, злаки и орехи. Отмечено, что растительная клетчатка, фитаты в злаках и бобовых, кальций и дубильные вещества в чае, снижают усвоение негемового Fe. И наоборот витамин С, Аскорбиновая кислота, лимонная кислота, гемовое Fe и грудное молоко способствуют усвоению негемового Fe. Негемовое Fe транспортируется трансферрином, связывающим белком, вырабатываемым печенью. В свою очередь синтез трансферрина в печени зависит от уровня Fe, его синтез увеличивается при дефиците Fe и снижается при хронических заболеваниях.

Источником гемового Fe является мясо, рыбы. Гемовое Fe отличается высокой биодоступностью, чем негемовое.

Примерно 75% всего Fe в организме связано в кислород-транспортирующих гемопротейнах, гемоглобине и миоглобине. «Запасной пул» Fe представлен белками – ферритином и его агрегированной формой гемосидерином, содержащими до 25% Fe. 3% используется различными ферментами в качестве кофактора [4]. Большая часть резерва Fe локализуется в клетках макрофагально-моноцитарной системы, особенно в печени, селезенке, костном мозге и скелетных мышцах. Ферритин является свободно доступным и растворимым веществом, он хранится в гепатоцитах, макрофагах (селезенке), костном мозге, сыворотке и эритроцитах. Количество ферритина в кровообращении соответствует общему запасу в организме [3; 4]. Ферритин содержит приблизительно 20% Fe, необходим для абсорбции, хранения и высвобождения Fe. Это форма хранения Fe, и он остается в тканях организма до тех пор, пока не понадобится для эритропоэза.

Для поддержания системного гомеостаза Fe необходима эффективная коммуникация между энтероцитами двенадцатиперстной кишки и эритроидными предшественниками. От 60–70% функционального Fe в организме содержится в циркулирующем Hb, в котором Fe связано с трансферрином. Регуляция всасывания Fe обеспечивается эритропоэтином. При дефиците Fe всасывание Fe увеличивается за счет стимуляции синтеза трансферрина в печени, экспрессии ферропортина на макрофагах и увеличения экспрессии рецептора трансферрина (TfR1) в клетках костного мозга и других тканях. Гепсидин (гормон, синтезируется в печени) контролирует концентрацию циркулирующего Fe в крови, ингибируя его поглощение и биодоступность энтероцитами двенадцатиперстной кишки, гепатоцитами и макрофагами, связываясь с транспортером Fe ферропортином на этих клетках [3] вызывая его внутриклеточную интернализацию и деградацию. Путь ферропортин-гепсидин регулирует гомеостаз Fe. Ферропортин – это мембранный белок-экспортер Fe на гепатоцитах, энтероцитах двенадцатиперстной кишки и макрофагах. При дефиците Fe синтез гепсидина снижается, что приводит к увеличению как экспрессии ферропортина, так и доступности Fe [1; 17; 25].

Запасы Fe у плода формируются за счет антенатального поступления через плаценту от матери. Доношенный ребенок рождается с достаточными запасами Fe как минимум на первые четыре-шесть месяцев после рождения. Новорожденный использует Fe с высокой скоростью в первые месяцы жизни для ускоренного роста и увеличения объема крови. Запасы Fe у младенца уменьшаются на 50% к 4 месяцам жизни. Дети становятся полностью зависимыми от поступления Fe с пищей примерно в 6 месяцев. Рекомендуемая суточная норма (РСН) составляет от 7,0 до 11,0 мг в день и от 5,8 до 9,0 мг в день для младенцев в возрасте от 5 месяцев до менее 1 года и от 1 до 3 лет соответственно. К второму году жизни РСН снижается до 10 мг в день для детей в возрасте от 4 до 10 лет. РСН в возрасте 11 лет увеличивается до 18 мг в день для обеспечения усиленного роста, характерного для подросткового возраста (рис. 1). У мальчиков потребность в Fe наиболее высока в период пика полового созревания, поскольку увеличение объема крови, миоглобина и мышечной массы. У женщин потребность в Fe остается высокой из-за кровопотери во время менструации, которая составляет приблизительно от 20 до 58 мг в месяц [1; 3; 12; 22].

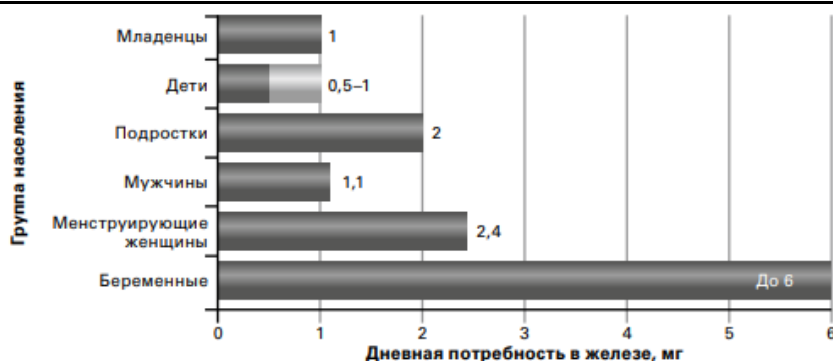


Рис. 1. Дневная рекомендуемая суточная норма (РСН) железа в различных возрастных группах

Клинические последствия дефицита железа. Клинические проявления, варьируемые, от бессимптомного течения до чрезмерной усталости, раздражительности и наличия пикацизма (аллотриофагия, парорексия или извращение вкуса). Полифункциональность Fe в организме, при его дефиците может определять мультисистемное расстройство, а не только гематологическое состояние, связанное с анемией.

При развитии анемии и нарушении оксигенации тканей, организм компенсирует это увеличением выработки эритропоэтина для повышения количества эритроцитов, усилением высвобождения кислорода эритроцитами в ткани, увеличением сердечного выброса и избирательного перераспределения крови к жизненно важным органам. Симптомы и признаки различаются в зависимости от длительности и тяжести анемии.

У пациентов с острой, тяжелой анемией наблюдаются явные симптомы – гипоксия, гиповолемический шок, застойная сердечная недостаточность и судороги, которые могут привести к смерти.

К распространенным признакам хронической анемии относятся бледность, одышка, усталость, непереносимость физических нагрузок, головокружение, анорексия и обмороки. При гемолизе могут наблюдаться желтуха и темная моча. Пациенты с легкой и умеренной хронической анемией иногда протекают бессимптомно по сравнению со степенью анемии, поскольку компенсаторные механизмы успевают активироваться [7].

Лабораторная диагностика дефицита железа. Первичное базовое лабораторное обследование включает общий анализ крови (ОАК), исследование мазка периферической крови, подсчет ретикулоцитов, прямой антиглобулиновый тест (ПАТ) и определение уровня билирубина в сыворотке крови [7].

В мазке периферической крови при ЖДА могут наблюдаться микроцитарные, гипохромные эритроциты с редкими мишеневидными, эллиптическими, каплевидными, фрагментированными эритроцитами и анизоцитозом. морфология эритроцитов является нечувствительным индикатором как для исключения, так и для подтверждения ЖДА. Исследование препарата аспирата костного мозга обычно считается окончательным маркером дефицита Fe, но представляет собой инвазивную и сложную процедуру. Исследование костного мозга не помогает в диагностике дефицита Fe у младенцев и маленьких детей, поскольку в этом возрасте в костном мозге в виде гемосидерина хранится мало Fe или оно вообще не хранится [3].

Концентрация Fe в плазме, измеряется одновременно с трансферрином и его специфическим белком-транспортёром как метод оценки состояния Fe. Любое снижение запасов Fe приводит к увеличению синтеза трансферрина. При установленном клеточном дефиците Fe уровень сывороточного (TfR) повышается пропорционально степени дефицита Fe. Концентрация плазменного TfR не повышается при инфекции или воспалении, в отличие от плазменного ферритина. Следовательно, измерение концентрации сывороточного TfR в плазме может применяться в качестве ЖДА, вызванной дефицитом Fe, от анемии, связанной с

хроническими воспалительными заболеваниями. Фактор некроза опухоли и ИЛ-6, снижают экспрессию TfR.

Уровень общей железо-связывающей способности (TIBC), рассчитывается по шкале, он низок у пациентов с недоеданием, злокачественными новообразованиями и хроническими инфекциями. Коэффициент насыщения трансферрина (TfSAT или TSAT) – это расчетный показатель, который точно отражает, какая доля транспортных «мест» занята ионами Fe в кровотоке. Он рассчитывается путем деления концентрации Fe в сыворотке на TIBC, выраженное в процентах. Снижение уровня трансферрина ниже 16% является надежным показателем недостаточного поступления Fe в развивающиеся эритроциты [3].

Концентрация сывороточного ферритина прямо пропорциональна запасам Fe в организме здоровых людей. Так 1 мг/л сывороточного ферритина соответствует 8–10 или 120 мг запасного Fe/кг массы тела. Уровень сывороточного ферритина повышен у пациентов с острым или хроническим воспалением, злокачественными новообразованиями или заболеваниями печени, поэтому его использование в качестве маркера статуса Fe у таких пациентов ограничено. В этой связи результаты анализа ферритина следует интерпретировать с учетом показателей С-реактивного белка (СРБ), биомаркера острой инфекции. Уровень СРБ снижается после воспаления, в связи с этим СРБ является маркером для мониторинга течения заболевания. Сниженный уровень сывороточного ферритина в настоящее время считается лучшим и наиболее специфическим маркером доступности Fe в организме, и его определение может использоваться в рутинной диагностике [4; 6; 8].

Показатель ширины распределения эритроцитов – RDW (Red Cell Distribution Width) является чувствительным индикатором ЖДА и используется в качестве скринингового инструмента, в связи с тем, что при ЖДА существует обратная зависимость между уровнем Hb в сыворотке и RDW. Снижение показателей MCV (Mean Corpuscular Volume), которое сопровождается повышением RDW, должна насторожить врача и исключить возможность ЖДА у пациента.

Цинковый эритроцитарный протопорфирин (ЗЭП/ZEP) является непосредственным предшественником Hb. ZEP синтезируется, когда цинк включается в протопорфирин вместо Fe на заключительном этапе биосинтеза гема. Концентрация ZEP в крови увеличивается при недостатке Fe для производства Hb, но специфичность ZEP ограничена, поскольку уровень ZEP повышается при отравлении свинцом, воспалении и гемоглобинопатиях. Было установлено, что ZEP является наиболее чувствительным тестом для диагностики дефицита Fe, но менее специфичным, чем сывороточный ферритин. Рекомендовано использовать ZEP в качестве скринингового инструмента при оценке дефицита Fe.

Согласно метаанализу 2022 года, количество ретикулоцитов более информативный и важный показатель при диагностике ЖДА, чем MCV и показатель содержания ферритина. Кроме того, CHr (содержание гемоглобина в ретикулоцитах) вместе с другими параметрами эритроцитов может использоваться для дифференциации бета-талассемии от ЖДА [10; 21].

Свободное Fe в сыворотке (Fe), общая железо-связывающая способность (TIBC) и ненасыщенная/латентная железо-связывающая способность (UIBC – Unsaturated Iron Binding Capacity), а также насыщенность трансферрином (TfS) в настоящее время считаются дополнительными, но не главными при диагностике. Рецептор трансферрина (sTfR), концентрация которого в сыворотке повышается при функциональном дефиците Fe значительно не меняется в показателях при воспалительных процессах, повышается в состояниях стимулированного эритропоэза, мегалобластной анемии, талассемии и гипоксии.

Помимо снижения уровня Hb, связанного со снижением MCV, снижение среднего содержания Hb в эритроцитах (MCH) и снижение количества эритроцитов с увеличением ширины распределения эритроцитов (RDW) являются убедительными признаками ЖДА. Индекс Менцера, получаемый путем деления MCV на количество эритроцитов, применяется для дифференциации талассемии (<13) и ЖДА (>13) при обследовании пациентов с микроцитарной анемией. Повышенное количество тромбоцитов и, в тяжелых случаях, снижение

количества лейкоцитов также ассоциируются с ЖДА. Содержание Hb в ретикулоцитах (CHr) является еще одним инструментом для диагностики ЖДА, поскольку это хороший показатель доступности Fe и ранний маркер железодефицитного эритропоэза [11].

Использование методов секвенирования ДНК повысило точность генетической диагностики во многих случаях наследственных анемий [7].

Таким образом, по оценкам Всемирной организации здравоохранения, примерно четверть населения мира страдает анемией, включая почти половину детей дошкольного возраста. Анемия связана с повышенной заболеваемостью, включая неврологические осложнения, повышенный риск низкой массы тела при рождении, инфекции и сердечную недостаточность, а также повышенную смертность. При обследовании ребенка с анемией подробная информация об анамнезе, особенно о диете, воздействии факторов окружающей среды и семейном анамнезе, часто дает важные подсказки для постановки диагноза. Диагностическое тестирование включает поэтапный подход с использованием различных лабораторных методов. Растущая доступность генетического тестирования дает новые представления о механизмах наследственных анемий и позволяет диагностировать их во многих ранее недиагностированных случаях. Для решения проблемы алиментарных анемий применяются популяционные подходы. Новые фармакологические препараты и достижения в области генной терапии потенциально могут облегчить анемию и обеспечить стратегии лечения даже в самых сложных и тяжелых случаях [7].

References

1. Aksu T., Ünal Ş. Iron Deficiency Anemia in Infancy, Childhood, and Adolescence // *Turk Arch Pediatr.* – 2023. – Vol. 58, No. 4. – P. 358–362. – doi:10.5152/TurkArchPediatr.2023.23049. EDN: KONWRL
2. Aliyo A., Jibril A. Anemia and associated factors among under five year old children who attended Bule Hora general hospital in West Guji zone, Southern Ethiopia // *J Blood Med.* – 2022. – Vol. 13. – P. 395–406. – doi: 10.2147/jbm.S363876. EDN: CJICQW
3. Animasahun B.A., Itio A.Y. Iron deficiency and iron deficiency anaemia in children: physiology, epidemiology, aetiology, clinical effects, laboratory diagnosis and treatment: literature review // *Journal of Xiangya Medi.* – 2021. – Vol. 6. – P. 2. – doi: http://dx.doi.org/10.21037/jxy.
4. Chaber R., Helwich E., Lauterbach R., Mastalerz-Migas A. [et al.]. Diagnosis and Treatment of Iron Deficiency and Iron Deficiency Anemia in Children and Adolescents: Recommendations of the Polish Pediatric Society, the Polish Society of Pediatric Oncology and Hematology, the Polish Society of Neonatology, and the Polish Society of Family Medicine // *Nutrients.* – 2024. – Vol. 16, No. 21. – P. 3623. – doi: https://doi.org/10.3390/nu16213623. EDN: HWQCHT
5. Fayzullayevna M.K. Iron deficiency anemia in children: pathophysiological mechanisms and clinical management // *International journal of medical sciences.* – 2025. – Vol. 5, No. 09. – P. 1–15.
6. Fletcher A., Forbes A., Svenson N. Guideline for the laboratory diagnosis of iron deficiency in adults (excluding pregnancy) and children // *Br. J. Haematol.* – 2022. – Vol. 196. – P. 523–529. https://doi.org/10.1111/bjh.17900. EDN: PCBAZJ
7. Gallagher P.G. Anemia in the pediatric patient // *Blood.* – 2022. – Vol. 140, No. 6. – P. 571–593. – doi: 10.1182/blood.2020006479. EDN: YPKWJL
8. Garcia-Casal M.N., Pasricha S.R., Martinez R.X. Serum or plasma ferritin concentration as an index of iron deficiency and overload // *Cochrane Database Syst. Rev.* – 2021. – Vol. 5. – CD011817.
9. Jullien S. Screening of iron deficiency anaemia in early childhood // *BMC Pediatr.* – 2021. – Vol. 21 (Suppl. S1). – P. 337.
10. Kılıç M., Özpinar A., Serteser M. The effect of reticulocyte hemoglobin content on the diagnosis of iron deficiency anemia: A meta-analysis study // *J. Med. Biochem.* – 2022. – Vol. 41. – P. 1–13. https://doi.org/10.5937/jomb0-31435. EDN: AMLBQE
11. Ko C.W., Siddique S.M., Patel A., et al. AGA clinical practice guidelines on the gastrointestinal evaluation of iron deficiency anemia // *Gastroenterology.* – 2020. – Vol. 159, No. 3. – P. 1085–1094. – doi: 10.1053/j.gastro.2020.06.046. EDN: TJSZCQ
12. Kolarš B., Mijatović Jovin V., Živanović N., Minaković I., Gvozdenović N., Dickov Kokeza I., Lesjak M. Iron Deficiency and Iron Deficiency Anemia: A Comprehensive Overview of Established and Emerging Concepts // *Pharmaceuticals.* – 2025. – Vol. 18. – P. 1104. – doi: https://doi.org/10.3390/ph18081104. EDN: TPSUCH

13. Malden S., Gillespie J., Hughes A. Obesity in young children and its relationship with diagnosis of asthma, vitamin D deficiency, iron deficiency, specific allergies and flat-footedness: A systematic review and meta-analysis // *Obes. Rev.* – 2021. – Vol. 22. – e13129. <https://doi.org/10.1111/obr.13129>. EDN: SXAHPQ
14. Manceau H., Ausseil J., Masson D. Neglected comorbidity of chronic heart failure: Iron deficiency // *Nutrients.* – 2022. – Vol. 14. – P. 3214. <https://doi.org/10.3390/nu14153214>. EDN: WYEXTQ
15. Mansour D., Hofmann A., Gemzell-Danielsson K. A review of clinical guidelines on the management of iron deficiency and iron-deficiency anemia in women with heavy menstrual bleeding // *Adv. Ther.* – 2021. – Vol. 38. – P. 201–225.
16. Mantadakis E., Chatzimichael E., Zikidou P. Iron Deficiency Anemia in Children Residing in High and Low-Income Countries: Risk Factors, Prevention, Diagnosis and Therapy // *Mediterr J Hematol Infect Dis.* – 2020. – Vol. 12, No. 1. – e2020041. – doi: 10.4084/MJHID.2020.041. EDN: BWNTZL
17. Martinez-Torres V., Torres N., Davis J.A., Corrales-Medina F.F. Anemia and Associated Risk Factors in Pediatric Patients // *Pediatric Health Med Ther.* – 2023. – Sep 4;14. – P. 267–280. – doi: 10.2147/PHMT.S389105. EDN: KOOLTB
18. McCann S., Perapoch Amadó M., Moore S.E. The role of iron in brain development: A systematic review // *Nutrients.* – 2020. – Vol. 12. – P. 2001. <https://doi.org/10.3390/nu12072001>. EDN: SCCPTT
19. McEvoy M.T., Stuckert A.J., Castellanos M.I., et al. Management of nutritional iron deficiency anemia for young children in the emergency department // *Pediatr Blood Cancer.* – 2023. – Vol. 70, No. 3. – e30181. – doi: 10.1002/pbc.30181. EDN: JCHQNO
20. Nowak S., Wang H., Schmidt B. Vitamin D and iron status in children with food allergy // *Ann. Allergy Asthma Immunol.* – 2021. – Vol. 127. – P. 57–63. <https://doi.org/10.1016/j.anai.2021.02.027>. EDN: UZAUQH
21. Ogawa C., Tsuchiya K., Maeda K. Reticulocyte hemoglobin content // *Clin. Chim. Acta.* – 2020. – Vol. 504. – P. 138–145. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2020.01.032>. EDN: ARLZFP
22. Rummyantsev A.G., Zakharova I.N., Chernov V.M., Tarasova I.S. [et al.]. Prevention and treatment of iron-deficiency anemia in children under 1 year of age // *Pediatricheskaya farmakologiya – Pediatric pharmacology.* – 2015. – Vol. 12, No. 4. – P. 387–391. – doi: 10.15690/pf.v12i4.1418. EDN: UMTZNF
23. Tracy M.S., Yasuda J.L., Rufo P.A. Protein-losing enteropathy in the setting of iron deficiency anemia: A case series // *JPGN Rep.* – 2020. – Vol. 1. – e009.
24. Trillo A., Kronenfeld R., Simms-Cendan J., Davis J.A., Corrales-Medina F.F. High prevalence of congenital factor VII (FVII) deficiency in adolescent females with heavy menstrual bleeding and iron deficiency anemia // *J Pediatr Adolesc Gynecol.* – 2022. – Vol. 35, No. 6. – P. 647–652. – doi: 10.1016/j.jpag.2022.07.013. EDN: BTAUTI
25. Zanetti R., Feldman B., Porea T. Microcytic anemia // *Pediatr Rev.* – 2021. – Vol. 42, No. 1. – P. 41–43. – doi: 10.1542/pir.2019–0295. EDN: SBAADN

Лаврентьева Анна Олеговна

студентка

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
университет им. И.Н. Ульянова»
г. Чебоксары, Чувашская Республика

Фролова Мария Александровна

канд. хим. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
университет им. И.Н. Ульянова»
г. Чебоксары, Чувашская Республика

Сапёрова Елена Владимировна

канд. биол. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
педагогический университет им. И.Я. Яковлева»
г. Чебоксары, Чувашская Республика

Добросмыслов Светослав Анатольевич

учащийся

МАОУ «СОШ №3»

г. Канаш, Чувашская Республика

Журавлев Анатолий Петрович

магистрант

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный аграрный университет»
г. Чебоксары, Чувашская Республика

DOI 10.31483/r-168440

ВЛИЯНИЕ МУЗЫКИ РАЗЛИЧНЫХ ЖАНРОВ НА ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДОМАШНИХ ЖИВОТНЫХ

Аннотация: в статье представлены результаты сравнительного анализа влияния акустических стимулов на психофизиологическое состояние домашних животных (собак и кошек). Проведена экспериментальная оценка поведенческих и физиологических показателей (времени отдыха/сна, частоты сердечных сокращений, индекса релаксации) под воздействием различных музыкальных жанров и специализированных композиций. Изысканием исследования являлась проверка гипотезы о видоспецифичности реакции животных на музыку в зависимости от её акустических параметров (темпа, частотного спектра, гармонической структуры). Результаты показали статистически значимые различия в реакциях на классическую, рок-музыку и видоспецифичные композиции, что позволяет обосновать рекомендации по формированию оптимальной акустической среды для животных.

Ключевые слова: музыкотерапия животных, стресс-реакция, слуховое восприятие, поведенческие индикаторы, акустическое обогащение среды, собаки, кошки, частота сердечных сокращений, индекс релаксации.

Проблема влияния акустической среды на благополучие домашних животных приобретает особую актуальность в условиях урбанизации: повышенный фоновый шум, резкие звуки, а также интуитивное использование музыки владельцами создают неоднозначный акустический фон, который может как снижать, так и усиливать стресс у питомцев. Известно, что слуховая система животных существенно отличается от человеческой: у собак и кошек шире диапазон воспринимаемых частот, выше чувствительность к динамике и тембровым изменениям, что определяет специфику их реакций на музыкальные стимулы [1; 3; 5; 6].

В последние годы растёт интерес к методам акустического обогащения среды в зоопсихологии и ветеринарии: применение музыки рассматривается как неинвазивный способ

модуляции эмоционального состояния животных в приютах, клиниках и домашних условиях [4]. При этом данные о сравнительной эффективности разных жанров остаются фрагментарными, а рекомендации – часто основаны на эмпирическом опыте, а не на количественных показателях.

Актуальность настоящего исследования определяется необходимостью научного обоснования выбора акустических стимулов для снижения стресса у домашних животных с учётом видовых особенностей слухового восприятия. Практическая значимость работы заключается в возможности использования полученных данных для разработки адресных рекомендаций по акустической среде в местах содержания животных [2].

Целью работы являлся комплексный анализ влияния музыки различных жанров и акустических характеристик на поведение и уровень стресса у домашних животных, в частности собак и кошек для разработки научно обоснованных рекомендаций по её применению.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи.

1. Проанализировать научную литературу по особенностям слухового восприятия и механизмам стресс-реакции у собак и кошек, а также по современным подходам к акустическому обогащению среды.

2. Определить ключевые акустические параметры музыкальных стимулов (темп, частотный спектр, гармоническая структура), потенциально влияющие на эмоциональное состояние животных.

3. Провести эмпирическое исследование: структурированное наблюдение за поведением и измерение физиологических показателей у собак и кошек при воздействии разных аудиостимулов.

4. Сопоставить полученные данные с теоретическими представлениями о слуховом восприятии животных и сформулировать практические рекомендации по использованию музыки для снижения стресса.

Эксперимент выполнен на базе Чувашского государственного университета имени И. Н. Ульянова. Объектом исследования служили поведенческие и физиологические показатели 5 собак и 5 кошек в домашней обстановке [1; 3; 5; 6]. Для минимизации внешних влияний все процедуры проводились в стандартизированных условиях: единая методика наблюдения, фиксированное расстояние до источника звука (1,5 м), контролируемая громкость (50–55 дБ), отсутствие посторонних шумов.

В качестве основных методов исследования использованы:

а) прямое структурированное наблюдение с видеозаписью и протоколированием поведенческих реакций: время отдыха/сна (в минутах за 5-минутный сеанс), частота стресс-сигналов (вокализация, беспокойное поведение, изменение позы);

б) физиологическая оценка – измерение частоты сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин) с помощью ветеринарного пульсоксиметра до и после воздействия стимула;

в) экспертная оценка позы и общего состояния для расчёта условного «Индекса релаксации» по 10-балльной шкале (1 – максимальное беспокойство, 10 – максимальная релаксация).

Дизайн исследования – перекрёстный: каждое животное последовательно и в случайном порядке подвергалось воздействию четырёх 5-минутных аудиостимулов:

- контроль (тишина).
- классическая музыка (фрагменты произведений В. А. Моцарта, темп 60–80 ВРМ).
- рок-музыка (хэви-метал, темп >120 ВРМ, выраженные диссонансы).
- специализированная музыка для животных (композиции с биологически значимыми частотами, имитирующими мурлыканье и другие видоспецифичные звуки).

Критериями оценки служили: среднее время отдыха/сна за сеанс, изменение ЧСС относительно базового уровня, значение индекса релаксации. Для статистической обработки данных применяли парный t-критерий Стьюдента ($p < 0,05$).

В результате проведённого эксперимента были получены данные, демонстрирующие выраженную зависимость поведенческих и физиологических показателей животных от типа аудиостимула.

Таблица 1

Влияние различных аудиостимулов на поведенческие показатели и индекс релаксации у собак и кошек

Аудиостимул	Вид животных	Время отдыха/сна, мин. за сеанс	ЧСС, уд./мин	Индекс релаксации (1–10)
1. Контроль (тишина)	Собаки	8,5	95	5,5
	Кошки	11,2	130	6,8
2. Классика	Собаки	10,2	88	7,5
	Кошки	13,5	125	8,0
3. Рок	Собаки	5,0	115	3,0
	Кошки	6,0	145	3,5
4. Музыка для животных	Собаки	9,8	90	7,0
	Кошки	15,0	120	9,2

Данные таблицы свидетельствуют о наличии статистически значимых различий в реакциях животных на разные типы звукового фона ($p < 0,05$). Для визуализации сравнительной динамики ключевого показателя – индекса релаксации – был построен график.

Дополнительно для наглядной демонстрации влияния музыки на базовый поведенческий индикатор – возможность отдыха – был построен второй график.

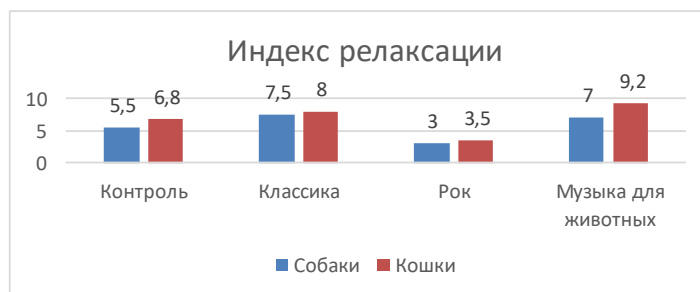


Рис. 1. Динамика условного «Индекса релаксации» у собак и кошек под воздействием разных аудиостимулов

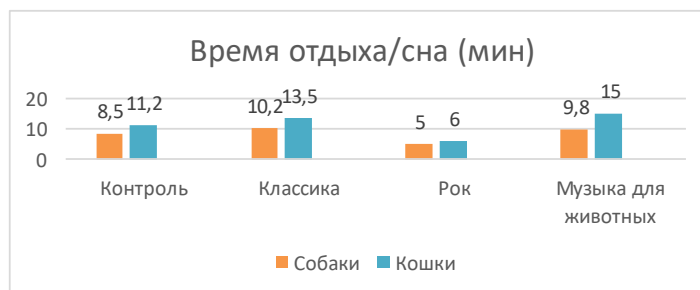


Рис. 2. Влияние аудиостимулов на время отдыха/сна у собак и кошек

Реакция на классическую музыку. У собак и кошек наблюдалось увеличение времени отдыха и индекса релаксации по сравнению с тишиной (рост индекса на 36% у собак и 18% у кошек). Седативный эффект объясняется оптимальными акустическими параметрами: медленный темп (~65 BPM), близкий к физиологическому ритму покоя, плавные мелодии и

консонантные гармонии создают предсказуемую безопасную среду, способствующую релаксации через механизм ритмического энтропийного.

Реакция на рок-музыку была однозначно стрессогенной. Время отдыха сократилось на 41% у собак и 46% у кошек, индекс релаксации упал до минимальных значений (3,0–3,5). Поведенчески это проявлялось в беспокойстве, учащённом дыхании и вокализациях. Эффект обусловлен акустической агрессией стимула: быстрый хаотичный ритм (>120 BPM), высокая громкость, диссонансы и резкие тембры интерпретируются нервной системой как сигналы угрозы, активируя стресс-ответ [2; 4].

Реакция на специализированную музыку выявила видоспецифичные различия. Кошки показали максимальные результаты (15 минут отдыха, индекс 9,2), что подтверждает высокую эффективность композиций с биологически значимыми звуками (частоты, ассоциирующиеся с мурлыканьем). Для собак эффект был сопоставим с классикой (индекс 7,0 против 7,5), что может указывать на менее специфичные слуховые предпочтения или большую адаптивность к «человеческой» музыке.

Полученные результаты полностью подтверждают выдвинутую гипотезу: влияние музыки носит не случайный, а закономерный характер и определяется её объективными акустическими параметрами. Музыка, чьи характеристики (медленный темп, низко-среднечастотный спектр, консонантность) далеки от природных акустических маркеров опасности, выступает как эффективный модулятор стресс-реакции. Напротив, стимулы, имитирующие хаос или угрозу, усугубляют состояние тревоги [4].

Особо следует отметить практическую ценность высокой эффективности видоспецифичной музыки для кошек – это открывает перспективы для разработки адресных акустических программ обогащения среды [2]. Для собак же универсальным и доступным инструментом остаётся классическая музыка.

Проведённое исследование подтвердило, что музыка оказывает статистически значимое влияние на поведение и эмоциональное состояние домашних животных, причём этот эффект носит видоспецифичный характер и напрямую зависит от акустических параметров звукового стимула.

Установлено, что классическая музыка с медленным темпом (60–80 BPM) и гармоничной структурой является эффективным и доступным средством для снижения стресса как у собак, так и у кошек. Специализированная музыка, созданная с учётом видовой акустической коммуникации, демонстрирует максимальный положительный эффект [1; 3; 5; 6], особенно для кошек. Напротив, рок-музыка с агрессивными акустическими характеристиками вызывает выраженную стресс-реакцию у обоих видов.

Полученные результаты имеют практическую ценность для применения в ветеринарной практике, приютах для животных и домашних условиях с целью создания оптимальной акустической среды и повышения благополучия питомцев. Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка персонализированных акустических программ с учётом породных особенностей и индивидуальных предпочтений животных.

Список литературы

1. Курятова Е.В. Терапия хронического эмоционального стресса собак / Е.В. Курятова, О.Н. Тюкавкина, А.С. Пискунов // Дальневосточный аграрный вестник. – 2022. – №3 (63). – С. 59–67. DOI 10.22450/199996837_2022_3_59. EDN POUETA
2. Мухортова Л.И. Техногенные системы и экологический риск: учебное пособие / Л.И. Мухортова, П.М. Лукин, И.В. Добросмыслова; отв. ред. П.М. Лукин; М-во образования и науки РФ, Федеральное агентство по образованию, Чувашский гос. ун-т им. И.Н. Ульянова. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2009. – 443 с. – ISBN 978-5-7677-1302-8.
3. Сяосяо С. Восприятие музыки животными / С. Сяосяо // Художественное произведение в современной культуре: творчество, исполнительство, гуманитарное знание: сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции (Уфа, 28 мая 2021 г.). – Уфа: Уфимский государственный институт искусств имени Загира Исмагилова, 2021. – С. 156–159. EDN WIAAEO

4. Темерев С.В. Зоопсихология. Сравнительная психология: учебник для вузов / С.В. Темерев. – М.: Юрайт, 2021. – 338 с. – ISBN 978-5-534-13978-2.
5. Чернявская А.В. Шумовое влияние на животный мир / А.В. Чернявская, Н.А. Ячменёв // Научные достижения в XXI веке: модернизация, инновации, прогресс. – 2022. – С. 104–109. EDN YYCVYF
6. Cracknell N. The effects of different types of music on the behavior of kennelled dogs / N. Cracknell, D.S. Mills, G. Feenders // Journal of Veterinary Behavior: Clinical Applications and Research. – 2017. – Vol. 17. – P. 50.

Монастырев Айсен Альбертович

студент

Институт физической культуры и спорта
ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный
университет им. М.К. Аммосова»
г. Якутск, Республика Саха (Якутия)

Васильев Даниил Николаевич

студент

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный
университет им. М.К. Аммосова»
г. Якутск, Республика Саха (Якутия)

Научный руководитель

Сентизова Мария Ивановна

канд. пед. наук, доцент

Институт физической культуры и спорта
ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный
университет им. М.К. Аммосова»
г. Якутск, Республика Саха (Якутия)

МОЛЕКУЛЯРНО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ СЕНСОРНОЙ ТРАНСДУКЦИИ В НОЦИЦЕПТИВНЫХ НЕЙРОНАХ ДОРСАЛЬНЫХ ГАНГЛИЕВ ПРИ ХРОНИЧЕСКОЙ БОЛИ

Аннотация: хроническая боль является результатом патологической пластичности сенсорных нейронов дорсальных корешковых ганглиев (ДКГ), в частности ноцицепторов. В работе проведено комплексное исследование молекулярных механизмов сенсорной трансдукции на модели хронической конструкционной травмы седалищного нерва (CCI) у крыс. Методами количественной ПЦР, вестерн-блоттинга и патч-кламп *in situ* выявлено, что через 14 дней после CCI в малых ДКГ-нейронах (диаметр <25 мкм) происходит переключение экспрессии ионных каналов: значительное повышение мРНК TRPV1, TRPA1 и Nav1.8, снижение Kv4.3 и GIRK2. Порог активации ноцицепторов по току снижается на 37%, а частота спонтанных потенциалов действия возрастает в 4 раза. Ключевыми регуляторами выступают p38 MAPK и PI3K/Akt, ингибирование которых частично восстанавливает нормальную возбудимость. Показана роль микроРНК-132-3р, таргетирующей KCNQ2. Полученные данные открывают новые мишени для лечения нейропатической боли.

Ключевые слова: хроническая боль, дорсальные ганглии, ноцицепторы, сенсорная трансдукция, TRPV1, натриевые каналы, пластичность, микроРНК.

Введение.

Хроническая боль является одной из наиболее актуальных проблем современной медицины, поражая до 20% населения и часто оказываясь резистентной к стандартной терапии. Ключевое звено патогенеза – сенситизация ноцицептивных нейронов дорсальных корешковых ганглиев (ДКГ). В физиологических условиях эти псевдоуниполярные клетки с диаметром тела 15–30 мкм генерируют потенциалы действия только в ответ на повреждающие стимулы (температура >43°C, механическое давление, кислая среда, эндогенные альгогены).

При хронической боли, особенно нейропатической, возникают стойкие изменения экспрессии, посттрансляционной модификации и пространственного распределения сенсорных рецепторов и ионных каналов.

Процесс сенсорной трансдукции включает преобразование физического или химического стимула в рецепторный потенциал через активацию TRP-каналов (TRPV1, TRPA1, TRPM8), P2X-рецепторов, ASIC и другие. Этот потенциал затем распространяется к области инициирования потенциалов действия (аксонный холмик), где осуществляется интеграция с помощью потенциал-зависимых натриевых (Nav1.7, Nav1.8, Nav1.9) и калиевых (Kv, KCNQ, GIRK) каналов. При хронической боли порог активации снижается, возникает эктопическая импульсация и спонтанная активность.

Несмотря на значительный прогресс, системное понимание того, как именно меняется вся трансдукционная цепочка в живых нейронах при длительной болевой патологии, остаётся неполным. Кроме того, недостаточно изучены внутриклеточные сигнальные пути и эпигенетические регуляторы, координирующие эти изменения.

Цель настоящего исследования – охарактеризовать молекулярно-физиологические изменения сенсорной трансдукции в ноцицептивных нейронах ДКГ на модели хронической нейропатической боли (CCI) и выявить ключевые регуляторные механизмы.

Материалы и методы.

Животные и модель боли. Работа выполнена на 72 взрослых самцах крыс Wistar (масса 250–300 г). Хроническую конструкционную травму седалищного нерва (chronic constriction injury, CCI) моделировали по Bennett и Xie: под изофлурановой анестезией на правой задней конечности обнажали седалищный нерв и накладывали 4 лигатуры из хромированного кетгута (нить 4–0) с интервалом 1 мм. Контрольные животные ($n = 24$) подвергались ложной операции (обнажение нерва без лигатур). Две экспериментальные группы: CCI + вещество-носитель ($n = 24$) и CCI + фармакологические ингибиторы ($n = 24$). Поведенческую оценку проводили за 1 день до операции и на 3, 7, 14, 21 день после: тест на механическую аллодинию (von Frey), тепловую гипералгезию (Hargreaves) и холодовую чувствительность (ацетонный тест). Через 14 дней животных эвтаназировали, извлекали L4-L5 ДКГ с обеих сторон.

Изоляция и идентификация ноцицепторов. Ганглии инкубировали в растворе Дульбекко с коллагеназой IV типа (1 мг/мл) и диспазой (2 мг/мл) в течение 45 минут при 37°C, затем механически диссоциировали. Живые нейроны высевали на покрытые поли-L-лизинем покровные стёкла. Ноцицепторы малого диаметра (<25 мкм) идентифицировали по связыванию изолектина IB4 (конъюгат с Alexa 488) – маркер непептидергических C-волокон, либо по иммунореактивности к CGRP.

Количественная ПЦР в реальном времени. Из 10 объединённых ганглиев на группу выделяли РНК (Trizol), синтезировали кДНК. Проводили ПЦР на приборах CFX96 с праймерами к TRPV1, TRPA1, TRPM8, Nav1.7, Nav1.8, Nav1.9, Kv1.4, Kv4.2, Kv4.3, KCNQ2 (Kv7.2), GIRK1, GIRK2, ASIC3, P2X3, $\alpha 1$ -субъединице CaV3.2. Нормировка на GAPDH. Относительную экспрессию вычисляли методом $\Delta\Delta C_t$.

Вестерн-блоттинг. Лизаты ДКГ разделяли в ПААГ-электрофорезе, переносили на нитроцеллюлозу, инкубировали с первичными антителами к TRPV1, Nav1.8, фосфо-p38 (Thr180/Tyr182), общему p38, фосфо-Akt (Ser473), общему Akt, фосфо-ERK1/2 (Thr202/Tyr204), общему ERK1/2, а также к микроРНК-132–3р с помощью метода pull-down (биотинилированные зонды). Визуализация ECL.

Патч-кламп в конфигурации цельная клетка. Записи проводили на изолированных нейронах ДКГ (малых) в течение 4–8 часов после диссоциации. Внешний раствор содержал (в mM): NaCl 140, KCl 5, CaCl₂ 2, MgCl₂ 1, HEPES 10, глюкозу 10 (pH 7,4). Внутриклеточный – K-глюконат 120, KCl 20, HEPES 10, EGTA 0,5, Mg-ATP 4, Na-GTP 0,3 (pH 7,2). Стимуляция – ступени тока от -40 до +100 пА длительностью 500 мс. Регистрировали: мембранный потенциал покоя (RMP), порог деполяризации (пА), входное сопротивление (R_{in}), количество потенциалов действия (ПД) при максимальном токе, частоту спонтанной активности за 60

с. Также проводили измерение TRPV1-опосредованных токов в ответ на капсаицин (1 мкМ) при фиксации потенциала -60 мВ.

Фармакологическое вмешательство. Третьей группе животных ССИ на 7–14 день вводили ингибитор p38 MAPK – SB203580 (10 мкМ, 5 мкл интратекально ежедневно) или ингибитор PI3K – LY294002 (5 мкМ). За 1 час до эвтаназии проводили последнюю инъекцию.

Анализ микроРНК. С помощью системы «Дайсер-субстратные короткие интерферирующие РНК» (DsiRNA) блокировали miR-132–3p в отдельных нейронах *ex vivo*.

Статистическая обработка: однофакторный ANOVA с пост-тестом Бонферрони, либо t-критерий Стьюдента для парных сравнений. Уровень значимости $p < 0,05$.

Результаты.

1. Поведенческие проявления хронической боли у ССИ-крыс.

С 3-го дня после операции у животных с ССИ развивалась выраженная механическая аллодиния (порог von Frey снизился с $15,8 \pm 1,2$ г до $4,3 \pm 0,6$ г, $p < 0,001$) и тепловая гипералгезия (латентность отдергивания при 50°C: с $12,4 \pm 0,9$ с до $3,7 \pm 0,5$ с, $p < 0,001$). К 14 дню эти изменения достигали пика и сохранялись до 21 дня. Холодовая гипералгезия (ацетон) появилась позже (к 7 дню) и была менее выражена. Ложная операция не меняла порогов.

2. Изменения экспрессии транскриптов сенсорных каналов в ДКГ. Количественная ПЦР выявила значительную перестройку ноцицептивного транскриптома на 14 день ССИ (по сравнению с контролем и контралатеральной стороной). Уровень мРНК TRPV1 возрос в 4,7 раза ($p < 0,001$), TRPA1 – в 3,2 раза ($p = 0,002$). Экспрессия TRPM8, напротив, снизилась на 54% ($p = 0,01$). Среди натриевых каналов: Nav1.8 увеличился в 3,1 раза ($p < 0,001$), Nav1.7 – незначительно (+36%, $p = 0,09$), Nav1.9 – без изменений. Наибольшие изменения отмечены для калиевых каналов: Kv4.3 (основной компонент А-тока) снизился на 78% ($p < 0,001$), KCNQ2 (М-ток) – на 63% ($p = 0,003$), GIRK2 – на 58% ($p = 0,008$). Субъединица Kv1.4 (быстроинактивирующий) также снизилась на 45% ($p = 0,02$). Экспрессия ASIC3 и P2X3 увеличилась в 2,2 и 1,9 раза соответственно. CaV3.2 (Т-тип кальциевых) повысился в 2,4 раза.

3. Белковые уровни и посттрансляционные модификации.

Вестерн-блоттинг подтвердил увеличение содержания TRPV1 на 215% ($p < 0,01$) и Nav1.8 на 180% ($p = 0,002$) в гомогенатах ДКГ ССИ по сравнению с контролем. При этом обнаружили повышение фосфорилирования p38 MAPK в 4,3 раза (отношение p-p38/p38, $p < 0,001$), Akt – в 2,8 раза ($p = 0,003$), тогда как ERK1/2 не изменился. Обработка ингибитором p38 (SB203580) приводила к снижению TRPV1 до уровня, лишь на 35% превышающего контроль (вместо 215%), а ингибитор PI3K снижал экспрессию Nav1.8, но не TRPV1.

4. Электрофизиологические свойства малых нейронов ДКГ.

В нейронах от ССИ-крыс ($n = 35$) по сравнению с контрольными ($n = 38$) зарегистрированы следующие изменения:

- мембранный потенциал покоя не различался ($-56,2 \pm 1,4$ мВ против $-57,8 \pm 1,2$ мВ, $p = 0,38$);

- порог генерации ПД (по току) снизился с 68 ± 5 пА до 43 ± 4 пА (на 37%, $p < 0,001$). Это означает гипервозбудимость;

- входное сопротивление увеличилось с 128 ± 11 МОм до 204 ± 18 МОм ($p = 0,002$), что согласуется со снижением калиевых токов;

- максимальное количество ПД при стимуляции 80 пА выросло с $2,4 \pm 0,3$ до $6,1 \pm 0,5$ ($p < 0,001$), причём наблюдались повторные разряды с частотой 30–50 Гц;

- спонтанная активность в покое (без стимуляции) отсутствовала в контроле, но присутствовала у 68% нейронов ССИ (23 из 34), частота спонтанных ПД составила $1,8 \pm 0,4$ Гц (разброс от 0,2 до 5,1 Гц). Эти спонтанные разряды блокировались тетродотоксином (0,5 мкМ), что указывает на натрий-зависимую природу.

5. TRPV1-опосредованные токи и ответ на капсаицин.

При фиксации напряжения -60 мВ аппликация капсаицина (1 мкМ) индуцировала в контрольных нейронах ток плотностью 28 ± 6 пА/пФ. В нейронах ССИ плотность тока возросла

до 91 ± 1 2 пА/пФ ($p = 0,001$), что в 3,2 раза выше. При этом в 25% клеток ССИ наблюдалась спонтанная активность после смыва капсаицина, сохранявшаяся более 5 минут, что свидетельствует о сенситизации.

6. Роль p38 MAPK и PI3K/Akt.

Животные ССИ, получавшие ингибитор p38 (SB203580) с 7 по 14 день, демонстрировали частичное снижение механической аллодинии (порог von Frey вырос с 4,3 до 9,6 г, $p = 0,02$), а также уменьшение гиперэкспрессии TRPV1 (с 4,7-кратной до 2,1-кратной). В нейронах этих крыс спонтанная активность регистрировалась лишь у 24% клеток (против 68% в группе ССИ+носитель). Ингибитор PI3K (LY294002) в большей степени снижал Nav1.8 и гипервозбудимость, уменьшая количество ПД при стимуляции до $3,5 \pm 0,4$ (вместо 6,1), однако на TRPV1 влиял слабо.

7. МикроРНК-132-3р как регулятор М-тока.

По данным РНК-иммунопреципитации, в ДКГ ССИ обнаружено повышение miR-132-3р в 4,1 раза. Известно, что miR-132-3р связывается с 3'-UTR мРНК KCNQ2, подавляя её трансляцию. Инкубация диссоциированных нейронов ССИ с анти-miR-132 DsiRNA (50 нМ, 48 часов) восстанавливала экспрессию KCNQ2 на 67% от контрольного уровня и увеличивала М-ток (измеренный как блокировка линопиридином XE991), что сопровождалось нормализацией порога ПД с 43 пА до 58 пА ($p = 0,01$). Введение анти-miR-132 в субарахноидальное пространство крысам ССИ на 12–14 день снижало гипервозбудимость *ex vivo*.

Обсуждение.

Наше исследование впервые комплексно описывает молекулярно-физиологические перестройки сенсорной трансдукции в ноцицепторах ДКГ при хронической нейропатической боли. Полученные данные позволяют выделить три ключевых звена: 1) усиление трансдукционных токов за счёт повышения TRPV1 и TRPA1; 2) увеличение натриевой усилительной способности (Nav1.8); 3) критическое снижение калиевого «тормоза» (Kv4.3, KCNQ2, GIRK2). Именно комбинация этих изменений ведёт к гипервозбудимости и спонтанной активности – электрофизиологическому корреляту боли в отсутствие стимула.

Механизмы. p38 MAPK активируется при повреждении нерва (через TNF- α , IL-1 β) и непосредственно фосфорилирует TRPV1, снижая его порог активации, а также увеличивает транскрипцию TRPV1 через CREB. Ингибитор SB203580 частично обратил эти эффекты, подтверждая причинную роль. PI3K/Akt скорее влияет на посттрансляционный транспорт Nav1.8 к мембране, что согласуется с данными о том, что инсулиноподобный фактор роста повышает поверхностную экспрессию Nav1.8.

Особый интерес представляет miR-132-3р. Она индуцируется при нейропатической боли через транскрипционный фактор CREB. Подавляя синтез KCNQ2, она вызывает подавление М-тока – важного регулятора подпороговой возбудимости. Восстановление KCNQ2 с помощью анти-miR возвращало нейроны к нормовозбудимости, что открывает новую терапевтическую стратегию: использование антисенс-олигонуклеотидов против специфических микроРНК.

Сравнение с литературой. Ранее было показано, что при ССИ повышается TRPV1 и снижается Kv4.3, однако большинство работ измеряли только один параметр. Мы впервые количественно связали изменение экспрессии с физиологическим ответом (порог, частота разрядов, спонтанная активность). Парадоксальное снижение TRPM8 (холодового рецептора) может объяснять холодовую гипералгезию через потерю тонического торможения.

Ограничения. Модель ССИ затрагивает смешанную (аксональную и воспалительную) патологию, и некоторые изменения могут быть специфичны для неё. Исследование ограничено 14-м днём, тогда как хроническая боль может длиться месяцами. Также не изучали роль сателлитных глиальных клеток в модуляции трансдукции.

Выводы.

1. При хронической нейропатической боли в малых ноцицептивных нейронах ДКГ возникает характерный молекулярный паттерн: одновременное повышение TRPV1, TRPA1, Nav1.8, CaV3.2 и снижение Kv4.3, KCNQ2, GIRK2.

2. Эти изменения приводят к значительной гипервозбудимости: снижению порога генерации ПД на 37%, увеличению входного сопротивления, росту числа ПД в ответ на стимул и появлению спонтанной активности у 68% нейронов.

3. Ключевыми регуляторами выступают киназы p38 MAPK (контролирует TRPV1) и PI3K/Akt (контролирует Nav1.8), а также микроРНК-132-3р, подавляющая KCNQ2.

4. Фармакологическая блокада p38 и PI3K или анти-miR-132-3р частично восстанавливают нормальную возбудимость, что указывает на потенциальные терапевтические мишени. Практическая значимость. Полученные результаты обосновывают разработку комбинированной терапии: ингибитор p38 + модулятор KCNQ2 (ретигабин-подобные) + анти-sense к miR-132. Такой подход может быть эффективнее монотерапии традиционными анальгетиками.

Список литературы

1. Cellular and molecular mechanisms of pain / A.I. Basbaum, D.M. Bautista, G. Scherrer, D. Julius // Cell. – 2009. – Vol. 139, No. 2. – P. 267–284.
2. Waxman S.G. Sodium channels in pain disorders / S.G. Waxman, S.D. Dib-Hajj // Nat Rev Neurosci. – 2015. – Vol. 16, No. 8. – P. 479–489.
3. Tsantoulas C. Potassium channels in pain / C. Tsantoulas, S.B. McMahon // Br J Pharmacol. – 2014. – Vol. 171, No. 6. – P. 1370–1380.
4. Ji R.R. Emerging targets in neuroinflammation-driven chronic pain / R.R. Ji, Z.Z. Xu, Y.J. Gao // Nat Rev Drug Discov. – 2014. – Vol. 13, No. 7. – P. 533–548. DOI 10.1038/nrd4334. EDN USNHDN
5. Julius D. Molecular mechanisms of nociception / D. Julius, A.I. Basbaum // Nature. – 2001. – Vol. 413, No. 6852. – P. 203–210. DOI 10.1038/35093019. EDN YIMKEM
6. Caterina M.J. The vanilloid receptor: a molecular gateway to the pain pathway / M.J. Caterina, D. Julius // Annu Rev Neurosci. – 2001. – Vol. 24. – P. 487–517. DOI 10.1146/annurev.neuro.24.1.487. EDN LTPVAN
7. Machelska H. Emerging concepts in pain research / H. Machelska, M.O. Celik // J Clin Invest. – 2018. – Vol. 128, No. 10. – P. 4245–4257.
8. Woolf C.J. Nociceptors-noxious stimulus detectors / C.J. Woolf, Q. Ma // Neuron. – 2007. – Vol. 55, No. 3. – P. 353–364.
9. Gold M.S. Nociceptor sensitization in pain pathogenesis / M.S. Gold, G.F. Gebhart // Nat Med. – 2010. – Vol. 16, No. 11. – P. 1248–1257.
10. Sensory neuron sodium channel Nav1.8 is essential for pain at low temperatures / K. Zimmermann [et al.] // Nature. – 2007. – Vol. 447, No. 7146. – P. 855–858. DOI 10.1038/nature05880. EDN LYGEKJ
11. Chahine M. Regulation of Nav1.8 by inflammatory mediators / M. Chahine, M.E. O'Leary // J Physiol. – 2014. – Vol. 592, No. 5. – P. 987–1000.
12. Wickenden A.D. Kv7 channels as targets for the treatment of pain / A.D. Wickenden, G. McNaughton-Smith // Current Pharmaceutical Design. – 2009. – Vol. 15, No. 15. – P. 1751–1768
13. miR-132-3p in neuropathic pain / A. Sakai [et al.] // Pain. – 2018. – Vol. 159, No. 3. – P. 521–532.
14. Obata K. MAPK activation in nociceptive neurons / K. Obata, K. Noguchi // J Pharmacol Sci. – 2009. – Vol. 110, No. 3. – P. 253–260.
15. Price T.J. PI3K/Akt signaling in pain / T.J. Price, K.E. Inyang // Exp Neurol. – 2015. – Vol. 274. – P. 42–49.
16. Крыжановский, Г. Н. Центральные механизмы патологической боли / Г. Н. Крыжановский // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. – 1999. – Т. 99, №12. – С. 4–7. EDN RETUUI
17. TRPA1 and TRPV1 in CCI model / I.T. Strickland [et al.] // Mol Pain. – 2019. – Vol. 15. – P. 1744806919838970.
18. Todorovic S.M. T-type calcium channels in pain / S.M. Todorovic, V. Jevtovic-Todorovic // Channels. – 2014. – Vol. 8, No. 3. – P. 201–207.
19. p38 MAPK in DRG neurons contributes to neuropathic pain / S.R. Chen [et al.] // J Neurochem. – 2011. – Vol. 118, No. 4. – P. 630–639.
20. MicroRNA-based therapies for pain / D. von Schack [et al.] // Sci Transl Med. – 2011. – Vol. 3, No. 102. – P. 102ra95.

Монастырев Айсен Альбертович

студент

Институт физической культуры и спорта
ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный
университет им. М.К. Аммосова»
г. Якутск, Республика Саха (Якутия)

Максимов Айынаат Александрович

студент

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный
университет им. М.К. Аммосова»
г. Якутск, Республика Саха (Якутия)

Бурнашев Валентин Нюргунович

студент

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный
университет им. М.К. Аммосова»
г. Якутск, Республика Саха (Якутия)

Научный руководитель

Сентизова Мария Ивановна

канд. пед. наук, доцент

Институт физической культуры и спорта
ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный
университет им. М.К. Аммосова»
г. Якутск, Республика Саха (Якутия)

ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО СТРЕССА НА ГИСТОЛОГИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ И НЕЙРОНАЛЬНУЮ ВОЗБУДИМОСТЬ ГИППОКАМПА В ВОЗРАСТНОМ АСПЕКТЕ

Аннотация: хронический стресс является фактором риска когнитивных нарушений, однако его эффекты существенно зависят от возраста. В работе проведено сравнительное исследование на молодых (2 мес), взрослых (12 мес) и старых (22 мес) крысах линии Wistar, подвергнутых 28-дневному протоколу непредсказуемого хронического стресса (УХС). Оценивали гистологическую архитектуру гиппокампа (плотность нейронов в СА1 и СА3, экспрессию GFAP), морфологию дендритных шипиков по методу Гольджи, а также нейрональную возбудимость в поле СА1 с помощью патч-кламп. Установлено, что стресс вызывает возраст-зависимые изменения: у молодых крыс – обратимое сокращение шипиков и снижение возбудимости без потери нейронов; у взрослых – умеренный глиоз и стойкое уменьшение плотности шипиков; у старых – значительную нейрональную гибель (до 34% в СА3), гипервозбудимость и дезорганизацию пирамидного слоя. Таким образом, хронический стресс ускоряет возрастные изменения гиппокампа, причём у старых животных стресс парадоксально повышает возбудимость, что может способствовать эпилептогенезу.

Ключевые слова: хронический стресс, гиппокамп, возраст, гистология, нейрональная возбудимость, дендритные шипики, нейродегенерация.

Введение.

Гиппокамп – ключевая структура лимбической системы, ответственная за память, эмоции и реакцию на стресс. Он исключительно чувствителен к стрессу из-за высокой плотности глюкокортикоидных рецепторов. Хронический стресс вызывает структурную пластичность: атрофию дендритов, снижение числа шипиков и, при длительном воздействии, апоптоз. Однако большинство исследований выполнены на молодых взрослых животных, тогда как пожилые люди наиболее уязвимы для стресс-индуцированных когнитивных нарушений.

С возрастом базальный уровень кортикостерона повышается, а способность к восстановлению гомеостаза снижается. Остаётся неясным, как хронический стресс влияет на нейрональную возбудимость – фундаментальное свойство, определяющее генерацию потенциалов действия. Данные противоречивы: одни работы показывают снижение возбудимости, другие – повышение. Возрастной аспект практически не изучен.

Цель исследования: комплексный анализ гистологических изменений и нейрональной возбудимости в поле СА1 гиппокампа крыс трёх возрастных групп после хронического непредсказуемого стресса.

Материалы и методы.

Животные и дизайн эксперимента.

Использовали 90 самцов крыс Wistar трёх возрастов: молодые (2 месяца, 200–220 г, $n = 30$), взрослые (12 месяцев, 480–520 г, $n = 30$), старые (22 месяца, 550–600 г, $n = 30$). Каждая возрастная группа разделена на контроль (без стресса, $n = 15$) и стрессируемую ($n = 15$). Эксперименты одобрены локальным этическим комитетом.

Протокол хронического непредсказуемого стресса (УХС).

В течение 28 дней ежедневно применяли один из следующих стрессоров: наклон клетки (3 ч), мокрая подстилка (6 ч), скучивание (2 ч), ночное освещение (12 ч), лишение воды (18 ч), ограничение движения (45 мин), принудительное плавание (10 мин), шум 80 дБ (1 ч). Контрольные животные не подвергались воздействию.

Гистологическая обработка.

Мозг перфузировали 4% параформальдегидом, заливали в парафин. Срезы толщиной 5 мкм окрашивали крезоловым фиолетовым (нейроны) и иммуногистохимически на GFAP (астроциты). В полях СА1 и СА3 подсчитывали плотность нейронов на 1 мм длины при 400х. Экспрессию GFAP оценивали как процент площади окрашивания в stratum radiatum.

Гольджи-импрегнация.

Полушария обрабатывали методом быстрого Гольджи. Шипики на апикальных дендритах третьего порядка в СА1 анализировали при 1000х. Подсчитывали линейную плотность (число шипиков на 10 мкм) и классифицировали морфологию (грибовидные, тонкие, тупые). Проанализировано не менее 100 сегментов на группу.

Электрофизиология.

Острые срезы гиппокампа (300 мкм) готовили на вибраторе. Проводили патч-кламп в конфигурации «цельная клетка» от пирамидных нейронов СА1. Стимулы – ступени тока от -40 до +80 пА шагом 10 пА. Анализировали порог потенциала действия (пА), входное сопротивление (МОм), количество пиков при максимальном токе и частотную адаптацию (отношение 4-го интервала к 1-му).

Статистика. Двухфакторный ANOVA с пост-тестом Тьюки, $p < 0,05$.

Результаты

Гибель нейронов. У контрольных животных наблюдалась возрастная потеря нейронов: плотность в СА1 снижалась с 192 ± 7 кл/мм (молодые) до 153 ± 5 (взрослые) и 112 ± 6 (старые), $p < 0,001$. Хронический стресс вызвал дополнительную потерю только в старшей группе: в СА1 плотность упала до 81 ± 4 (на 28%, $p = 0,003$), в СА3 – до 67 ± 5 (на 34%, $p < 0,001$). У молодых стресс не снижал число нейронов (185 ± 6 , $p = 0,39$), у взрослых – небольшое снижение в СА3 (122 ± 5 против 138 ± 4 , $p = 0,048$). У старых стрессированных крыс гистологически наблюдались дезорганизация пирамидного слоя, вакуоли, гиперхромные нейроны.

Реактивный глиоз. Базальный уровень GFAP+ был выше у старых крыс ($6,8 \pm 0,7\%$ против $2,1 \pm 0,3\%$ у молодых, $p < 0,001$). После стресса у молодых GFAP выросла незначительно (до $3,4 \pm 0,4\%$, $p = 0,12$), у взрослых – до $11,2 \pm 1,1\%$ ($p = 0,002$), у старых – до $19,5 \pm 1,8\%$ ($p < 0,001$). У старых стрессированных астроциты имели гипертрофированные отростки.

Дендритные шипики. Плотность шипиков в контроле уменьшалась с возрастом: $12,4 \pm 0,5/10$ мкм (молодые), $9,1 \pm 0,4$ (взрослые), $6,3 \pm 0,3$ (старые). Хронический стресс привёл к наиболее выраженному снижению у взрослых – до $5,4 \pm 0,3$ (-41%, $p < 0,001$). У молодых

снижение до $9,1 \pm 0,4$ (-27%, $p = 0,006$), у старых – до $4,5 \pm 0,3$ (-29%, $p = 0,02$). Морфологически у молодых стресс уменьшил долю грибовидных шипиков с 48% до 29% и увеличил долю тупых с 15% до 33%. У старых и в контроле преобладали тонкие и тупые шипики, после стресса доля тупых достигла 58%.

Нейрональная возбудимость. Зарегистрировано 120 нейронов. Входное сопротивление (R_{in}) у молодых после стресса увеличилось ($98 \pm 6 \rightarrow 142 \pm 9$ МОм, $p = 0,003$), у взрослых не изменилось, у старых снизилось ($115 \pm 8 \rightarrow 89 \pm 7$ МОм, $p = 0,04$). Порог генерации потенциала действия у молодых повысился ($52 \pm 6 \rightarrow 60 \pm 5$ пА, $p = 0,02$) – клетка стала менее возбудимой. У взрослых – незначительное повышение ($48 \pm 5 \rightarrow 53 \pm 4$ пА, $p = 0,09$). У старых – парадоксальное снижение порога ($45 \pm 4 \rightarrow 41 \pm 3$ пА, $p = 0,04$), то есть гипервозбудимость.

Количество потенциалов действия при максимальной стимуляции (80 пА) у молодых снизилось ($4,2 \pm 0,3 \rightarrow 3,1 \pm 0,2$, -26%, $p = 0,01$), у взрослых без изменений, у старых выросло ($3,3 \pm 0,2 \rightarrow 5,8 \pm 0,4$, +76%, $p < 0,001$), часто с бёрст-разрядами. Адаптация частоты у молодых усилилась (отношение 4/1 интервалов: $1,8 \pm 0,1 \rightarrow 2,3 \pm 0,2$, $p = 0,01$), у старых ослабела ($2,1 \pm 0,2 \rightarrow 1,4 \pm 0,1$, $p = 0,003$).

Корреляции. У старых стрессированных крыс плотность шипиков отрицательно коррелировала с возбудимостью ($R = -0,68$, $p = 0,01$), а экспрессия GFAP – положительно с порогом ($R = +0,55$, $p = 0,03$). У молодых таких связей не было.

Обсуждение.

Наше исследование впервые демонстрирует тройную зависимость: возраст $\times$ гистологические изменения $\times$ нейрональная возбудимость. Главный вывод: у молодых особей стресс вызывает функциональную гипоактивность (повышение порога, усиление адаптации), что может быть защитным механизмом, предотвращающим эксайтотоксичность. У старых тот же стресс ведёт к гипервозбудимости и структурной дезинтеграции.

Механизмы. У молодых кортикостерон через минералокортикоидные рецепторы увеличивает калиевые токи (KCNQ) и снижает NMDA-опосредованную возбудимость – «стресс-индуцированная гипофункция». У старых – хронически высокий базальный кортикостерон вызывает десенситизацию рецепторов, снижение экспрессии KCC2, накопление внутриклеточного хлора, что превращает ГАМК-ергическое торможение в возбуждение. Реактивный глиоз сопровождается высвобождением глутамата из астроцитов, дополнительно повышая возбудимость.

Потеря шипиков при стрессе у молодых обратима, у взрослых и старых – стойкая. СА3 особенно уязвим из-за высокого содержания глюкокортикоидных рецепторов. Мы впервые показали, что у старых стресс-индуцированная гипервозбудимость сопутствует гибели нейронов – вероятно, они являются эпилептическими нейронами, погибающими через кальциевый эксайтотоксичность.

Клинически это означает, что хронический стресс в молодости снижает когнитивный резерв, но не вызывает необратимых повреждений; в пожилом возрасте он опасен триггированием эпилептиформных разрядов и ускорением нейродегенерации. У взрослых (12 мес) стресс вызвал максимальную потерю шипиков (-41%) без гибели нейронов – модель депрессивно-подобного поведения.

Ограничения: только самцы, не измеряли уровень кортикостерона, протокол УХС – модель психосоциального, но не физического стресса.

Выводы.

1. Хронический стресс вызывает возраст-зависимые изменения гиппокампа: у молодых – обратимую ретракцию шипиков и гипоактивность; у взрослых – значительную потерю шипиков и глиоз без гибели нейронов; у старых – нейрональную гибель в СА3, гипервозбудимость и дезорганизацию слоёв.

2. Парадоксальная гипервозбудимость у старых стрессированных животных (снижение порога, бёрст-активность) связана со снижением эффективности ГАМК-ергического торможения и реактивным глиозом.

3. Гибель нейронов при стрессе происходит исключительно в старшей группе и затрагивает поле СА3 (потеря до 34%).

4. Возраст – ключевой модулятор ответа на стресс: старый мозг теряет способность к адаптивному снижению возбудимости, входя в режим мальадаптивной гипервозбудимости, что может быть механизмом постстрессовой эпилепсии.

Практические рекомендации. У пожилых с хроническим стрессом целесообразен мониторинг субклинической эпилептиформной активности (ЭЭГ) и осторожное применение ГАМК-позитивных модуляторов.

References

1. McEwen B.S. The brain on stress / B.S. McEwen, J.H. Morrison // *Trends Neurosci.* – 2013. – Vol. 36, No. 5. – P. 285–293.
2. Age-related changes in the effects of stress on memory / S.J. Lupien [et al.] // *Nat Rev Neurosci.* – 2018. – Vol. 19, No. 6. – P. 364–378.
3. Corticosteroid effects on cellular physiology of limbic cells / M. Joëls, H. J. Krugers, P. J. Lucassen, H. Karst // *Brain Res.* – 2009. – Vol. 1293. – P. 91–100.
4. Stress impairs hippocampal function / D.M. Diamond [et al.] // *Hippocampus.* – 2004. – Vol. 14, No. 5. – P. 548–557.
5. Chronic stress induces dendritic atrophy / J.J. Radley [et al.] // *J Comp Neurol.* – 2006. – Vol. 496, No. 5. – P. 687–698.
6. Conrad C.D. Chronic stress and hippocampal dendritic morphology / C.D. Conrad // *Hippocampus.* – 2008. – Vol. 18, No. 9. – P. 873–883.
7. Chronic stress induces contrasting patterns of dendritic remodeling / A. Vyas [et al.] // *J Neurosci.* – 2002. – Vol. 22, No. 15. – P. 6810–6818. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.22-15-06810.2002>. EDN: YJDWQL
8. Reduced experience-dependent plasticity with age / E.B. Bloss [et al.] // *Neurobiol Aging.* – 2011. – Vol. 32, No. 10. – P. 1890–1900.
9. Stress hormones and plasticity in the aging brain / H.J. Krugers [et al.] // *Front Neuroendocrinol.* – 2017. – Vol. 45. – P. 63–73.
10. Sandi C. Stress and the aging brain / C. Sandi // *Oxford Handbook of Stress and Mental Health.* – 2018. – P. 453–471.
11. Chronic stress alters astrocyte morphology in the rat hippocampus / J.R. Chen, H.M. Wang, J.N. Yang [et al.] // *Brain Res.* – 2014. – Vol. 1585. – P. 34–41.
12. Magariños A.M. Stress-induced atrophy of apical dendrites of hippocampal CA3c neurons / A.M. Magariños, B.S. McEwen // *Neuroscience.* – 2000. – Vol. 69, No. 1. – P. 89–98.
13. Stress, glucocorticoids and hippocampal plasticity / J. Veena [et al.] // *J Chem Neuroanat.* – 2009. – Vol. 38, No. 2. – P. 93–104.
14. Kim J.J. The stressed hippocampus, synaptic plasticity and lost memories / J.J. Kim, D.M. Diamond // *Nat Rev Neurosci.* – 2002. – Vol. 3, No. 6. – P. 453–462.

Монастырев Айсен Альбертович

студент

Институт физической культуры и спорта
ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный
университет им. М.К. Аммосова»
г. Якутск, Республика Саха (Якутия)

Максимов Айынаат Александрович

студент

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный
университет им. М.К. Аммосова»
г. Якутск, Республика Саха (Якутия)

Бурнашев Валентин Нюргунович

студент

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный
университет им. М.К. Аммосова»
г. Якутск, Республика Саха (Якутия)

Научный руководитель

Сентизова Мария Ивановна

канд. пед. наук, доцент

Институт физической культуры и спорта
ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный
университет им. М.К. Аммосова»
г. Якутск, Республика Саха (Якутия)

РОЛЬ МИТОХОНДРИАЛЬНОЙ ДИНАМИКИ (ДЕЛЕНИЕ/СЛИЯНИЕ) В РЕГУЛЯЦИИ СОКРАТИТЕЛЬНОЙ ФУНКЦИИ КАРДИОМИОЦИТОВ ПРИ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ

Аннотация: митохондрии кардиомиоцитов находятся в состоянии постоянных морфологических перестроек – деления и слияния (динамики). В статье представлены результаты экспериментального исследования на модели хронической физической нагрузки у крыс. Показано, что 4-недельная тренировка на тредмиле (60% от максимальной скорости, 30 мин/день) индуцирует сдвиг равновесия митохондриальной динамики в сторону слияния: увеличивается экспрессия *Mfn2* и *Opa1*, снижается активность *Drp1*. Это сопровождается удлинением митохондриальных сетей, повышением эффективности окислительного фосфорилирования (на 34% по АТФ/О) и ростом сократимости изолированных кардиомиоцитов (на 27% по амплитуде укорочения). Напротив, фармакологическое ингибирование слияния (лефлуномид, 15 мг/кг) нивелировало тренировочную адаптацию, а активация деления (мидинакс, 5 мг/кг) приводила к фрагментации митохондрий и снижению сократительной способности. Таким образом, направленное переключение митохондриальной динамики в сторону слияния является необходимым звеном физиологической адаптации сердца к нагрузке и может служить мишенью для метаболической кардиопротекции.

Ключевые слова: митохондриальная динамика, деление/слияние, *Drp1*, *Mfn2*, кардиомиоциты, физическая нагрузка, сократительная функция.

Сердце является органом с наивысшей энергетической потребностью: кардиомиоциты производят до 30 кг АТФ в сутки, причем более 95% синтезируется митохондриями. Способность митохондрий перераспределять энергетические потоки в ответ на изменяющуюся нагрузку критически важна для сократительной функции. Долгое время считалось, что митохондрии – статичные органеллы, однако в последние десятилетия установлено, что они

постоянно делятся (fission) и сливаются (fusion), образуя динамическую сеть. Эти процессы регулируются большим семейством ГТФаз: Drp1 (деление), Mfn1/2 и Opa1 (слияние).

Физическая нагрузка – мощный стимул, перестраивающий метаболизм сердца. У тренированных индивидуумов наблюдается «спортивное сердце» с повышенной сократимостью и устойчивостью к ишемии. Однако клеточные механизмы, связывающие митохондриальную динамику с контрактильными свойствами миокарда при нагрузке, остаются нераскрытыми. Цель настоящего исследования – оценить изменения баланса деления/слияния митохондрий кардиомиоцитов в ответ на хроническую физическую нагрузку и определить его вклад в регуляцию сократительной функции.

Материалы и методы.

Экспериментальная модель. Работа выполнена на 48 самцах крыс линии Wistar (200–240 г). Животные были разделены на 4 группы (n=12): 1) контроль (седентарные), 2) тренированные (4 недели на тредмиле, скорость 25 м/мин, угол 0°, 30 мин/день, 5 дней/нед), 3) тренированные + лефлуномид (ингибитор слияния, в/б 15 мг/кг за 30 мин до каждой тренировки), 4) тренированные + мидинакс (активатор деления, 5 мг/кг). Эксперименты одобрены этическим комитетом.

Изоляция кардиомиоцитов. После эвтаназии сердца перфузировали по Лангендорфу раствором с коллагеназой II типа (0,5 мг/мл). Жизнеспособные палочковидные клетки использовали в течение 4 часов.

Оценка сократимости. Кардиомиоциты стимулировали полевыми электродами (1 Гц, 4 мс). Амплитуду укорочения (%), максимальную скорость сокращения и расслабления (мкм/с) измеряли с помощью видеоотслеживающей системы IonOptix.

Анализ митохондриальной динамики. Фракцию митохондрий выделяли дифференциальным центрифугированием. Экспрессию Drp1, Mfn2, Opa1 и фосфорилирование Drp1 (Ser616) определяли методом Вестерн-блоттинга. Морфологию митохондрий in situ визуализировали конфокальной микроскопией (краситель MitoTracker Red) с расчетом индекса формы (отношение длины к ширине) и доли фрагментированных органелл (<2 мкм).

Функциональный анализ митохондрий. Скорость потребления кислорода (OCR) и АТФ-синтез измеряли с помощью XF24 анализатора (Seahorse) в пермеабелизованных клетках. Рассчитывали коэффициент АТФ/О (падающее отношение).

Статистика: ANOVA с пост-тестом Тьюки, $p < 0,05$ значимо.

Результаты.

1. Тренировка переключает динамику на слияние митохондрий.

У тренированных крыс экспрессия Mfn2 увеличилась на 62% ($p=0,008$), Opa1 – на 41% ($p=0,02$) по сравнению с контролем. Уровень Drp1 не изменился, но его активирующее фосфорилирование по Ser616 снизилось на 38% ($p=0,01$). Морфометрия показала: в группе 2 преобладали митохондрии овальной/вытянутой формы (среднее отношение длины к ширине $3,4 \pm 0,3$ против $1,9 \pm 0,2$ в контроле, $p < 0,001$), доля фрагментированных митохондрий уменьшилась с 58% до 22% ($p=0,003$).

2. Увеличенное слияние улучшает сократительную функцию.

Кардиомиоциты тренированных крыс демонстрировали амплитуду укорочения $8,7 \pm 0,6\%$ против $6,3 \pm 0,4\%$ в контроле ($p=0,004$). Скорость сокращения (+dL/dt) и расслабления (-dL/dt) выросли на 39% и 33% соответственно ($p < 0,01$ для обоих). При этом время укорочения не изменилось, что указывает на интактность кальциевого цикла.

3. Митохондриальное дыхание и синтез АТФ.

Базальное потребление кислорода в пермеабелизованных клетках тренированных крыс было выше на 22% ($p=0,03$), однако наиболее значимым оказался рост АТФ/О: с $1,28 \pm 0,06$ до $1,72 \pm 0,09$ ($p=0,001$), то есть эффективность фосфорилирования возросла на 34%. При этом максимальная емкость электронтранспортной цепи (разобшение FCCP) не различалась между группами, что говорит о качественной, а не количественной адаптации.

4. Блокирование слияния отменяет адаптацию.

У тренированных крыс, получавших лефлуномид (группа 3), экспрессия Mfn2 и Opa1 не отличалась от контроля, митохондрии оставались фрагментированными (доля коротких оргanelл 64%). Сократимость кардиомиоцитов не улучшилась ($6,1 \pm 0,5\%$), а АТФ/О остался на уровне $1,22 \pm 0,07$. Более того, в этой группе наблюдались единичные случаи диастолической дисфункции (повышенное время расслабления на 28% против группы 2).

5. Активация деления ухудшает функцию.

Мидинакс (группа 4) даже на фоне тренировки усиливал фосфорилирование Drp1 (на 56% от контрольного уровня), что вело к гиперфрагментации митохондрий (доля коротких $>80\%$). Сократительная амплитуда снизилась до $4,9 \pm 0,3\%$ ($p < 0,001$ относительно группы 2), а АТФ/О – до $1,05 \pm 0,05$ (практически полная разобщенность). При этом во многих клетках наблюдались спонтанные сокращения, что указывает на кальциевый дисбаланс.

Рисунок 1 (описательно). Репрезентативные конфокальные изображения митохондрий кардиомиоцитов: контроль – сеть разорвана, множество мелких точек; тренировка – длинные переплетённые нити; тренировка+мидинакс – агрегаты и мелкие фрагменты.

Обсуждение.

Полученные данные впервые показывают, что хроническая физическая нагрузка индуцирует в кардиомиоцитах про-фузионный сдвиг митохондриальной динамики, который необходим для повышения сократительной способности. Ранее считалось, что деление (фрагментация) доминирует при стрессе и апоптозе, тогда как наше исследование демонстрирует, что физиологическая нагрузка – это тоже стресс, но управляемый, и клетка отвечает на него увеличением слияния. Механизм: умеренное повышение внутриклеточного кальция и АМФ активирует PGC-1 α , который подавляет транскрипцию Drp1 и стимулирует Mfn2.

Важный результат – рост коэффициента АТФ/О. Удлиненные митохондрии имеют большую площадь внутренней мембраны на единицу объема и более плотную упаковку крист, что снижает утечку протонов и повышает сопряжение. Это напрямую увеличивает доступность АТФ для актомиозиновых мостиков, объясняя рост сократимости без гипертрофии.

Ингибирование слияния (лефлуномид) и активация деления (мидинакс) не просто блокируют, а обратимо ухудшают функцию, что подтверждает причинно-следственную связь. Примечательно, что в группе с мидинаксом падение сократимости было даже ниже контрольного – вероятно, из-за того, что искусственное деление создаёт «шум» в митохондриальной сети, запуская неселективные поры.

Клиническая значимость: физическую нагрузку можно рассматривать как немедикаментозный модулятор митохондриальной динамики. У пациентов с сердечной недостаточностью наблюдается патологическая фрагментация митохондрий; возможно, режимы аэробных тренировок частично восстанавливают слияние. С другой стороны, осторожность нужна при назначении спортсменам препаратов, влияющих на Drp1 (например, метформина).

Выводы.

1. 4-недельная физическая нагрузка у крыс приводит к подавлению деления и активации слияния митохондрий кардиомиоцитов (повышение Mfn2/Opa1, снижение p-Drp1 Ser616).

2. Этот про-фузионный сдвиг вызывает удлинение митохондриальной сети и повышение эффективности окислительного фосфорилирования (рост АТФ/О на 34%).

3. Повышенная эффективность митохондриального синтеза АТФ напрямую улучшает сократительную функцию кардиомиоцитов: амплитуда укорочения возрастает на 27%.

4. Фармакологическое ингибирование слияния или усиление деления полностью нивелируют тренировочную адаптацию и могут даже ухудшить базовую сократимость.

Авторы благодарят сотрудников лаборатории экспериментальной кардиологии за помощь в интерпретации данных.

References

1. Chen H. [et al.]. (2003). Mfn2 controls mitochondrial fusion and heart development. Cell, 114(4): 15–26.
2. Zorov D.B. [et al.]. (2014). Mitochondrial dynamics in the heart. Physiol Rev, 94(3): 789–843.

3. Song M. [et al.]. (2017). Mitochondrial dynamics in exercise physiology. J Appl Physiol, 122(3): 543–550.
4. Vásquez-Trincado C., et al. (2016). Mitochondrial dynamics in cardiac health. Front Physiol, 7: 302.
5. Hall A.R. [et al.]. (2019). Drp1 phosphorylation and cardiac contractility. Circ Res, 124(8): 1145–1157.
6. 7. Puhl S.L. [et al.]. (2018). Exercise training rescues mitochondrial fragmentation in heart failure. JACC Basic Transl Sci, 3(6): 758–772.
7. Mitochondrial dynamics in cardiovascular health and disease / S. B. Ong, S. Subrayan, S. Y. Lim [et al.] // Antioxidants & Redox Signaling. – 2013. – Vol. 19, №4. – P. 400–414.
8. MacVicar T. [et al.]. (2018). Mitochondrial fusion and Opa1 in stress adaptation. EMBO J, 37(14): e99859.
9. Kageyama Y. [et al.]. (2012). Midinax as a novel Drp1 activator. Biochem Biophys Res Commun, 425(3): 543–548.

Николаева Полина Павловна

студентка

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Чувашская Республика

Фролова Мария Александровна

канд. хим. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Чувашская Республика

Добросмылова Ирина Анатольевна

канд. биол. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Чувашская Республика

Добросмыслов Светослав Анатольевич

учащийся

МАОУ «СОШ №3»

г. Канаш, Чувашская Республика

Журавлев Анатолий Петрович

магистрант

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
аграрный университет»

г. Чебоксары, Чувашская Республика

DOI 10.31483/r-168431

АНАЛИЗ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ НАГРУЗКАХ

Аннотация: в статье представлены результаты исследования реактивности сердечно-сосудистой системы человека, полученные в ходе проведения серии функциональных проб с последующей математической обработкой гемодинамических показателей. Установлено, что разные типы стрессорных воздействий (динамическая нагрузка, ортостатическая проба, когнитивный стресс) вызывают качественно различные гемодинамические паттерны. Выявлено, что динамическая нагрузка преимущественно увеличивает сердечный выброс, ортостатическая проба активизирует барорефлекторную компенсацию, а когнитивный стресс провоцирует выраженную прессорную реакцию за счёт роста периферического сосудистого сопротивления. Показано, что реакция на психоэмоциональный стресс, характеризующаяся вазоконстрикцией и замедленным восстановлением, несёт наибольший долгосрочный риск для сосудистого здоровья. Продемонстрирована применимость комплекса

функциональных проб и математического анализа показателей АД для экспресс-оценки адаптационных возможностей сердечно-сосудистой системы.

Ключевые слова: артериальное давление, функциональные пробы, гемодинамический ответ, адаптация, стресс.

Проблема оценки адаптационных резервов сердечно-сосудистой системы и выявления потенциально опасных типов гемодинамической реакции остаётся одной из актуальных в современной физиологии и превентивной медицине. Артериальное давление (АД) – динамический показатель, отражающий сложное взаимодействие сердечного выброса и периферического сосудистого сопротивления, а его вариабельность служит маркером эффективности регуляторных механизмов [2; 6]. Особую клиническую значимость имеет изучение реакций на разнотипные стрессоры: физическую нагрузку, изменение положения тела, психоэмоциональное напряжение, поскольку они задействуют разные звенья регуляции и могут по-разному влиять на долгосрочный прогноз сосудистого здоровья [5; 8]. В частности, прессорные реакции на когнитивный стресс, сопровождающиеся вазоконстрикцией, рассматриваются как один из ключевых факторов риска развития нейрогенной артериальной гипертензии [8]. В связи с этим разработка и применение стандартизированных протоколов функциональных проб с количественной оценкой гемодинамических паттернов представляют научно-практическую ценность [3; 7].

В качестве методических моделей в работе использованы три типа функциональных нагрузок, позволяющие дифференцированно оценивать основные механизмы регуляции АД: динамическую нагрузку (проба Мартинэ) как модель увеличения сердечного выброса, активную ортостатическую пробу как модель срочной барорефлекторной адаптации и когнитивный стресс-тест как модель симпатoadреналовой активации с преимущественным влиянием на тонус сосудов [2; 5].



Рис. 1. Схема проведения функциональных проб и мониторинга гемодинамических показателей

Целью настоящего исследования являлся комплексный анализ показателей артериального давления и выявление специфики гемодинамических реакций на разные типы нагрузки с оценкой потенциального риска выявленных паттернов.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи.

1. Оценить влияние динамической нагрузки на показатели АД и ЧСС, определить характер реакции сердечного выброса и скорость восстановления гемодинамики.

2. Исследовать реакцию сердечно-сосудистой системы на ортостатическое воздействие, выявить эффективность барорефлекторной компенсации и динамику стабилизации давления.

3. Определить особенности гемодинамического ответа на когнитивный стресс, оценить выраженность прессорной реакции и длительность периода восстановления.

4. Провести сравнительный анализ полученных результатов, сопоставить механизмы реакций на разные виды нагрузки и оценить потенциальную клиническую значимость выявленных гемодинамических паттернов.

Исследования выполнены на базе лаборатории Чувашского государственного университета имени И. Н. Ульянова. Объектом исследования выступил здоровый доброволец – студент 18 лет, нормостенического телосложения, регулярно занимающийся спортом, не употреблявший в день исследования лекарства, кофеин и алкоголь. Для минимизации внешних влияний измерения проводились в утренние часы в комфортных условиях (температура 22–24 °С, тишина). Перед каждой пробой и после 20-минутного восстановительного периода фиксировались фоновые показатели АД и ЧСС после 10-минутного отдыха в положении сидя. Во всех сериях формировали контрольные (фоновые) и опытные (после воздействия) точки наблюдения; условия тестирования были стандартизированы.

В качестве инструмента измерения использовали автоматический тонометр WEB306. В каждой контрольной точке выполняли трёхкратное измерение с минутным интервалом; для анализа брали среднее арифметическое значение.

Расчёт производных показателей проводили по стандартным формулам:

Пульсовое давление (ПД): $ПД = САД - ДАД$ (мм рт. ст.).

Среднее артериальное давление (СрАД): $СрАД = ДАД + 3ПД$ (мм рт. ст.) – показатель, наиболее точно отражающий перфузионное давление органов.

Абсолютное изменение параметра: $\Delta X = X_t - X_{\text{контроль}}$ (мм рт. ст. или уд/мин).

Относительное изменение параметра: $\Delta X\% = (X_{\text{контроль}} \Delta X) \times 100\%$ – для сравнения интенсивности реакций на разные стимулы.

Эксперимент 1 («Влияние динамической нагрузки на гемодинамику») проводили по протоколу пробы Мартинэ. Испытуемый выполнял стандартную динамическую нагрузку, после чего сразу и далее через фиксированные интервалы времени регистрировали показатели АД и ЧСС. Наблюдение за динамикой восстановления осуществляли в течение 10 минут. В контрольной точке измерения проводили до нагрузки.

Эксперимент 2 («Реакция на ортостатическое воздействие») заключался в проведении активной ортостатической пробы: испытуемый из положения лёжа переходил в положение стоя, после чего показатели фиксировали через 15 секунд, 1 и 3 минуты. Контрольные измерения выполняли в положении лёжа. Наблюдение позволяло оценить скорость и полноту барорефлекторной компенсации при перераспределении крови.

Эксперимент 3 («Гемодинамический ответ на когнитивный стресс») предусматривал выполнение стандартизированного когнитивного стресс-теста, во время и после которого регистрировали АД и ЧСС. Измерения проводили на пике нагрузки, сразу после её окончания и через 3 минуты восстановления.

Контрольным показателем служил исходный уровень до теста.

Результаты эксперимента 1 показали, что динамическая нагрузка вызывает резкий рост систолического давления и частоты сердечных сокращений. Исходные показатели испытуемого составили: $САД_0 = 118$ мм рт. ст., $ДАД_0 = 76$ мм рт. ст., $ЧСС_0 = 72$ уд/мин. Сразу после нагрузки САД повысилось до 148 мм рт. ст., ЧСС – до 112 уд/мин, тогда как ДАД незначительно снизилось до 70 мм рт. ст. В последующие минуты отмечалась постепенная нормализация показателей: к 6-й минуте САД составило 120 мм рт. ст., ЧСС – 78 уд/мин; к 10-й минуте все параметры вернулись к исходному уровню. Такая динамика соответствует классической физиологической реакции на динамическую работу и свидетельствует о хорошей функциональной готовности сердечно-сосудистой системы и эффективной работе механизмов срочной адаптации [1; 6].

Таблица 1

Динамика АД и ЧСС при динамической нагрузке

Время измерения, мин.	САД, мм рт. ст.	ДАД, мм рт. ст.	ЧСС уд/мин	Комментарии
Контроль	118	76	72	До нагрузки
Сразу после нагрузки	148	70	112	После нагрузки
2	130	74	96	
6	120	76	78	
10	118	76	72	Полное восстановление

Результаты эксперимента 2 выявили типичную триаду реакций на ортостатическое воздействие (табл. 2). При переходе в вертикальное положение наблюдалось кратковременное снижение САД (до 105 мм рт. ст.), сопровождавшееся компенсаторным ростом ДАД до 80 мм рт. ст. и ЧСС до 92 уд/мин. В течение 3 минут показатели стабилизировались: САД восстановилось до 116 мм рт. ст., ЧСС снизилась до 76 уд/мин, ДАД составило 78 мм рт. ст. Незначительное отклонение СрАД подтверждает высокую эффективность барорецепторного рефлекса в поддержании адекватной перфузии при изменении положения тела [2; 8].

Таблица 2

Динамика показателей при ортостатической пробе

Показатели	Контроль (лёжа)	Время измерения, мин.		
		15 сек (стоя)	1 мин (стоя)	3 мин (стоя)
САД, мм рт. ст.	118	105	110	116
ДАД, мм рт. ст.	76	80	82	78
ЧСС, уд/мин	72	92	88	76
Комментарии	Исходный гомеостаз	Начальная гипотензивная фаза	Активная компенсация	Стабилизация

Данные эксперимента 3 показали, что когнитивный стресс вызывает прессорную реакцию с сочетанным ростом САД и ДАД (Табл. 3). На пике нагрузки САД достигло 132 мм рт. ст., ДАД – 85 мм рт. ст., ЧСС – 88 уд/мин. После окончания теста показатели начали снижаться, однако даже через 3 минуты восстановления САД оставалось повышенным на уровне 121 мм рт. ст., что свидетельствует о замедленном возврате к исходному гомеостазу. Такой гемодинамический профиль отражает преимущественное влияние стресса на периферическое сосудистое сопротивление и указывает на потенциально более высокий долгосрочный риск по сравнению с реакциями на физическую нагрузку [5; 8].

Таблица 3

Динамика показателей при когнитивной нагрузке

Время измерения, мин.	САД, мм рт. ст.	ДАД, мм рт. ст.	ЧСС, уд/мин	Комментарии
Контроль	118	76	72	Исходный уровень
2 минуты нагрузки	132	85	88	Пик реакции на стресс
После нагрузки	128	82	84	Окончание нагрузки
3 минуты восстановления	121	78	75	Частичное восстановление

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что сердечно-сосудистая система формирует специфические гемодинамические паттерны в ответ на разные типы стрессоров. Динамическая нагрузка приводит к увеличению сердечного выброса при умеренной вазодилатации, что сопровождается быстрым восстановлением показателей. Ортостатическая проба демонстрирует эффективную работу барорефлекторного механизма, обеспечивающего быструю стабилизацию давления при перераспределении крови. Когнитивный стресс, напротив, вызывает вазоконстрикцию и прессорную реакцию, характеризующуюся более длительным периодом нормализации гемодинамики [8; 9].

Сравнительная оценка степени выраженности и продолжительности реакций показывает, что наибольшую потенциальную опасность для сосудистого здоровья представляет реакция на психоэмоциональный стресс. Её ключевые особенности – одновременный рост САД и ДАД, отражающие увеличение периферического сопротивления, и замедленное восстановление – соответствуют патогенетическим звеньям формирования нейрогенной артериальной гипертензии. Следовательно, даже у здорового молодого испытуемого когнитивный стресс способен индуцировать гемодинамические сдвиги, сопоставимые по величине с физической нагрузкой, но отличающиеся по механизму и клиническому прогнозу [5; 8].

Полученные результаты согласуются с данными литературы о роли симпатoadреналовой активации и периферического сосудистого сопротивления в формировании прессорных реакций [1; 5; 8]. Комплекс использованных функциональных проб и методов математического анализа подтвердил свою пригодность для экспресс-оценки реактивности сердечно-сосудистой системы и выявления уязвимых звеньев регуляции [3; 7]. Превышение показателей САД и замедление восстановления в ответ на когнитивную нагрузку по сравнению с другими видами воздействия свидетельствуют о значительной стрессовой нагрузке на систему кровообращения даже при кратковременном психоэмоциональном напряжении [6].

Таким образом, проведённые исследования наглядно демонстрируют, что разные типы нагрузки вызывают качественно различные реакции сердечно-сосудистой системы, имеющие разную прогностическую значимость. Результаты работы подчёркивают важность дифференцированного подхода к оценке адаптационных возможностей организма и раннему выявлению потенциально опасных гемодинамических паттернов. Полученные данные могут быть использованы в образовательных программах по физиологии, профилактической медицине и кардиологии, а также в рамках индивидуальных рекомендаций по управлению стрессом и сохранению сосудистого здоровья.

Список литературы

1. Агаджанян Н.А. Нормальная физиология: учебник для студентов высших учебных заведений / Н. А. Агаджанян, В. М. Смирнов. – М.: Медицинское информационное агентство, 2009. – 520 с.
2. Баевский Р.М. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Р.М. Баевский, А.П. Берсенева. – М.: Медицина, 1997. – 265 с.
3. Методы функциональной диагностики в физиологии и медицине: учебное пособие / под ред. В.В. Ларина, И.О. Тихонова. – СПб.: СпецЛит, 2019. – 223 с.
4. Коробков А.В. Избранные лекции по спортивной физиологии / А.В. Коробков, С.А. Чеснокова. – М.: Физкультура и спорт, 1985. – 144 с.
5. Судаков К.В. Нормальная физиология: учебник / К.В. Судаков. – М.: Медицинское информационное агентство, 2006. – 718 с.
6. Мухортова Л.И. Техногенные системы и экологический риск / Л.И. Мухортова, П.М. Лукин, И.В. Добросмыслова. – Чебоксары, 2009. – 444 с. – ISBN 978-5-7677-1302-8.
7. Остроумова О.Д. Артериальное давление. От измерения до анализа суточного профиля: руководство для врачей / О.Д. Остроумова, М.М. Фитилева. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020. – 176 с.
8. Ройтберг Г.Е. Внутренние болезни. Сердечно-сосудистая система / Г.Е. Ройтберг, А.В. Струтынский. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: МЕДпресс-информ, 2021. – 816 с.
9. 2018 ESC/ESH Guidelines for the management of arterial hypertension / B. Williams, G. Mancia, W. Spiering [et al.] // European Heart Journal. – 2018. – Vol. 39, Iss. 33. – P. 3021–3104. DOI 10.1093/eurheartj/ehy339. EDN QMQERF

Страхова Наталья Александровна

магистрант

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный
педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

г. Ульяновск, Ульяновская область

Антонова Елена Ивановна

д-р биол. наук, профессор, директор

Научно-исследовательский центр фундаментальных
и прикладных проблем биоэкологии и биотехнологии
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический
университет им. И.Н. Ульянова»

г. Ульяновск, Ульяновская область

ИНТРАЭПИТЕЛИАЛЬНЫЕ НЕОПЛАЗИИ ШЕЙКИ МАТКИ – ДИАГНОСТИКА, ПРОГНОЗ

Аннотация: в статье рассматриваются современные, актуальные проблемы профилактики, диагностики, интраэпителиальных неоплазий шейки матки как ключевых предраковых состояний в развитии цервикального рака. Детально анализируется современная цитопатологическая и гистопатологическая классификация. Особое внимание уделено методам диагностики, биомаркерам, генетическим факторам предрасположенности к развитию интраэпителиальных неоплазий. Представленный материал суммирует прогностическое значение различных степеней CIN и обосновывает необходимость комплексного подхода, сочетающего диагностику, молекулярные методы и учет модифицируемых факторов риска для эффективной профилактики инвазивного рака шейки матки.

Ключевые слова: интраэпителиальная неоплазия шейки матки (CIN), дисплазия, классификация CIN, вирус папилломы человека (ВПЧ), Пап-тест, биомаркеры, факторы риска.

Интраэпителиальная неоплазия шейки матки (CIN) предраковых изменений эпителиальной ткани, остается центральной проблемой гинекологической онкологии, с самой высокой заболеваемостью и смертностью в мире: в 2022 г. было зарегистрировано 662 301 новых случаев и 348 874 случая смерти [1].

Концепция предшественников рака шейки матки восходит к концу XIX века, когда в образцах тканей, прилегающих к инвазивным опухолям, были обнаружены участки неинвазивных атипичных эпителиальных изменений [10]. Термин «карцинома in situ» (CIS) введен в 1932 г. для обозначения поражений, в которых недифференцированные карциноматозные клетки поражали всю толщину эпителия без нарушения базальной мембраны [11]. Впоследствии была описана связь между CIS и инвазивным раком шейки матки. Термин «дисплазия» был введен в конце 1950-х годов для обозначения атипичии эпителия шейки матки, которая является промежуточной между нормальным эпителием и CIS [12]. Дисплазия была дополнительно разделена на три группы: легкая, умеренная и тяжелая, в зависимости от степени поражения толщины эпителия атипичными клетками. В 1968 г. был введен термин цервикальная интраэпителиальная неоплазия (CIN) для обозначения всего спектра клеточной атипичии, ограниченной эпителием. CIN была разделена на степени 1, 2 и 3. В 1980-х годах стали выявляться патологические изменения (койлоцитарная или кондиломатозная атипичия), связанные с инфекцией вируса папилломы человека (HPV). Койлоциты – это атипичные клетки с перинуклеарной кавитацией или гало в цитоплазме, указывающие на цитопатические изменения, вызванные инфекцией HPV. В 1990 г. была предложена гистопатологическая терминология, основанная на двух степенях заболевания: CIN низкой степени, включающая аномалии, соответствующие койлоцитарной атипичии и поражениям CIN 1, и CIN высокой степени, включающая CIN 2 и 3. Поражения высокой степени считались истинными

предшественниками инвазивного рака. В 1988 г. предложена новая схема представления результатов цитологического исследования шейки матки, на основании которой в 1991 г. разработана и представлена Бетесдская система (TBS), главной особенностью которой стало введение термина «плоскоклеточное внутриэпителиальное поражение» (SIL) и двухступенчатая система, включающая поражения низкой степени (LSIL) и высокой степени (HSIL). Классификация TBS объединяет плоские кондиломатозные (HPV) изменения и CIN низкой степени (CIN 1) в LSIL, в то время как HSIL включает более запущенные формы CIN, такие как CIN 2 и 3. Хотя классификация TBS предназначена для цитологического описания, она также используется для описания гистопатологических данных. В 2001 г. система TBS была пересмотрена и обновлена [2].

Цитологическая диагностика и определение степени выраженности CIN. CIN диагностируется микроскопически, анализируя клетки шейки матки в цитологическом мазке, окрашенном по Папаниколау. Оцениваются диспластические изменения клеток (увеличение объема ядра с изменением вариации размера ядер; гиперхромность/гиперхромазия; неравномерное распределение хроматина; атипичные митозы; хорошо различимые ядрышки/нуклеолы; ядерно-цитоплазматическое соотношение) (рис. 1).

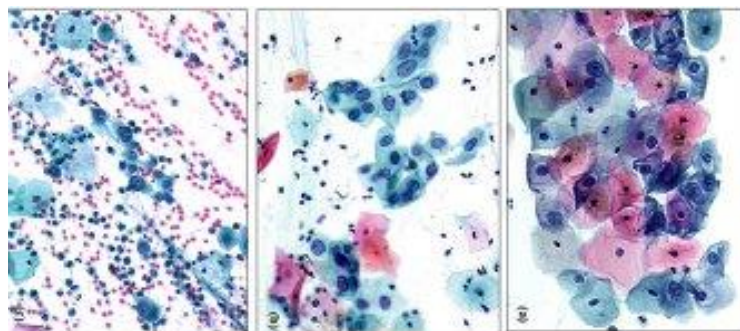


Рис. 1. Цитологическая картина дисплазии клеток шейки матки.
<https://screening.iarc.fr/colpochap.php?chap=2>

Диагностика и классификация CIN по данным гистопатологии. Окончательный диагноз CIN устанавливается на основании гистопатологического исследования биопсийного образца шейки матки или эксцизионной ткани. Оценка наличия или отсутствия CIN зависит от гистологических признаков, таких как нарушение стратификации слоев эпителия, ядерной атипии (те же критерии что при цитологической диагностике), доля толщины эпителия, содержащая недифференцированные клетки (табл. 1; рис. 2).

Таблица 1

Критерии оценки состояния эпителия

Морфологическая классификация	
<i>CIN systems</i>	<i>TBS</i>
Выявляется незначительная дисплазия эпителиальных клеток – $\frac{1}{3}$ эпителиального пласта, при умеренной пролиферации базальных клеток эпителия	LSIL <i>Low grade squamous intraepithelial lesion</i> (интраэпителиальное плоскоклеточное поражение низкой степени тяжести)
CIN II. Более выраженные изменения. Дисплазия распространяется от $\frac{1}{3}$ до $\frac{2}{3}$ толщины эпителия, преимущественно в области базальных клеток.	HSIL <i>High grade squamous intraepithelial lesion</i> (интраэпителиальное плоскоклеточное поражение высокой степени тяжести)
CIN III. Предраковое состояние. Трансформированные клетки охватывают более чем $\frac{2}{3}$ толщины слизистой шейки матки, иногда всю толщу слизистой.	

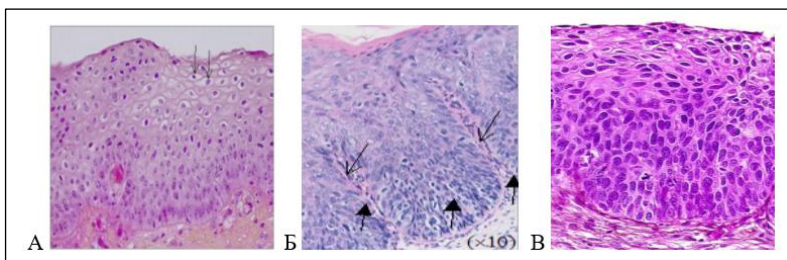


Рис. 2. А. Гистология CIN 1 – диспластические клетки ограничены нижней трети эпителия.

Койлоциты, обозначенные стрелками, исключительно в верхних слоях эпителия (x20).

Б. Гистология CIN 2: диспластические клетки ограничены в двух третях эпителия. Эпителиальные выступы (стрелки жирный цвет). Вытянутой формы капилляры (узкие стрелки) (x40). В. Гистология CIN 3: диспластические клетки распределены в эпителии последней трети в дополнении к нижним группам третей. Нарушена стратификация. (x40). <https://screening.iarc.fr/colpochap.php?chap=2>

В настоящее время известно, что эпителиальные поражения шейки матки, включая предраковые и инвазивные карциномы, в основном вызваны вирусом папилломы человека (HPV) (рис. 4), хотя также известно, что меньшая доля, особенно аденокарциномы, не зависят от HPV (рис. 3). В последней классификации Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в пятом издании 2020 г. этот этиологический фактор был учтен, и опухоли были разделены на ассоциированные с HPV и независимые от HPV, особенно с учетом более агрессивного поведения опухолей, не зависящих от ВПЧ [10].

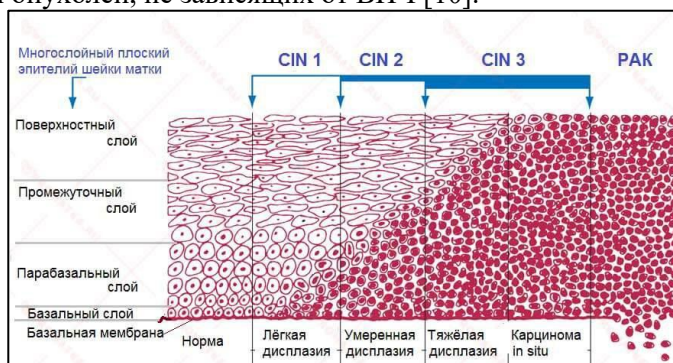


Рис. 3. Стадии дисплазии шейки матки (цервикальная, интраэпителиальная, неоплазия – CIN)

<https://kasheloff.ru/photos/kletki-ploskogo-epiteliya-hsil/70>

Плоскоклеточные новообразования встречаются чаще, чем железистые, и включают в себя следующие:

- предраковые поражения/плоскоклеточные интраэпителиальные поражения шейки матки – низкостепенная SIL (LSIL), высококачественная SIL (HSIL);
- морфологические варианты: тонкая HSIL, кератинизирующая HSIL, папиллярная и плеоморфная HSIL;
- инвазивная плоскоклеточная карцинома: плоскоклеточный рак, ассоциированный с HPV; независимый от HPV; иное (NOS).

Почти все плоскоклеточные поражения шейки матки, включая предшествующие поражения, называемые SIL, связаны с HPV. Согласно «Синей книге» ВОЗ 2016 г., третьему изданию, предпочтительной терминологией является LSIL и HSIL как для цитологических, так и для гистологических образцов. SIL делятся на две категории: LSIL и HSIL. LSIL включает CIN1, тогда как HSIL включает CIN2 и CIN3. HSIL предпочтительно дополнительно подразделяется на HSIL (CIN2) и HSIL (CIN3), особенно у молодых женщин, до 30 лет, поскольку многие из них могут регрессировать [3].

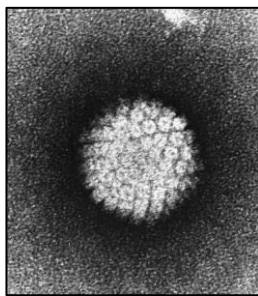


Рис. 4. Электронная микрофотография негативно окрашенного вируса папилломы человека (ВПЧ), который встречается в бородавках
<https://www.ronc.ru/about/struktura/niic/lmbv/>

Этиопатогенез цервикальной неоплазии. Эпидемиологические исследования выявили ряд факторов риска развития предраковых состояний шейки матки и самого рака. К ним относятся инфекция определенными онкогенными типами вируса HPV, половые контакты в раннем возрасте, множественные половые партнеры, многоплодная беременность, длительное использование оральных контрацептивов, курение табака, низкий социально-экономический статус, инфекция *Chlamydia trachomatis*, дефицит микронутриентов и диета с недостатком овощей и фруктов, снижение иммунитета (что позволяет инфекции HPV-персистировать), курение, хронические воспалительные заболевания половых органов, гормональные нарушения, травматизация шейки матки, генетическая предрасположенность к нестабильности генома, наличие других половых инфекций, которые могут усиливать патогенный эффект HPV [4; 5].

Типы HPV 16, 18, 31, 33, 35, 39, 45, 51, 52, 56, 58, 59 и 68 тесно связаны с CIN и инвазивным раком [8].

ДНК ВПЧ была обнаружена в 99,7% из 1000 образцов биопсии рака шейки матки, пригодных для оценки, полученных из 22 стран. HPV 16 и 18 являются основными вирусными генотипами, обнаруживаемыми при раке шейки матки во всем мире [12]. Хотя распространенность HPV-инфекции варьируется в разных регионах мира, она, как правило, достигает пика в 20–30% среди женщин в возрасте 20–24 лет, а затем снижается до примерно 3–10% среди женщин старше 30 лет [7]. ДНК ВПЧ обнаруживается у 80% женщин в возрасте 20 лет и примерно у 5% женщин в возрасте 60 лет. Однако HSIL чаще встречается у женщин старшего возраста. Хотя шейку матки могут инфицировать 40 типов ВПЧ, 18 типов высокого риска (например, 16 и 18) и 6 типов низкого риска (например, 6 и 11), при этом наиболее достоверные тесты на ВПЧ высокого риска оценивают 14–18 распространенных типов высокого риска. LSIL более стабильны по ДНК по сравнению с HSIL, которые чаще демонстрируют интеграцию ДНК и аномалии 1p и 3q, чем LSIL. Злокачественная прогрессия HSIL связана с гиперметилованием CpG-островков в промоторных областях генов-супрессоров опухолей, что обычно отсутствует при LSIL (например, 16 и 18) [9]. Считается, что инфекция HPV начинается в базальных или парабазальных клетках метапластического эпителия. Если инфекция сохраняется, может произойти интеграция вирусного генома в геном клетки-хозяина. Это может привести к развитию аномального диспластического эпителия.

Типирование HPV в отдельных точках само по себе не дает надежного прогностического указания, поскольку HPV высокого риска часто присутствуют в нормальных мазках из шейки матки (2–10%), пограничных (10–50%) и CIN1 (20–80%) поражениях. Кроме того, HPV-инфекция может быть транзиторной. Существуют убедительные доказательства того, что одной лишь HPV-инфекции недостаточно для злокачественной трансформации. Всё больше данных свидетельствует о том, что генетические изменения играют критическую роль в трансформации HPV-инфицированных клеток. Так, многие хромосомные регионы, включая 3p14.1-p22, 4p16, 4q21–35, 5p13–15, 6p21.3–22, 6q21–25, 11p15, 11q23, 13q12.3-q13,

17p13.3 и 18q12.2–22, демонстрируют потерю гетерозиготности при раке шейки матки. Потеря гетерозиготности в локусах 3p14.2, 3p21–22, 6p21 и 11q23 часто встречается при раке шейки матки и CIN, чаще наблюдается при CIN2, CIN3 и инвазивном раке, чем при CIN1. Кроме того, LOH в локусе 3p21 положительно коррелирует с митотической активностью опухолевых клеток. Делеция в локусе 6p21 значительно связана с плохой общей и безрецидивной выживаемостью у пациентов с раком шейки матки. Хромосома 11 содержит гены, подавляющие опухолевые свойства линий клеток рака шейки матки. Гены-супрессоры опухолей расположены на 11q23 [6].

Диагностика и роль биомаркеров. Первичным методом скрининга остается цитологическое исследование (Пап-тест), направленное на обнаружение атипичных клеток. Однако его чувствительность имеет пределы. В связи с этим возрастает значение иммуногистохимических биомаркеров, позволяющих объективно оценить пролиферативную активность и нарушение клеточного цикла. Ключевым маркером является p16^{INK4a}. Другими значимыми маркерами являются Ki-67 (индекс пролиферации), CIN3 отмечается распространение Ki-67 положительных клеток в верхние слои эпителия [6].

Современные подходы к диагностике и биомаркеры отражены в таблице 2.

Таблица 2

Молекулярные биомаркеры [9]

Биомаркер	Биологический материал	Клиническая значимость	Метод
miRNA-1290	Сыворотка	Диагностическая	Обратная транскрипция-количественная полимеразная цепная реакция (ОТ-кПЦР)
Экзосомальные miRNA-146a-5p, miRNA-151a-3p, miRNA-2110, miRNA-21-5p	Плазма	Диагностическая	Обратная транскрипция-количественная полимеразная цепная реакция (ОТ-кПЦР)
miP-16-2*, miP-195, miP-2861 и miP-497 Панель способная различать пациентов с раком шейки матки от пациентов с CIN и здоровых людей	Сыворотка	Диагностическая	Обратная транскрипция-количественная полимеразная цепная реакция (ОТ-кПЦР)
miP-9, miP-10a, miP-20a, miP-196a. для раннего выявления CIN	Сыворотка	Диагностическая	Обратная транскрипция-количественная полимеразная цепная реакция (ОТ-кПЦР)
miP-145-5п, miP-218-5п, miP-34a-5п	Моча и сыворотка	Диагностические и прогностические	Обратная транскрипция-количественная полимеразная цепная реакция (ОТ-кПЦР)
Экзосомальная микроРНК-142-5p. Экспрессируется в избытке на поздних стадиях рака шейки матки (III-IV) по сравнению с ранними стадиями (I-II).	Сыворотка	Прогрессирование заболевания и неблагоприятный клинический исход	Обратная транскрипция-количественная полимеразная цепная реакция (ОТ-кПЦР)
Экзосомальная микроРНК-651	Плазма	Диагностика и благоприятный прогноз	Обратная транскрипция-количественная полимеразная цепная реакция (ОТ-кПЦР)

Биомаркер	Биологический материал	Клиническая значимость	Метод
CCAT2, LINC01133 и LINC00511. Высоко экспрессируются у пациентов с раком шейки матки	Сыворотка	Диагностическая	Обратная транскрипция-количественная полимеразная цепная реакция (ОТ-кПЦР)
TNC, NCL, ENO2	Кровь	Диагностическая	Олигонуклеотидные микрочипы ОТ-ПЦР
ТПМЗ. Экспрессия значительно повышена у пациентов с раком шейки матки и плохой общей выживаемостью	Опухолевая ткань	Диагностика и неблагоприятный прогноз	Иммуногистохимия, Вестерн-иммуноблоттинг
FBXO5. Экспрессия значительно повышена у пациентов с раком шейки матки и плохой общей выживаемостью	Опухолевая ткань	Диагностика и неблагоприятный прогноз	Иммуногистохимия
CLPTM1L	Опухолевая ткань	Диагностика и неблагоприятный прогноз	Иммуногистохимия
Вирус папилломы человека 16/18 типа E7, циркулирующая внеклеточная ДНК.	Сыворотка	Мониторинг пациента	Амплификация рекомбиназной полимеразы с использованием латерального потока (RPA-LF)
ДНК ВПЧ16 и ВПЧ18 внеклеточного происхождения	Моча	Диагностическая	Спектрофотометрия. Магнитные нанопроволоки, конъюгированные с полиэтиленгликолем (PEI/mPpy NWs)
cfDNA HPV16, HPV18, HPV33, HPV35, HPV45, HPV56, HPV58, HPV59. Мониторинг эффективности терапии и выявления рецидивов.	Плазма	Прогностические и предсказательные	Секвенирование нового поколения (NGS)
ctDNA HPV16, HPV18, HPV31, HPV33, HPV45, HPV52, HPV58 и HPV73. Мониторинг эффективности терапии и выявления рецидивов.	Сыворотка и плазма	Прогностические и предсказательные	Цифровая капельная ПЦР (ddPCR)
ctDNA HPV16, HPV18	Сыворотка	Прогностические и предсказательные	Цифровая капельная ПЦР (ddPCR)
Летучие органические соединения (алканы)	Биологические жидкости из мочеполового тракта женщины, собранные на прокладке	Диагностическая	Газовая хроматография-масс-спектрометрия

Таким образом, интраэпителиальные неоплазии шейки матки представляют динамичный патологический процесс, напрямую коррелирует с риском развития инвазивного *carcinoma*.

В связи с этим ранняя диагностика материала шейки матки и биологического материала не относящегося к шейке матки (кровь, моча, сыворотка), эффективная профилактика значительно повышает раннее выявление патологического процесса и определяют больший положительный исход сохранения здоровья и репродуктивной функции

Список литературы

1. Клинышкова Т.В. Комплексный подход к вторичной профилактике цервикальной интраэпителиальной неоплазии / Т.В. Клинышкова, Н.Б. Фролова // Врач. – 2024. – Т. 35, №10. – С. 11–14. DOI 10.29296/25877305-2024-10-02. EDN BWBYBF
2. Цервикальная интраэпителиальная неоплазия: современное состояние проблемы в Екатеринбурге / Е.А. Росюк, А.И. Шорикова, Т.Е. Верба [и др.] // Пермский медицинский журнал. – 2024. – Т. 41, №1. – С. 24–31. DOI 10.17816/pmj41124-31. EDN CETNIZ
3. CLPTM1L expression predicts recurrence of patients with intermediate- and high-risk stage IB-IIb cervical cancer undergoing radical hysterectomy followed by TP as adjuvant chemotherapy / Y. Awazu, T. Fukuda, T. Noda [et al.] // Oncol. Lett. – 2023. – Vol. 26. – P. 353.
4. Cervical intraepithelial neoplasia grade 1 and long-term risk of progression and treatment / I. Baasland, T. Børge, B. Engesæter [et al.] // PLoS One. – 2025. – 20(4):e0320739. DOI 10.1371/journal.pone.0320739. EDN LKOETT
5. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries / F. Bray, M. Laversanne, H. Sung [et al.] // CA Cancer J. Clin. – 2024. – Vol. 74. – P. 229–263. DOI 10.3322/caac.21834. EDN FRJDQH
6. Cervical intraepithelial neoplasia: prognosis by combined LOH analysis of multiple loci / A. ELhamidi, R.A. Hamoudi, G. Kocjan, M.-Q. Du // Gynecologic Oncology. – 2004. – Vol. 94. – P. 671–679. DOI 10.1016/j.ygyno.2004.06.013. EDN MGOQUL
7. Global cancer observatory: cancer today, (Version 1.1) / J. Ferlay, M. Ervik, F. Lam [et al.]; International Agency for Research on Cancer: Lyon, France, 2024. – URL: <https://gco.iarc.who.int/today> (дата обращения: 14.03.2025).
8. CCT3 as a diagnostic and prognostic biomarker in cervical cancer / M. Li, J. Zeng, Y. Chang [et al.] // Crit. Rev. Eukaryot. Gene Expr. – 2023. – Vol. 33. – P. 17–28. DOI 10.1615/critrevukaryotgeneexpr.2023048208. EDN KPJIAJ
9. Cervical cancer biomarkers in non-cervical samples: emerging tools for diagnosis and prognosis / M. del R. Lizarazo-Taborda, M. Godínez-Rubí, D. Núñez-Avellaneda [et al.] // Int. J. Mol. Sci. – 2025. – Vol. 26(13). – Art. 6502. DOI 10.3390/ijms26136502. EDN CNXKUC
10. Meenakshi S. Update in pathological classification of cervical intraepithelial neoplasia and cervical cancer / S. Meenakshi // Journal of Colposcopy and Lower Genital Tract Pathology. – 2023. – Vol. 1(2). – P. 56–63.
11. Detection of circulating cell-free HPV DNA of 13 HPV types for patients with cervical cancer as potential biomarker to monitor therapy response and to detect relapse / S. Mittelstadt, O. Kelemen, J. Admard [et al.] // Br. J. Cancer. – 2023. – Vol. 128. – P. 2097–2103.
12. TPM3: a novel prognostic biomarker of cervical cancer that correlates with immune infiltration and promotes malignant behavior in vivo and in vitro / Y.-C. Zhao, T.-J. Wang, G.-H. Qu [et al.] // Am. J. Cancer Res. – 2023. – Vol. 13. – P. 3123–3139.

Фомина Любовь Леонидовна

канд. биол. наук, доцент

Ошуркова Юлия Леонидовна

канд. биол. наук, доцент

Баруздина Елена Сергеевна

канд. ветеринар. наук, доцент

Кузнецов Артем Аскольдович

студент

ФГБОУ ВО «Вологодская государственная
молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина»
г. Вологда, Вологодская область

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ВЕТЕРИНАРНОГО КОАГУЛОМЕТРА ДЛЯ КОРРЕКТНОЙ ОЦЕНКИ ГЕМОСТАЗА У РАЗНЫХ ВИДОВ ЖИВОТНЫХ

Аннотация: в статье приведены данные сравнительного анализа показателей свёртывания крови у крупного рогатого скота, птицы и рыб, полученные при стандартной для человека температуре (37°C) и при значениях, соответствующих нормальной температуре тела каждого вида. Показано, что игнорирование термобиологических особенностей ведёт к диагностическим ошибкам. В качестве решения предложен и запатентован оригинальный ветеринарный коагулометр, позволяющий регулировать температурный режим инкубации плазмы.

Ключевые слова: гемостаз, коагулограмма, продуктивные животные, рыбы, птица, температурная зависимость.

Введение. В последние годы накоплен обширный материал, свидетельствующий о значимой роли нарушений гемостаза в патогенезе многих заболеваний сельскохозяйственных животных. Так, у телят при диарее нередко диагностируется ДВС-синдром, который при сепсисе становится ведущей причиной гибели [2; 3]. Кроме того, активно изучается влияние гипер- и гипотермических состояний на коагуляционный потенциал [4]. В хозяйствах Вологодской области участились случаи спонтанных носовых кровотечений у коров, что может указывать на скрытые дефекты свёртывающей системы. Однако в рутинной ветеринарной практике такие исследования практически не проводятся, а если и выполняются, то с использованием методик и оборудования, ориентированных на человека. Это заведомо некорректно, поскольку стандартные 37°C, принятые для инкубации плазмы, не совпадают с физиологическими температурами тела большинства животных (у птиц – до 43°C, у КРС – около 40°C, у рыб – 18–28°C), что неизбежно искажает результаты.

Цель и задачи. Целью работы было экспериментальное сравнение параметров коагулограммы, определённых при 37°C и при видовых температурах, а также обоснование конструктивных особенностей специализированного ветеринарного коагулометра. В задачи входило:

- измерение АЧТВ, протромбинового и тромбинового времени, уровня фибриногена и антитромбина III в двух температурных режимах;
- доказательство необходимости применения прибора с регулируемым нагревом для адекватной оценки гемостаза.

Материалы и методы. Исследования проведены в 2023–2024 гг. на базе Вологодской ГМХА. Объектами служили клинически здоровые особи: радужная форель (n = 15), африканский клариевый сом (n = 10), карп (n = 15), коровы айрширской породы (n = 15) и куры-несушки Род-Айленд (n = 19). Кровь стабилизировали цитратом натрия, забор осуществляли

из хвостовой (КРС), подкрыльцовой (птица) и гемального каналов (рыбы). Бедную тромбоцитами плазму получали центрифугированием (3000 об/мин, 20 мин).

Коагулологические тесты выполняли параллельно: на медицинском коагулометре «Thrombostat» при 37°C и ручным методом в водяной бане при температурах, близких к физиологическим для каждого вида (куры – 43°C, коровы – 40°C, сом – 24°C, карп – 28°C, форель – 18°C). Использованы стандартные реактивы («Тромбо-тест», «Техпластин-тест», «АПТВ-тест», набор для фибриногена). Статистическая обработка включала проверку нормальности (Шапиро-Уилк, Колмогоров-Смирнов), сравнение выборок (Манна-Уитни и Вилкоксона), корреляционный анализ по Спирмену (R) с расчётом R² и ANOVA.

Результаты. Установлено, что для большинства видов значения коагуляционных тестов при оптимальной температуре достоверно отличаются от таковых при 37°C (табл. 1).

Таблица 1

Коагулограмма рыб, полученная при использовании медицинского (37°C) коагулометра и термостата медицинского водяного ELMi TW-2

	Радужная форель (<i>Oncorhynchus mykiss</i> W., n=15)		Африканский клариевый сом (<i>Clarias gariepinus</i> B., n=10)		Обыкновенный чешуйчатый карп (<i>Cyprinus carpio</i> L., n=15)	
	18°C	37°C	28°C	37°C	24°C	37°C
ТВ, с	91,76±43,46	15,87±1,44*	>1000	>1000	26,62±5,18	535,13±127,76*
ПВ, с	>250	>250	>1000	>1000	11,47±0,80	212,74±24,42*
АЧТВ, с	34,64±1,66	15,21±0,43*	189,46±65,97	153,88±52,49	25,73±2,74	14,22±1,20*
Фибриноген, г/л	2,14±0,30	1,42±0,85	>300 с	7,03±0,85	2,58±0,60	1,96±0,25*

* различия с аналогичным показателем при температуре 37°C достоверны (p≤0,05).

Исключение составили куры: значимых расхождений не зафиксировано (кроме ПВ), что допускает использование медицинских приборов для птицы, но не для других животных (табл. 2).

Таблица 2

Коагулограмма коров и кур, полученная с учетом термобиологического статуса

Наименование показателя	Коровы (n=14)		Куры (n=19)	
	37°C	40°C	37°C	43°C
ТВ (с)	26,54±1,74	45,17±4,63*	46,39±1,74	45,52±1,64
ПВ (с)	55,13±13,68	34,57±1,68*	83,13±15,36	154,64±41,71*
АЧТВ (с)	62,83±2,34	64,31±6,85	64,56±7,67	78,82±12,41
Фибриноген (сек)	12,46±1,20	23,90±5,67*	93,88±9,75	109,15±11,27

* различия с аналогичным показателем при температуре 37°C достоверны (p≤0,05).

У коров при 40°C выявлена гиперкоагуляция: тромбиновое время сократилось на 61%, протромбиновое – на 29%, тогда как АЧТВ парадоксально удлинилось на 38%, а антитромбин III снизился на 51%. При понижении до 37°C развивалась гипокоагуляция – все показатели возрастали, фибриноген падал на 82%, антитромбин III рос. Корреляция ПВ и активности антитромбина с температурой оказалась высокой (R = -0,79 и -0,8 соответственно; p≤0,01), вклад температуры в вариабельность составил около 60%.

У кур при 46°C также отмечено ускорение свёртывания (укорочение ТВ и ПВ). Однако при низкой температуре (18°C) у них, в отличие от млекопитающих, также наблюдалась гиперкоагуляция: ПВ сократилось на 81%, возрос уровень фибриногена. Температура детерминировала 71% изменений ТВ и 39% – фибриногена.

Реакции рыб были видоспецифичны. У карпа преобладала гипокоагуляция с угнетением тканевого пути, причём температура определяла 50% вариаций ПВ ($R = 0,8$; $p \leq 0,01$). У сома, напротив, выявлены гиперкоагуляционные сдвиги: рост фибриногена ($R = -0,7$; $p \leq 0,01$) и снижение антитромбина III ($R = -0,8$; $p \leq 0,01$). Видимо, факторы свёртывания сома наиболее термолабильны. У форели достоверных изменений не обнаружено, что, вероятно, связано с адаптацией к холодноводной среде.

На основе полученных данных разработана и запатентована полезная модель «Коагулометр модифицированный ветеринарный с регулируемой температурой инкубации плазмы» [5]. Модификация заключается во введении в термостабилизатор переменного сопротивления (1 кОм) с ручкой регулировки, что позволяет устанавливать температуру в кювете от 37 до 44°C (рис. 1).



Рис. 1. Модифицированный ветеринарный коагулометр

Технический результат – учёт реального термобиологического статуса животного. При сравнении измерений на стандартном и модифицированном приборе получены достоверные различия, особенно выраженные у молодняка.

Заключение и рекомендации.

1. Применение медицинских коагулометров (37°C) для диагностики гемостаза у коров, рыб и большинства продуктивных животных ведёт к систематической ошибке, не отражающей истинной скорости реакций.

2. Разработанный ветеринарный коагулометр с регулируемой температурой позволяет проводить исследования корректно, что требует пересмотра референсных интервалов для каждого вида.

3. Выявленные закономерности указывают на риск гиперкоагуляции при тепловом стрессе и гипокоагуляции при охлаждении, что должно учитываться при терапии и профилактике.

В экспериментальной биологии и медицине при работе с животными-моделями (свиньи, овцы, мыши) также необходимо ориентироваться на их видовую температуру, а не на универсальные 37°C.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда №23-26-00115, <https://rscf.ru/project/23-26-00115/>

Список литературы

1. The evaluation of hemostatic dysfunction and disseminated intravascular coagulation in dairy cows with abomasal displacement / M. Maden, R. Yildiz, R. Çöl, [et al.] // Polish Journal of Veterinary Sciences. – 2018. – Vol. 21. – No. 4. – P. 769–778.
2. Investigation of the coagulation profile in calves with neonatal diarrhea / G. Gökçe, H. I. Gökçe, H. M. Erdogan, V. Gunes // Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences. – 2006. – No. 30 (2). – P. 223–227.
3. The evaluation of coagulation profiles in calves with suspected septic shock / K. Irmak, I. Sen, R. Col [et al.] // Veterinary Research Communications. – 2006. – No. 30. – C. 497–503. DOI 10.1007/s11259-006-3258-8. EDN YWQVXM
4. Зависимость коагуляционной активности крови коров *in vitro* от температуры / Л.Л. Фомина, Д.И. Березина, Т.С. Кулакова, К.Э. Моданова. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2024. – Т. 25, №1. – С. 90–97.
5. Патент на полезную модель №229630 U1 Российская Федерация, МПК G01N 11/10, G01N 33/49. Коагулометр модифицированный ветеринарный с регулируемой температурой инкубации плазмы: №2024112375: заявл. 07.05.2024; опубл. 16.10.2024 / Л.Л. Фомина, Т.С. Кулакова, Д.И. Березина [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина». – EDN ZXWYNI.

БИОХИМИЯ И ТОКСИКОЛОГИЯ (БИОХИМИЧЕСКИЕ, ИММУНОЛОГИЧЕСКИЕ, ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ)

Андреева Лариса Викторовна

канд. с.-х. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Новгородский государственный
университет им. Ярослава Мудрого»

г. Великий Новгород, Новгородская область

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ИЗВЛЕЧЕНИЯ КАРОТИНОИДОВ ИЗ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ШЛЕМНИКА БАЙКАЛЬСКОГО (*SCUTELLARIA BAICALENSIS GEORGI*)

Аннотация: в статье рассматриваются параметры технологического процесса получения каротиноидов методом экстракции из растительного сырья – шлемника байкальского (*Scutellaria baicalensis Georgi*). Особенностью данного процесса является использование в качестве исходного вещества шрота, полученного в результате первичной переработки. Проведенные опыты позволили выбрать оптимальные условия процесса экстракции, рациональное отношение сырья и растворителя. Доказана эффективность использования вторичного сырья для извлечения биологически активных веществ – каротиноидов.

Ключевые слова: экстракция, шлемник байкальский (*Scutellaria baicalensis Georgi*), шрот, каротиноиды, биологически активные вещества.

Люди стали внимательнее относиться к своему здоровью, вести здоровый образ жизни. Растет число приверженцев рационального и персонифицированного питания, которое предполагает использование в рационах необходимых биологически активных веществ (БАВ). Одним из основных источников БАВ являются комплексы биологически активных добавок (БАД). Рынок БАД постоянно растет, создаются новые варианты, разрабатываются различные схемы применения добавок [1]. Увеличиваются потребности в безопасных, экологически чистых биодобавках [2].

Поставщиком природных БАВ являются растения. Как правило, они содержат комплексы разнообразных веществ. Однако извлекаются из растений только определенные единичные представители БАВ. Таким образом получается много отходов и сырье используется неэффективно. Также необходимо учитывать, что растительное сырье должно быть качественным, экологически чистым и правильно подготовленным к переработке [3]. Эти требования значительно повышают стоимость сырья, и, следовательно, увеличивается стоимость конечных продуктов. Указанные факторы заставляют переработчиков искать способы комплексной переработки сырья.

Вариантом такой переработки является последовательное извлечение компонентов. Учитывая различную химическую природу БАВ, можно сначала экстрагировать водорастворимые вещества, а затем – гидрофобные. При этом параметры технологического процесса экстракции будут иметь очень важное значение как на первом этапе, так и на втором. Необходимо контролировать, чтобы извлекаемые вещества не разрушались и не подвергались химической модификации.

Работы по извлечению каротиноидов из шрота шлемника байкальского проводились в Новгородском государственном университете имени Ярослава Мудрого совместно с ООО «ЭВКЛаб». Предприятие специализируется на получении БАВ из растительного сырья и постоянно работает над вопросом расширения ассортимента продукции. Из шлемника байкальского на предприятии ООО «ЭВКЛаб» получают флавоноиды методом водно-спиртовой

экстракции. Данный технологический процесс включает покупку и подготовку сырья, непосредственно процесс экстракции и утилизацию отходов – шрота.

Так как в составе шрота остается комплекс биологически активных химических соединений гидрофобной природы, встал вопрос возможности вторичной переработки шрота. В составе шлемника байкальского присутствуют каротиноиды, которые не извлекаются водой и не подвергаются химическим превращениям при водно-спиртовой экстракции [4–6]. Шрот в отличие от сухого сырья не требует тщательной подготовки, подвергается процессу естественной сушки для удаления спирта и воды. Это значительно снижает затраты на его подготовку в качестве исходного сырья.

Экстракция каротиноидов выполнялась с использованием гексана в сверхкритической флюидной системе для экстракции природного сырья компании Natex, Inc. /Австрия. Исследовались параметры процесса: время экстракции, соотношение сырья и растворителя, температура экстракции. Концентрация каротиноидов в экстрактах определялась методом спектрофотометрии на спектрофотометре ПЭ5300-В при длине волны 450 нм. Раствор сравнения – гексан.

Для выбора оптимальных условий технологического процесса было выполнено 12 вариантов экстракции, в которых варьировались температурные условия и отношение исходного сырья и растворителя. Продолжительность процесса во всех опытах составляла 10 часов.

В результате проведения исследования были получены данные по выходу каротиноидов (табл. 1).

Таблица 1

Параметры экстракции и выход каротиноидов

Температура, °С	Отношение сырья к растворителю, г	Содержание каротиноидов, %
30	100:300	9,87
30	100:500	9,95
30	100:800	9,99
30	100:1000	10,14
40	100:300	9,92
40	100:500	10,22
40	100:800	10,19
40	100:1000	10,22
50	100:300	9,99
50	100:500	10,26
50	100:800	10,19
50	100:1000	10,03

Параллельно исследовались потери летучего растворителя (табл. 2).

Таблица 2

Потери гексана

Температура, °С	Отношение сырья к растворителю, г	Потери растворителя, г
40°С	100:500	130
40°С	100:800	232
40°С	100:1000	270
50°С	100:500	272
50°С	100:800	441
50°С	100:1000	554

Максимальный выход каротиноидов был достигнут при температуре 50°С и отношению сырья к растворителю 1:5. Потери растворителя при этих параметрах сопоставимы с потерями при более низких температурах.

В результате эксперимента установлены оптимальные параметры процесса: продолжительность экстракции 10 часов; отношение сырья к растворителю 1: 5; температура 50°С.

Эти параметры позволяют обеспечивать стабильный выход каротиноидов из 100 г шрота на уровне 10,26%.

Список литературы

1. Мальцева И.С. Потребление биологически активных добавок (БАД) как фактор культуры здоровьесбережения населения региона: социологический анализ / И.С. Мальцева, И.Н. Дьякова // Вестник Майкопского государственного технологического университета. – 2025. – Т. 17, №3. – С. 133–148. – DOI 10.47370/2078-1024-2025-17-3-133-148. – EDN FQXJJN.
2. Лобыкина Е. Н. К вопросу об использовании биологически активных добавок к пище во врачебной практике / Е. Н. Лобыкина // Вопросы диетологии. – 2017. – Т. 7, №3. – С. 33–43. – DOI 10.20953/2224-5448-2017-3-33-43. – EDN YMJKRJ.
3. Волкова Г.Ф. О гигиенических требованиях к производству и реализации биологически активных добавок к пище (БАД) / Г.Ф. Волкова, Г.А. Дмитриева, В.В. Власова // Медицина. XXI век. – 2006. – №5. – С. 67–70. – EDN QYUVCL.
4. Нилова Л.П. Каротиноиды в растительных пищевых системах / Л.П. Нилова, И.Ю. Потороко // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2021. – Т. 9, №4. – С. 54–69. – DOI 10.14529/food210407. – EDN WGNNUH.
5. Характеристика существующих способов получения каротинов из концентратов каротиноидов / Е.В. Лисовая, А.Д. Ачмиз, Е.П. Викторова, А.А. Схалыхов // Новые технологии. – 2024. – Т. 20, №1. – С. 72–82. – DOI 10.47370/2072-0920-2024-20-1-72-82. – EDN AIWGIG.
6. Мирович В.М. Содержание биологически активных веществ в надземной части *Scutellaria scordifolia* Fischer ex Schrank / В.М. Мирович, С.А. Шмакова // Современное медицинское образование. Достижения, проблемы, пути решения: материалы международной научно-практической конференции (Иркутск, 14–15 ноября 2024 года). – Иркутск: Иркутский государственный медицинский университет, 2024. – С. 166–167. – EDN TPUQGY.

Афанасьев Елисей Сергеевич

студент

Клементьев Егор Александрович

студент

Пушкина Клара Владимировна

канд. пед. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»
г. Чебоксары, Чувашская республика

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МОЛОКА РАЗЛИЧНЫХ ТОРГОВЫХ МАРОК КАК ИНСТРУМЕНТ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ

Аннотация: статья посвящена сравнительному анализу химического состава питьевого молока различных производителей. Изучена нормативно-техническую базу (ТР ТС 033/2013, ГОСТы), проведены лабораторные исследования для выполнения сравнительного анализа полученных данных с требованиями стандартов.

Ключевые слова: питьевое молоко, химический состав, сравнительный анализ, качество, физико-химические показатели, производители, контроль качества.

В современном мире молоко является важным продуктом в рационе человека, который крайне важен для детей, пожилых людей. В нем содержатся различные виды белков, макро- и микроэлементов. На современных прилавках магазинов представлен широкий ассортимент питьевого молока от множества производителей.

Актуальность исследования обусловлена влиянием состава молока, который может сильно варьироваться в зависимости от поставщика сырья, породы скота, рациона кормления и так далее; современными тенденциями к здоровому питанию. Вследствие этого

целью работы является проведение лабораторного исследования биохимического состава молока нескольких торговых марок, которые поставляются в сетевые магазины города Чебоксары, оценить соответствие полученных показателей и сравнить их с принятым нормам и внутренним стандартам качества производителей ГОСТ и ТР ТС 033/2013, выявить возможные несоответствия и разработать практические рекомендации для потребителей.

Задачи исследования.

1. Изучить литературу о химическом составе коровьего молока.
2. Изучить нормативные требования (ТР ТС 033/2013 и профильные ГОСТы), которые регламентируют качественные показатели молока.
3. Выбрать продукцию для исследования из популярных марок молока и провести лабораторное исследование.
4. Оценить полученные результаты и сравнить их с требованиями ГОСТа.

Материалы исследования.

Теоретическую базу исследования составили различные научные труды в области биохимического состава молока и его лабораторных исследований. В качестве объекта анализа выступает молоко питьевое, доступное сетевых магазинах в городе Чебоксары.

Молоко – биологическая смесь, вырабатываемая молочными железами млекопитающих и служащая для питания новорождённых. В пищевой промышленности под «молоком» чаще всего понимают коровье молоко.

С точки зрения биохимии, молоко является эмульсией жира в водном растворе различных веществ. В рационе человека молоко занимает особое место – это незаменимый продукт, так как он содержит практически все полезные вещества. К таким веществам относятся белки, выполняющие строительную функцию; жиры, являющиеся источником энергии; углеводы, обеспечивающие энергетический обмен; минеральные вещества, необходимые для различных систем; а также витамины, поддерживающие обмен веществ.

Основными составными частями являются следующие.

1. Вода. Вода составляет около 86–88% молока. Является универсальным растворителем для протекания химических реакций.

2. Белки. Белки составляют около 2,8–3,4% молока, они формируют мышечные ткани, обеспечивают развитие организма.

3. Молочный жир. Составляет около 2,5–6%. Находится в виде мельчайших шариков (эмульсии). Молочный жир обеспечивает высокую энергетическую ценность продукта, участвует в формировании вкуса молока.

4. Минеральные вещества (0,7–0,8%):

а) макроэлементы: Кальций необходим для минерализации костей, участвует в процессах свертывания молока, фосфор крайне важен для обменных процессов. Калий и натрий участвуют в поддержании потенциал-покоя.

б) микроэлементы: Железо участвует в образовании гемоглобина, медь необходима для работы ферментов, цинк важен для роста организма, йод важен для работы щитовидной железы, селен выполняет антиоксидантную функцию.

5. Витамины: Молоко содержит практически все известные витамины.

Качество питьевого молока жестко регламентируется нормативными актами. К основным контролируемым показателям относятся следующие.

1. Массовая доля жира (МДЖ) – процент жира в молоке, является главным показателем питательной и энергетической ценности.

2. Массовая доля белка (МДБ) – процент общего белка, а также соотношение казеина/сыворожки, определяет питательную ценность.

3. Сухой обезжиренный молочный остаток (СОМО) – это масса всех составных частей молока, кроме жира и воды.

4. Кислотность – это мера содержания свободных кислот и кислотности молока. Является показатель свежести. При повышенной кислотности у молока может появиться неприятный кислый вкус, указывает на нарушение санитарии.

5. Плотность – это единица объёма молока при заданной температуре. Плотность отражает соотношение воды и сухих веществ в молоке.

6. Массовая доля лактозы (МДЛ) – это углевод, основная форма сахара в молоке. Необходим для сладости, ферментационной способности молока.

7. Щелочное число/показатели pH – это pH молока обычно нейтрально-слегка кислая. pH влияет на стабильность белков, размножение микрофлоры.

8. Сухой молочный остаток (СМО) – это общая сумма всех сухих веществ молока, включая и СОМО, и жир.

9. Минеральные соли (МС) – это комплекс микро- и макроэлементов в молоке Минеральные соли нужны для оценки питательной ценности молока.

10. Степень гомогенизации (СГ) – это показатель, отражающий насколько равномерно распределены жировые шарики после прохождения через гомогенизатор.

11. Добавление воды (ДВ) – это показатель содержания воды в молоке. При обнаружении этого показателя в ходе исследования становится ясно, что в молоко добавляется вода.

С точки зрения такой современной науки, как биоэкология, молоко рассматривается как продукт, качество которого показывает состояние окружающей среды. Использование в современном производстве молока различных стимуляторов роста, кормовых добавок в рацион коров, применение новых технологий, которые ухудшают экологическое состояние самих агрокомплексов приводит к ухудшению качества молока. В современных реалиях тренд на здоровое питание предполагает использование в рационе человека экологически чистых продуктов, а использование «экологически грязного» молока оказывает негативное влияние на организм.

Результаты исследования.

Эмпирическая часть исследования выполнена методом эксперимента. Была сделана выборка из самых популярных производителей молока на рынке города Чебоксары. В ходе исследования были выбраны следующие торговые марки молока: «Белоусовы», «Простоквашино», «Очень важная корова», «Сернур».

В данной работе был использован экспериментальный метод исследования, анализы молока были проведены на сертифицированном техническом оборудовании НПП БИОМЕР «КЛЕВЕР-2М» в лаборатории на базе «Чувашского государственного аграрного университета» на кафедре биотехнологии и переработке сельскохозяйственной продукции. Проведя эксперимент, получились следующие показатели:

Таблица 1

Химические показатели «Белоусовы» пастеризованное 2,5%

Показатель	Молоко «Белоусовы» пастеризованное 2,5%	Пределы варьирования
МДЖ	2,78	2,5...4,1
МДБ	3,06	3,1...3,4
Плотность	28,77	-
ДВ	0,00	0,00
СОМО	8,24	-
СМО	11,08	-
СГ	51,76	-
МДЛ	4,49	4,61...4,7
МС	0,71	0,61...0,7
pH	6,64	6,3...6,9

Таблица 2

Химические показатели «Простоквашино» пастеризованное

Показатель	Молоко «Простоквашино» пастеризованное 2,5%	Пределы варьирования
МДЖ	2,62	2,5...4,1
МДБ	3,11	3,1...3,4
Плотность	29,37	-
ДВ	0,00	0,00
СОМО	8,36	-
СМО	11,03	-
СГ	75,97	-
МДЛ	4,55	4,61...4,7
МС	0,72	0,61...0,7
рН	6,68	6,3...6,9

Таблица 3

Химический анализ молока «Очень важная корова»

Показатель	Молоко «Очень важная корова»	Пределы варьирования
МДЖ	2,49	2,5...4,1
МДБ	2,92	3,1...3,4
Плотность	27,41	-
ДВ	4,61	0,00
СОМО	7,82	-
СМО	10,36	-
СГ	62,45	-
МДЛ	4,26	4,61...4,7
МС	0,67	0,61...0,7
рН	6,69	6,3...6,9

При первичном лабораторном анализе молока «Очень важная корова» была обнаружена вода(ДВ). Во избежание некорректных данных был проведен повторный анализ молока с целью выявления достоверности результатов, которое показало соответствие торговой марки ГОСТу. Результаты повторного анализа приведены в таблице 4.

Таблица 4

Контрольный химический анализ молока «Очень важная корова»

Показатель	Молоко «Очень важная корова»	Пределы варьирования
МДЖ	2,52	2,5...4,1
МДБ	3,05	3,1...3,4
Плотность	27,51	-
ДВ	0,00	0,00
СОМО	7,72	-
СМО	10,43	-
СГ	62,49	-
МДЛ	4,32	4,61...4,7
МС	0,62	0,61...0,7
рН	6,69	6,3...6,9

Таблица 5

Химические показатели молока «Сернур» 2,5%

Показатель	Молоко «Сернур» 2,5%	Пределы варьирования
МДЖ	2,74	2,5...4,1
МДБ	3,44	3,1...3,4
Плотность	30,93	-
ДВ	0,00	0,00
СОМО	8,81	—
СМО	11,6	—
СГ	45,81	—
- МДЛ 4,6 4,61...4,7 МС 0,76МДЛ	4,6	4,61...4,7
МС	0,76	0,61...0,7
С ⁰	16,69	16...22
t ⁰ Замерзания	-0,5375	-0,51...-0,58
pH	6,57	6,3...6,9

Выводы.

В ходе проведенной работы подтверждено, что анализ таких данных как плотность, кислотность, СОМО и массовая доля нутриентов (белка и жира), являются показателями для выявления возможного отклонения в составе продукта и факта фальсификации.

Также было выявлено что вся молочная продукция, представленная в розничных сетях, сохраняет высокую пищевую ценность и соответствует жестким требованиям ГОСТ.

Практическим результатом проекта является брошюра, в которой написаны рекомендательная база для выбора экологически чистого молока.

Список литературы

1. Аверкина М.А. Факторы, влияющие на старение мозга, его проявления на биохимическом и физиологическом уровнях и возможные профилактические меры / М.А. Аверкина, М.А. Иванова, К.В. Пушкина // Сборник научных трудов молодых ученых и специалистов: сборник статей. – В 2 ч. – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2023. – С. 171–175. – EDN IPMUMY.
2. ГОСТ 31450-2013. Молоко питьевое. Технические условия. – М.: Стандартинформ. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293777/4293777655.pdf> (дата обращения: 15.12.2025).
3. ГОСТ Р 52054-2023. Молоко коровье сырое. Технические условия. – М.: Стандартинформ. – URL: [https://milknews.ru/files/ГОСТ%20Р%2052054-2023%20Молоко%20сырое%20\(2\).pdf](https://milknews.ru/files/ГОСТ%20Р%2052054-2023%20Молоко%20сырое%20(2).pdf) (дата обращения: 15.12.2025).
4. Крусъ Г.Н. Молоко и молочные продукты. Контроль качества / Г.Н. Крусъ, А.М. Шалыгина. – М.: КолосС, 2021. – 384 с.
5. Научно-производственное предприятие «Биомер». Анализаторы молока серии «Клевер» // Сайт компании Биомер– URL: <https://biomer.ru/article/nasi-analizatory-moloka/> (дата обращения: 15.12.2025).

Владимирова Ольга Денисовна

студентка

Кудряшова Юлия Сергеевна

студентка

Пушкина Клара Владимировна

канд. пед. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Чувашская Республика

СУЛЬФАТЫ В ШАМПУНЯХ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СОСТОЯНИЕ ВОЛОС

Аннотация: в статье рассмотрено влияние сульфатов в составе шампуней на состояние волос и кожи головы. Рассмотрены основные типы ПАВ, их влияние на структуру волос, а также проведен экспериментальный анализ состава популярных шампуней. Методология исследования включала химический анализ шампуней на наличие сульфат-ионов, определение pH-показателей и социологический опрос потребителей. Основные результаты показали, что большинство исследованных образцов содержат сульфаты, при этом выявлены их негативные эффекты: раздражение кожи, нарушение защитного слоя волос, появление перхоти.

Ключевые слова: сульфаты, шампуни, уход за волосами, безопасность косметики, поверхностно-активные вещества.

С точки зрения химии сульфаты – это соли серной кислоты, продукт переработки нефти. В составе косметики они выполняют роль поверхностно-активных веществ (ПАВ), то есть отвечают за очищение. Молекула любого ПАВ устроена хитро: один её конец притягивает жир и грязь (липофильный «хвост»), а другой – воду (гидрофильная «голова»). Благодаря этому грязь смывается, а не остаётся на волосах.

Самые известные представители сульфатной семьи – Sodium Lauryl Sulfate (SLS ($C_{12}H_{25}SO_4Na$)) – мощный очиститель, создаёт обильную пену, но может раздражать кожу) и Sodium Laureth Sulfate (SLES ($C_{12}H_{25}(OCH_2CH_2)_nOSO_3Na$)) – мягче SLS за счёт добавления оксиэтильных групп, менее агрессивен). Первый считается более жёстким, второй – чуть мягче за счёт дополнительной обработки (этоксилирования). Реже, но встречаются и более агрессивные варианты: Ammonium Lauryl Sulfate и Ammonium Laureth Sulfate (аналогичны натриевым солям, но могут быть ещё более раздражающими), которые действуют на волосы особенно жёстко [4].

Казалось бы, если сульфаты так хорошо очищают, в чём проблема? Проблема в том, что они не умеют различать «плохой» жир (загрязнения) и «хороший» (естественную защитную смазку волос и кожи). Сульфаты смывают всё подчистую.

К чему это приводит? Лишённые естественного жирового барьера волосы становятся уязвимыми. Они быстрее теряют влагу, становятся тусклыми, ломкими, начинают сечься на концах. Кожа головы тоже страдает: сульфаты нарушают её естественный pH-баланс, провоцируют сухость, зуд, появление перхоти. У людей с чувствительной кожей или дерматологическими заболеваниями эти симптомы проявляются особенно ярко [1].

Исследования показывают, что значительный вред сульфаты могут наносить при концентрации выше 2%, но в уходовой косметике такие показатели встречаются редко. Тем не менее даже небольшие дозировки при регулярном использовании способны вызвать дискомфорт [6].

Отдельный разговор – обладатели кудрявых и вьющихся волос. Сульфаты для них – настоящий враг. Жёсткое очищение лишает кудри влаги, из-за чего локоны теряют форму, начинают пушиться и выглядеть неопрятно [5].

Волосы состоят из кератина, а их внешний слой – кутикула – защищает внутренние слои. Щелочные ПАВ (к которым относятся сульфаты) приподнимают чешуйки кутикулы, что

улучшает очищение, но одновременно: увеличивает потерю влаги и делает волосы более уязвимыми к внешним воздействиям.

Мало кто из нас смотрит на pH шампуня перед покупкой. А зря. Большинство сульфатных ПАВ имеют щелочную среду, и, несмотря на регуляторы кислотности в составе, итоговый pH средства часто сдвигается в сторону >7 . А это прямая угроза для волос: щелочная среда увеличивает отрицательный заряд на поверхности волосяного стержня, усиливает трение между волокнами, повреждает кутикулу и ведёт к ломкости.

Идеальный вариант – шампуни с $\text{pH} < 7$ (кислая среда). Они меньше электризуют волосы и бережнее относятся к кутикуле. Проблема в том, что производители крайне редко указывают pH на упаковке. По статистике, только 38% популярных масс-маркет шампуней и 75% салонных средств имеют pH ниже 5,0. Остальные – щелочные или нейтральные, что далеко не всегда хорошо для волос.

Как же проверить pH шампуня в домашних условиях, если на упаковке нет информации? Можно использовать: лакмусовые полоски (продают в аптеках и магазинах химреактивов) или pH-метр (более точный прибор, подходит для регулярного использования).

Полностью отказываться от сульфатных шампуней не обязательно. У них есть свои плюсы: они отлично смывают силиконы и средства для укладки, помогают питательным маслам проникать глубже, раскрывая чешуйки волос. Поэтому разумная стратегия – комбинировать: использовать сульфатный шампунь раз в 1–2 недели для глубокого очищения, а в остальные дни мыть голову мягкими средствами [2].

В профессиональной и органической косметике сульфаты заменяют более щадящими ПАВ. Они хуже пенятся, но гораздо бережнее относятся к волосам и коже. Вот на какие компоненты в составе стоит обратить внимание:

- сульфоацетаты (sodium lauryl sulfoacetate) – мягко очищают, не раздражают кожу;
- глутаматы (sodium lauroyl glutamate) – считаются одними из самых деликатных ПАВ;
- саркозинаты (sodium lauroyl sarcosinate) – отлично пенятся, но не сушат;
- глицинаты (sodium cocoyl glycinate) – часто встречаются в детской косметике.

В премиальных линиях можно найти амфоацетаты, изетионаты и гликозиды – эти компоненты настолько мягкие, что даже в больших дозировках не вызывают раздражения. Они образуют кремовую пену, отлично кондиционируют волосы и легко разлагаются в природе. Например: сульфатные шампуни – обильная, «пушистая» пена; безсульфатные – более плотная, кремовая, её меньше.

Производители не обязаны крупно писать «осторожно, сульфаты», поэтому их нужно уметь вычислять самостоятельно. Достаточно запомнить несколько названий, чтобы безошибочно определять агрессивные компоненты.

Агрессивные сульфаты (стоит избегать): Sodium Lauryl Sulfate (SLS), Sodium Laureth Sulfate (SLES), Ammonium Lauryl Sulfate, Ammonium Laureth Sulfate, TEA Lauryl Sulfate.

Безопасные альтернативы (можно брать): Sodium Lauryl Sulfoacetate, Sodium Lauroyl Glutamate, Sodium Lauroyl Sarcosinate, Sodium Cocoyl Glycinate, Cocamidopropyl Betaine.

Если на этикетке вы видите SLS или SLES в первой пятёрке ингредиентов – перед вами классический сульфатный шампунь. Если эти компоненты стоят в самом конце списка – их концентрация минимальна, и средство можно считать условно безопасным.

Есть категории людей, которым лучше полностью исключить сульфатные шампуни из ухода:

- обладатели чувствительной кожи – сульфаты провоцируют зуд, покраснение и шелушение;
- люди с дерматологическими заболеваниями (экзема, псориаз, себорейный дерматит) – агрессивное очищение усугубляет симптомы;
- обладатели кудрявых и вьющихся волос – безсульфатный уход помогает сохранить форму локонов и увлажнение;
- дети – детская кожа тоньше и чувствительнее, ей нужны максимально мягкие средства;
- те, кто часто окрашивает волосы – сульфаты ускоряют вымывание пигмента [3].

Для всех остальных сульфаты не являются однозначным злом. Если ваши волосы здоровы, кожа головы не реагирует раздражением, а сульфатный шампунь не вызывает дискомфорта – менять его на безсульфатный нет острой необходимости. Главное – соблюдать баланс и не мыть голову агрессивными средствами ежедневно [2].

Сульфаты – не отравы и не однозначное зло. Это эффективные, дешёвые и хорошо изученные моющие компоненты, которые при разумном использовании не причиняют вреда большинству людей. Проблемы начинаются тогда, когда мы используем их слишком часто, забывая о потребностях собственных волос и кожи.

Лучшая стратегия – осознанный выбор. Изучайте составы, обращайте внимание на pH, прислушивайтесь к реакции своей кожи. Если волосы стали сухими, появился зуд или перхоть – возможно, пора дать им передышку от сульфатов и попробовать более мягкие альтернативы. В конце концов, здоровье волос начинается не с красивой упаковки, а с того, что внутри флакона.

Список литературы

1. Абрамова Е.Г. Влияние сульфатов на структуру и внешний вид волос / Е.Г. Абрамова. – М.: Химия, 2018. – 120 с.
2. Григорьева О.В. Сульфаты в косметике для волос: безопасность и эффективность / О.В. Григорьева. – М.: АСТ, 2021. – 135 с.
3. Пушкина К.В. Мыло и кожа: сравнительный анализ разных типов и составов / К.В. Пушкина, Д.В. Захарова, М.С. Николаева // Фундаментальные и прикладные исследования по приоритетным направлениям биоэкологии и биотехнологии: сборник материалов VII Всероссийской научно-практической конференции (Ульяновск, 28 мая 2024 года). – Чебоксары: Среда, 2024. – С. 104–108. – EDN CSUPQR.
4. Неофитова Е.А. Исследование влияния экзогенных факторов на состояние и свойства волос на голове человека с использованием различных методов микроскопии / Е.А. Неофитова, К.В. Пушкина, Н.Н. Неофитова // Интерактивная наука. – 2016. – №10. – С. 48–52. – DOI 10.21661/r-115105. – EDN XDEKYF.
5. Massey L. Curly Girl: The Handbook. – Workman Publishing, 2001.
6. Worthen D. The Art and Science of Personal Care Product Formulation. – Allured Books, 2016.

Зимнуров Айдар Раилевич

лаборант-исследователь, бакалавр

Бережко Анастасия Евгеньевна

медицинский лабораторный техник, бакалавр

Фирсова Наталья Викторовна

канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник

Антонова Елена Ивановна

д-р биол. наук, профессор, директор

Научно-исследовательский центр фундаментальных
и прикладных проблем биоэкологии и биотехнологии

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный

педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

г. Ульяновск, Ульяновская область

DOI 10.31483/r-168028

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СИГНАЛЬНЫХ ПУТЕЙ И ФАГОЦИТАРНОЙ АКТИВНОСТИ В СИСТЕМЕ ВРОЖДЕННОГО ИММУНИТЕТА У ДЕТЕЙ

Аннотация: в статье рассматриваются молекулярные и клеточные механизмы фагоцитоза, а также влияние специфических внутриклеточных сигнальных путей (TLR, PI3K/AKT, Hippo, mTOR) на функциональную активность тканевых макрофагов и полиморфноядерных нейтрофилов и механизмам аллергического «перепрограммирования» фагоцитов с позиции возрастной динамики созревания иммунной системы у детей.

Ключевые слова: фагоцитоз, внутриклеточные сигнальные пути, макрофаги, нейтрофилы, врожденный иммунитет, аллергия, педиатрия, поляризация макрофагов.

Врожденная иммунная система представляет собой эволюционно древнюю, высококонсервативную первую линию защиты организма от вторжения экзогенных патогенов. Ключевую роль в обеспечении неспецифической резистентности, клиренсе апоптотических тел и поддержании тканевого гомеостаза играют «профессиональные» фагоциты – полиморфноядерные нейтрофилы, моноциты крови и гетерогенная популяция тканевых макрофагов [4; 6], функциональная активность которых напрямую зависит от сложной сети внутриклеточных сигнальных путей, которые с высокой точностью транслируют внешние стимулы во внутриклеточный ответ [3; 4].

Формирование полноценного клеточного иммунитета у детей представляет собой непрерывный процесс, претерпевающий значительные изменения. Эта возрастная динамика сопровождается поэтапным созреванием рецепторного аппарата фагоцитов и оптимизацией внутриклеточной передачи сигналов. Установлено, что у детей грудного и раннего возраста (до 3 лет) отмечается транзитное снижение резервного пула нейтрофилов в костном мозге и их хемотаксической активности в тканях [4; 11]. Данный феномен объясняется физиологически сниженной экспрессией молекул адгезии (в частности, L-селектина и интегрина Mac-1), что замедляет процесс краевого стояния (маргинации) и диапедеза лейкоцитов через эндотелий капилляров. Кроме этого, моноциты обладают уникальным метаболическим и транскриптомным профилем. Отмечено, что после фагоцитоза патогенов или контакта с аллергеном у моноцитов часто наблюдается задержка индуцированного фагоцитозом клеточного апоптоза (PICD – phagocytosis-induced cell death). В дошкольном и младшем школьном возрасте (от 4 до 10 лет) постепенно нарастает способность нейтрофилов к генерации активных форм кислорода (АФК), однако в этот же период иммунная система наиболее уязвима к сдвигу в сторону Th2-ответа, что клинически манифестирует в виде атопического марша [1; 8]. Задержка элиминации моноцитов в очаге воспаления, регулируемая

гиперактивностью сигнального пути mTOR, может способствовать поддержанию системных аллергических реакций вплоть до подросткового возраста (12–15 лет), когда гормональная перестройка вновь модулирует иммунный статус организма [3; 11].

Биохимические и клеточные этапы фагоцитоза.

Фагоцитоз энергозатратный, динамичный и строго упорядоченный процесс, инициируется распознаванием мишени, чему способствует опсонизация – покрытие микроорганизмов или аллергенных комплексов антителами (преимущественно IgG) и фрагментами системы комплемента (C3b, iC3b) [4]. Взаимодействие опсонизированной частицы со специфическими рецепторами фагоцита (FcγR, рецепторы комплемента CR1, CR3, CR4) приводит к их латеральной диффузии в плазматической мембране и кластеризации [9]. В свою очередь кластеризация рецепторов запускает мощный внутриклеточный каскад – активируются тирозинкиназы семейства Src и Syk, с последующим фосфорилированием адаптерных белков и активации фосфоинозитид-3-киназы (PI3K) [4]. Фосфорилирование стимулирует ферменты группы малых ГТФаз семейства Rho (Rac1, Rac2, Cdc42) управляющие комплексом WASP/Arp2/3, который инициирует полимеризацию глобулярного G-актина в фибриллярный F-актин [6]. Возникающая реорганизация цитоскелета приводит к образованию псевдоподий, которые обволакивают мишень, формируя первичную фагосому [4]. Созревание фагосомы сопровождается последовательной сменой маркеров (от Rab5 к Rab7) и слиянием с лизосомами. На мембране, замкнувшейся фаголизосомы собирается мультикомпонентный ферментный комплекс NADPH-оксидазы, который состоит из мембранных субъединиц gp91phox, p22phox и цитозольных p47phox, p67phox, p40phox [4]. Активация этого комплекса вызывает «респираторный взрыв» – восстановление молекулярного кислорода до супероксид-анион радикала, из которого под действием супероксиддисмутазы образуется перекись водорода. Параллельно происходит дегрануляция тканевых базофилов (тучных клеток): приводит к высвобождению в очаг воспаления цитотоксические ферменты (миелопероксидазу, эластазу), которые в синергии с АФК полностью разрушают структуру патогена [6].

Молекулярная архитектура ключевых сигнальных путей.

Сигнальные пути выступают главными трансляторами внешних стимулов во внутриклеточный метаболический и генетический ответ, определяя не только эффективность фагоцитоза, но и вектор развития воспалительной или аллергической реакции. Выделяют несколько сигнальных путей.

Сигнальный путь Toll-подобных рецепторов (TLR). TLR распознают консервативные микробные паттерны (PAMPs) и молекулы, ассоциированные с повреждением (DAMPs – Damage-Associated Molecular Patterns, молекулярные паттерны, ассоциированные с повреждением). DAMPs это эндогенные молекулы опасности, они высвобождаются поврежденными или погибающими клетками. Являются триггерами для иммунной системы, запуская «стерильное» (неинфекционное) воспаление. Также взаимодействие лиганда с TLR приводит к рекрутированию адаптерного белка MyD88, активации киназ семейства IRAK и фактора TRAF6. Итогом становится транслокация в ядро транскрипционного фактора NF-κB и транскрипция генов провоспалительных цитокинов (ИЛ-1β, ИЛ-6, ФНО-α) [6]. У детей, склонных к атопии, наблюдается полиморфизм и измененная экспрессия TLR2 и TLR4 на мембранах фагоцитов, что на фоне дисбиоза барьерных тканей ведет к гиперреактивности [2; 8].

Многокомпонентный каскад *сигнального пути PI3K/AKT/mTOR* является важнейшим молекулярным драйвером клеточного выживания и иммуноопосредованных аллергозов [10]. PI3K катализирует превращение фосфолипида PIP2 в PIP3, что привлекает к мембране киназу AKT. Активированная AKT фосфорилирует множество мишеней, в том числе комплекс mTOR (мишень рапамицина млекопитающих) [11]. mTOR выступает центральным сенсором нутритивного и иммунного статуса клетки. У детей с тяжелым течением атопического дерматита и бронхиальной астмы дисрегуляция данного пути приводит к избыточной

пролиферации клеток, угнетению процессов аутофагии в макрофагах и снижению барьерной функции эпителия [1; 10].

Сигнальный путь Hippo активно участвует в иммунном ответе. В альвеолярных и тканевых макрофагах при фагоцитозе специфических аэроаллергенов блокируются основные киназы пути Hippo (LATS1/2), что позволяет коактиваторам YAP/TAZ проникать в ядро, с последующим повышением экспрессии белка Jag1 на поверхности макрофага. Взаимодействие Jag1 с рецепторами Notch на наивных CD4⁺ Т-клетках стимулирует их дифференцировку в Th2- и Th17-лимфоциты, запуская мощную аллергическую реакцию [8].

Пути NOD-подобных рецепторов (NLR). Локализованные в цитоплазме сенсоры внутриклеточного стресса участвуют в сборке инфламмасом, активация которых в макрофагах приводит к конверсии прокаспазы-1 в каспазу-1, осуществляя протеолитическое созревание и выброс ИЛ-1 β и ИЛ-18, критически важных для поддержания хронического воспаления при астме [9; 10].

Аллергическое «перепрограммирование» фагоцитов и межклеточная коммуникация.

Динамика показателей гуморального и клеточного иммунитета у детей-атопиков характеризуется выраженным Th2-ответом, сопровождающимся гиперпродукцией интерлейкинов ИЛ-4, ИЛ-5, ИЛ-13 и иммуноглобулина Е (IgE) [3; 7]. В очаге аллергического воспаления нейтрофилы, первыми реагирующие на тканевой стресс, способны не только к фагоцитозу, но и к формированию нейтрофильных внеклеточных ловушек (NETs), состоящих из деконденсированного хроматина и антимикробных пептидов [4]. Высвобождение гранулярных белков (например, азуроцидина) и синтез лейкотриенов нейтрофилами напрямую модулируют хемотаксис моноцитов [6].

Под воздействием высоких концентраций Th2-цитокинов (ИЛ-4 и ИЛ-13) тканевые макрофаги подвергаются фенотипическому «перепрограммированию». Происходит сдвиг транскрипции от классического провоспалительного и микробицидного фенотипа (M1, опосредованного STAT1 и IRF5) к альтернативно-активированному (M2, опосредованному STAT6 и IRF4) [3, 6]. Таким образом M2-макрофаги активно участвуют в ремоделировании и регенерации тканей (синтезируя фибронектин и TGF- β) и поддерживают хроническое аллергическое воспаление [8].

Важно отметить, что M2-макрофаги обладают значительно сниженной способностью к генерации АФК и фагоцитозу внутриклеточных бактерий [6]. Именно этот механизм объясняет высокую клиническую склонность детей с тяжелым атопическим дерматитом к вторичному вирусному или бактериальному инфицированию кожи (особенно золотистым стафилококком), так как первичная фагоцитарная защита оказывается функционально некомпетентной в условиях Th2-микросреды [1; 5]. Важную роль в разрешении воспаления играет эффероцитоз (поглощение макрофагами апоптотических нейтрофилов) [6]. При аллергии передача гранулярных компонентов от погибающих нейтрофилов может частично компенсировать сниженный противомикробный потенциал M2-макрофагов.

Таким образом, неспецифическая резистентность детского организма базируется на глубокой, многоуровневой интеграции фагоцитарной активности и внутриклеточных рецепторопосредованных сигнальных системах. Сигнальные пути PI3K/AKT/mTOR, каскады TLR и Hippo транслируют комплексные сигналы об угрозе микроокружения, обеспечивая тонкую реорганизацию цитоскелета, запуск респираторного взрыва и координацию между пулами полиморфноядерных нейтрофилов и моноклеарных фагоцитов. Нарушение баланса в этих сигнальных каскадах в периоды критического созревания иммунной системы у детей (от периода новорожденности до 15 лет), развивающееся на фоне генетической предрасположенности и эпигенетических факторов, неизбежно ведет к дисфункции фагоцитарного звена. Это проявляется в виде снижения эффективности клиренса патогенов, аберрантной поляризации макрофагов по M2-типу и формирования стойких, трудно поддающихся терапии хронических аллергических заболеваний [1; 3]. Глубокое понимание описанных внутриклеточных сигнальных механизмов и их возрастной эволюции открывает новые горизонты для

таргетной фармакотерапии и персонализированной иммунокоррекции в педиатрической и аллергологической практике.

Список литературы

1. Особенности клеточного и гуморального иммунитета при атопическом дерматите у детей первого года жизни / Е.А. Дементьева, О.П. Гурина, А.Е. Блинов [и др.] // Педиатр. – 2019. – Т. 10, №6. – С. 35–44. – DOI: 10.17816/PED10635-44. EDN OGMGJK
2. Макарова С.Г. Роль кишечной микробиоты в формировании иммунологической толерантности у детей раннего возраста / С.Г. Макарова, М.Н. Болдырева, Т.Е. Лаврова, М.И. Петровская // Вопросы современной педиатрии. – 2021. – Т. 20, №1. – С. 15–23.
3. Хаитов Р.М. Аллергология и клиническая иммунология: руководство для врачей / Р.М. Хаитов. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2019. – 336 с.
4. The formation and function of the neutrophil phagosome / E. Naish, A.J. Wood, A.P. Stewart [et al.] // Immunol Rev. – 2023. – Vol. 314, No. 1. – P. 158–180. – DOI: 10.1111/imr.13173. EDN FQIYMS
5. Microbiome composition and its impact on the development of allergic diseases / D.G. Peroni, G. Nuzzi, I. Trambusti [et al.] // Front Immunol. – 2020. – Vol. 11. – 700. – DOI: 10.3389/fimmu.2020.00700. EDN XYUYDM
6. Prame Kumar K. Partners in crime: neutrophils and monocytes/macrophages in inflammation and disease / K. Prame Kumar, A.J. Nicholls, C.H.Y. Wong // Cell Tissue Res. – 2018. – Vol. 371, No. 3. – P. 551–565. – DOI: 10.1007/s00441-017-2753-2. EDN GAITSZ
7. Udemgba C. B cells and food allergy / C. Udemgba, A. Lin // Curr Opin Pediatr. – 2021. – Vol. 33, No. 6. – P. 625–632. – DOI: 10.1097/MOP.0000000000001050. EDN LPDZEK
8. Pathogenesis of allergic diseases and implications for therapeutic interventions / J.H. Wang, L. Hu, J. Liu [et al.] // Signal Transduct Target Ther. – 2023. – Vol. 8, No. 1. – 138. – DOI: 10.1038/s41392-023-01344-4. EDN VSMTGI
9. Wicherska-Pawłowska K. Toll-Like receptors (TLRs), NOD-Like receptors (NLRs), and RIG-I-Like receptors (RLRs) in innate immunity. TLRs, NLRs, and RLRs ligands as immunotherapeutic agents for hematopoietic diseases / K. Wicherska-Pawłowska, T. Wróbel, J. Rybka // Int. J. Mol. Sci. – 2021. – Vol. 22, No. 24. – 13397. – DOI: 10.3390/ijms222413397.
10. Brg1 aggravates airway inflammation in asthma via inhibition of the PI3K/Akt/mTOR pathway / W. Zou, F. Ding, C. Niu [et al.] // Biochem Biophys Res Commun. – 2018. – Vol. 503, No. 4. – P. 3212–3218. – DOI: 10.1016/j.bbrc.2018.08.127.
11. mTOR signaling pathway and mTOR inhibitors in cancer: progress and challenges / Z. Zou, T. Tao, H. Li, X. Zhu // Cell Biosci. – 2020. – Vol. 10. – 31. – DOI: 10.1186/s13578-020-00396-1. EDN WELFAA

Зиновьева Екатерина Ивановна

магистрант

Антонова Елена Ивановна

д-р биол. наук, профессор, директор

Научно-исследовательский центр фундаментальных
и прикладных проблем биоэкологии и биотехнологии

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный
педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

г. Ульяновск, Ульяновская область

DOI 10.31483/r-168057

ГИПОТИРЕОЗ КАК КЛИНИЧЕСКИЙ СИНДРОМ НАРУШЕНИЯ ФУНКЦИЙ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Аннотация: гипотиреоз является одним из наиболее распространенных клинических синдромов эндокринных заболеваний, характеризующихся дефицитом тиреоидных гормонов или снижением их биологического действия на тканевом уровне. В статье представлены современные данные об этиологии, классификации, патогенезе, клинической картине и эпидемиологии гипотиреоза. Особое внимание уделено «маскам» гипотиреоза, обуславливающим трудности своевременной диагностики, а также осложнениям длительно текущего

гипотиреоза со стороны различных органов и систем. Рассмотрены возрастные особенности клинических проявлений и значение своевременной заместительной терапии.

Ключевые слова: гипотиреоз, тиреоидные гормоны, микседема, аутоиммунный тиреоидит, дислипидемия, заместительная терапия левотироксином.

Гипотиреоз – это клинический синдром, а не отдельное заболевание, больше можно классифицировать как состояние, при котором отмечается гипофункция щитовидной железы относительно синтеза тиреоидных гормонов и как следствие отмечается дефицит гормонов или нарушение их биологического действия на тканевом уровне. Тиреоидные гормоны, такие как тироксин (Т4) и трийодтиронин (Т3) – являются ключевыми регуляторами метаболизма, энергетического гомеостаза, роста и дифференцировки клеток организма. Дефицит этих гормонов приводит к полисистемным изменениям, затрагивающим практически все органы и системы [1; 3].

Распространенность гипотиреоза в мире варьирует от 0,3% до 12% в зависимости от региона и уровня потребления йода. К группам риска развития гипотиреоза относятся: женщины в послеродовом периоде, пациенты с хирургическим или лучевым лечением заболеваний головы и шеи в анамнезе, пациенты с аутоиммунными эндокринными патологиями (сахарный диабет 1-го типа, надпочечниковая недостаточность), пациенты с неэндокринными аутоиммунными заболеваниями (целиакия, витилиго, синдром Шегрена), пациенты с синдромом Дауна и Шерешевского-Тернера [6].

Частота новых случаев гипотиреоза среди женщин составляет 3,5 случая на 1000 человек в год. В Европе распространенность гипотиреоза варьируется от 0,2% до 5,3%, при этом распространенность недиагностированного гипотиреоза составляет около 5% [9; 12]. Заболеваемость врожденного гипотиреоза среди женщин почти в 1,5–2 раза выше, чем среди мужчин [8].

Одной из причин развития гипотиреоза у людей является наследственность. Вероятность передачи тиреотропного гормона (ТТГ) от родителей к детям составляет 60%, а свободного тироксина (Т4) – от 20% до 60%. Известна высокая вариативность функций щитовидной железы, данных о гипотиреозе очень мало. Выявлена связь с генами аутоиммунных процессов и тиреоид-специфичными регуляторными генами, многие из которых также связаны с уровнем ТТГ в норме. Редкие моногенные формы включают резистентность к ТТГ (мутация рецептора ТТГ) и дисгормоногенез [11].

Этиология и классификация гипотиреоза. В зависимости от уровня поражения выделяют несколько форм гипотиреоза [1–3]. Первичный – вызывается дефицитом Т4, вторичный гипотиреоз – дефицитом ТТГ, а периферический гипотиреоз – дефицитом тиреотропин-высвобождающего гормона. Вторичный и третичный гипотиреоз вместе составляют центральный гипотиреоз. Центральный и периферический гипотиреоз (экстратиреоидный) встречаются крайне редко (<1%).

Первичный (тиреогенный) гипотиреоз обусловлен поражением щитовидной железы и является самой распространенной формой (95% случаев). Наиболее частыми причинами этой формы являются: хронический аутоиммунный тиреоидит, оперативные вмешательства на щитовидной железе, терапия радиоактивным йодом, врожденные аномалии щитовидной железы, тяжелый дефицит или избыток йода, медикаментозные воздействия.

В регионах с достаточным количеством йода хронический аутоиммунный тиреоидит (тиреоидит Хашимото), является основным фактором первичного гипотиреоза с повышением уровня антитиреоидных антител, в основном антител к тиреопероксидазе (ТПО), а также антител к тироглобулину. Точные механизмы, участвующие в развитии тиреоидита Хашимото, в настоящее время неизвестны, но в этот механизм входят как экологические, так и генетические факторы, дефицит витамина D и селена, а также умеренное потребление алкоголя [13].

Из-за переизбытка йода йодсодержащие препараты (например, амиодарон) могут снижать выработку гормонов щитовидной железы и мгновенно прекращать выработку тироксина (эффект Вольфа-Чайкова). Синдром Йода-Базедова, также известный как йод-индуцированный гипертиреоз, является редким случаем тиреотоксикоза, вызванного экзогенным введением йода. При некоторых злокачественных новообразованиях в качестве таргетной терапии используются ингибиторы тирозин-киназы. Так у пациентов, принимавших сунитиниб, вероятность развития гипотиреоза была выше, чем у пациентов, принимавших сорафениб. Первичный гипотиреоз также может быть вызван лекарственными препаратами, такими как талидомид, альфа-интерферон, препараты от эпилепсии, действием радиоiodтерапии, лучевой терапии шеи при раке или хирургического лечения рака.

Центральный (гипоталамо-гипофизарный) гипотиреоз – встречается у обоих полов, среди причин этой формы гипотиреоза выделяют: опухоли гипоталамо-гипофизарной области, травматическое или лучевое поражение, сосудистые нарушения, инфекционные и инфильтративные процессы.

Биохимические характеристики включают низкий уровень ТСГ и очень низкий уровень свободного Т4. Аденомы гипофиза являются первопричиной более половины случаев центрального гипотиреоза. Нарушения функций гипофиза и гипоталамуса, вызванные апоплексией гипофиза, травмой головы, синдромом Шихана, радиацией, различными хирургическими вмешательствами, генетическими факторами и инфильтративными заболеваниями, являются дополнительными причинами центрального гипотиреоза.

Микседематозная кома, впервые было выявлено как результат тяжелого гипотиреоза, долгое время остававшегося без лечения, и впервые было описано в конце 1900-х годов. Ранняя диагностика имеет решающее значение, поскольку течение заболевания драматично, и 40% пациентов умирают, несмотря на лечение. Гипотермия, нарастающая вялость, брадикардия, изменение психического состояния и микседематозная кома – все это побочные эффекты, которые в конечном итоге могут привести к полиорганной недостаточности и смерти [13].

Периферический (тканевой) гипотиреоз обусловлен резистентностью тканей к тиреоидным гормонам (генерализованная или частичная резистентность). Причиной является нарушение транспорта, метаболизма и действия тиреоидных гормонов в периферических тканях в результате редких генетических мутаций или тяжелых соматических заболеваний [1; 5].

По степени тяжести первичный гипотиреоз подразделяется на субклинический (повышенный уровень ТТГ при нормальном уровне свободного Т4), манифестный (повышенный ТТГ и сниженный свободный Т4) и осложненный (развитие микседемы, микседематозной комы, сердечной недостаточности) [1].

Патогенез и метаболические нарушения при гипотиреозе. Осложнения в случае если не проводить гормональную терапию носят системный характер с поражением почти всех органов и систем организма. У пациентов с гипотиреозом часто встречаются симптомы метаболического синдрома, такие как повышение артериального давления, повышение уровня гомоцистеина, липопротеинов низкой плотности и общего холестерина (дислипидемия), а также повышается риск сердечно-сосудистых заболеваний, наблюдается ухудшение настроения и качества жизни. Считается, что гипотиреоз вызывает обратимую деменцию, хотя неясно, как часто это происходит и какой процент пациентов действительно страдает обратимой деменцией. Гипотиреоз может влиять на течение других заболеваний из-за плейотропного действия тироксина.

При дефиците тиреоидных гормонов снижается потребление кислорода тканями, расходование энергии и утилизация энергетических субстратов, снижается уровень основного обмена на 35–40% [1; 7]. Снижение основного обмена приводят к задержке азотистых продуктов в организме и повышению уровня сывороточного альбумина. В тканях снижается содержание нуклеиновых кислот, нарушается обмен мукополисахаридов. В коже накапливается большое количество муцинозного вещества, состоящего из мукополисахаридов,

гиалуроновой и хондроитинсерной кислот, это микседема – наиболее тяжелое осложнение гипотиреоза [4; 7].

Нарушения жирового обмена вызваны низкой активностью липопротеидлипазы и уменьшением плотности рецепторов ЛПНП на гепатоцитах. При наличии дислипидемии и артериальной гипертензии первичный гипотиреоз рассматривается как фактор риска развития атеросклероза. Изменение углеводного обмена при гипотиреозе связывают с замедлением всасывания глюкозы в желудочно-кишечном тракте и снижением ее утилизации, секреция инсулина снижена и отсрочена. Наблюдается нарушение водного обмена, которое связано с повышенной гидратационной способностью муцина, что вызывает задержку воды в организме и угнетение диуреза [7].

Клиническая картина гипотиреоза. Клиническая картина характеризуется плеiotропным действием тиреоидных гормонов, вследствие чего их дефицит приводит к полисистемным изменениям [1, 2, 3]. Наиболее частыми симптомами гипотиреоза у взрослых являются: усталость, вялость, сонливость, непереносимость холода, увеличение массы тела (обусловленное снижением обмена веществ и задержкой жидкости), запоры, сухость кожи, выпадение волос, изменение голоса (охриплость, снижение тембра), отечность лица, конечностей, снижение памяти, депрессия, нарушение менструального цикла [1, 2, 3]. Важно отметить, что клиническая картина гипотиреоза значительно варьируется, что создает диагностические трудности. Симптомы неспецифичны, особенно у пожилых пациентов, у которых наблюдается меньше классических признаков. Более того, 15% пациентов с аутоиммунным гипотиреозом протекают бессимптомно [9].

В клинической картине у больного гипотиреозом могут присутствовать разнообразные симптомы со стороны различных органов и систем, что затрудняет диагностику. Выделяют несколько групп «масок» гипотиреоза [3, 10] – кардиологическая группа (гипертензия по диастолическому типу, дислипидемия, гидроперикард); гастроэнтерологическая группа (запоры, желчнокаменная болезнь, гепатит); респираторная группа – синдром апноэ во сне, плевральный выпот, хронический ларингит; ревматологическая группа – полиартрит, полисинувит, остеоартроз; дерматологическая группа – алопеция, гиперкератоз, онихолизис; неврологическая группа – туннельные синдромы (карпальный канал, канал малоберцового нерва); психиатрическая группа – деменция, депрессия; гинекологическая группа – бесплодие, нарушения менструального цикла (аменорея, полименорея, меноррагия); гематологическая группа – анемии (нормохромная нормоцитарная, железодефицитная, В12-дефицитная); эндокринологическая группа – гиперпролактинемия, гипогонадизм.

Неспецифичность симптомов при их широкой вариабельности позволяет отнести гипотиреоз к тем синдромам, для диагностики которых клиническая картина имеет второстепенное значение, а решающую роль играет гормональное исследование [3, 10].

Осложнения гипотиреоза. Гипотиреоз приводит к повышению сосудистого сопротивления, снижению сердечного выброса, снижению функции левого желудочка. У 30–80% больных выявляется наличие жидкости в перикарде. Гипотиреоз повышает риск развития ишемической болезни сердца, сердечной недостаточности и цереброваскулярных заболеваний [1; 3; 9].

Отмечается патогенез расстройства дыхания связан с нарушением ритмической активности дыхательного центра, слабостью мышц диафрагмы и гиповентиляцией, повышается восприимчивость к респираторным инфекциям. Дыхательная недостаточность – одна из основных причин смерти при микседематозной коме [7].

Нарушается секреторная деятельность желудка характеризуется (гипо- и ахлоргидрией), замедляется опорожнение желудка и пассаж пищи по кишечнику. Возникают упорные запоры, не поддающиеся терапии слабительными. При тяжелом течении возможно развитие мегаколона [7].

Полинейропатия встречается у 18–72% больных. Синдром запястного канала обнаруживается примерно у 30% больных. Гипотиреоидная миопатия проявляется умеренной

слабостью в проксимальных отделах конечностей, миалгией, скованностью в мышцах. Псевдогипертрофия мышц (синдром Гоффмана) характеризуется увеличением мышечной массы при выраженной мышечной слабости [7].

Дефицит тиреоидных гормонов грубо нарушает процессы роста и дифференцировки тканей. Так скорость ремоделирования кости падает в 2–3 раза, повышается хрупкость костей, увеличивается риск патологических переломов. У детей с врожденным гипотиреозом резко выражена задержка роста и развития [7].

Особую роль тиреоидные гормоны играют в период внутриутробного и раннего постнатального развития. При дефиците гормонов мозг останавливается в развитии, подвергается дегенеративным изменениям, что резко ухудшает интеллектуальные способности ребенка с развитием кретинизма. Необратимость повреждения ЦНС при врожденном гипотиреозе без лечения объясняется особенностями развития головного мозга в период наиболее быстрого роста и активного нейrogenеза [7].

Диагностика и лечение. Диагностика гипотиреоза основывается на лабораторных исследованиях. Так явный (манифестный) первичный гипотиреоз определяется как концентрация ТТГ выше референсного диапазона и концентрация свободного Т4 ниже референсного диапазона. Субклинический гипотиреоз определяется концентрацией ТТГ выше референсного диапазона при нормальной концентрации свободного Т4 [2; 9].

Уровень ТТГ является наиболее чувствительным показателем дисфункции щитовидной железы. В норме за сутки щитовидная железа вырабатывает 80–100 мкг Т4 и 5 мкг Т3. Большая часть Т3 (около 80%) образуется в результате дейодирования Т4 в периферических тканях [3].

Предпочтительный способ лечения гипотиреоза – прием левотироксина натошак. Контроль уровня ТТГ проводят через 4–12 недель после начала терапии, затем каждые 6 месяцев до стабилизации, далее ежегодно. Дозу корректируют по результатам лабораторных исследований, учитывая, что даже небольшое изменение дозы может существенно влиять на уровень ТТГ у пациентов с низкой массой тела и пожилых [11].

Заключение. Таким образом гипотиреоз представляет собой системный клинический синдром с чрезвычайно разнообразными клиническими проявлениями и синергиями с различными заболеваниями, что создает значительные диагностические трудности. Ошибочная трактовка неспецифических симптомов отдалает своевременное назначение заместительной гормональной терапии, ухудшая качество жизни пациентов и прогноз заболевания [6; 7]. Своевременная диагностика и адекватная заместительная терапия левотироксином позволяют достичь компенсации гипотиреоза и предотвратить развитие тяжелых осложнений. Знание «масок» гипотиреоза необходимо врачам различных специальностей для своевременного направления пациентов на гормональное исследование. Ранняя диагностика врожденного гипотиреоза в рамках неонатального скрининга позволяет предотвратить необратимые нарушения психомоторного развития детей [8; 11].

Список литературы

1. Абдулхабирова Ф.М. Синдром гипотиреоза / Ф.М. Абдулхабирова // Эффективная фармакотерапия. – 2022. – Т. 18, №32. – С. 40–45. – DOI: 10.33978/2307-3586-2022-18-32-40-45. EDN INQYXI
2. Бирюкова Е.В. Гипотиреоз: от диагностики к успеху терапии / Е.В. Бирюкова, А.Д. Абрамова // Consilium Medicum. – 2025. – Т. 27, №4. – С. 210–217. – DOI: 10.26442/20751753.2025.4.
3. Вербовой А.Ф. Гипотиреоз – междисциплинарная проблема / А.Ф. Вербовой, Ю.А. Долгих, Н.И. Вербовая // РМЖ. Медицинское обозрение. – 2022. – Т. 6, №9. – С. 509–515. – DOI: 10.32364/2587-6821-2022-6-9-509-515. EDN QYQESK
4. Влияние гипотиреоза на липидный профиль и сердечно-сосудистый риск / А.Р. Волкова, Л.А. Жукова, О.В. Милютин [и др.] // Медицинский совет. – 2025. – Т. 19, №5. – С. 107–112. DOI 10.21518/ms2025-160. EDN ONKBEQ
5. Дедов И.И. Эндокринология: национальное руководство / И.И. Дедов, Г.А. Мельниченко, В.В. Фадеев. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2021. – 1112 с. – ISBN 978-5-9704-6054-2.

6. Панфилова Е.А. Гипотиреоз: лекция для врачей первичного звена / Е.А. Панфилова, М.П. Исаева, Е.А. Трошина // Медицинский совет. – 2020. – Т. 11. – С. 124–130. – DOI: 10.21518/2079-701X-2020-11-124-130. EDN BECHTY
7. Смирнов В.В. Своевременная диагностика и лечение гипотиреоза – основа здорового психического и физического развития детей / В.В. Смирнов, А.И. Ушаков // Лечащий врач. – 2020. – №1. – С. 10–16. – DOI: 10.26295/OS.2019.77.67.002. – EDN: RMHPGJ.
8. Bowden S.A. Congenital hypothyroidism / S.A. Bowden, M. Goldis. – 2023. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537913> (дата обращения: 07.07.2026).
9. Chaker L. Hypothyroidism: A Review / L. Chaker, M. Papaleontiou // JAMA. – 2025. – Vol. 334, No. 19. – P. 1750–1760. – DOI: 10.1001/jama.2025.13559. EDN KTNNVL
10. Jonklaas J. Restoration of euthyroidism with levothyroxine: implications of etiology of hypothyroidism and the degree of residual endogenous thyroid function / J. Jonklaas // Front. Endocrinol. – 2022. – Vol. 13. – 934003. – DOI: 10.3389/fendo.2022.934003. EDN RWSEYU
11. Zamvar U.M. Epidemiology, types, causes, clinical picture, diagnosis and treatment of hypothyroidism / U.M. Zamvar, K.N. Muneshvar // Cureus. – 2023. – Vol. 15, No. 9. – e46241. – DOI: 10.7759/cureus.46241. EDN ODLHBS
12. Nasvaliev Z.A.U. Hypothyroidism / Z.A.U. Nasvaliev, M.S.U. Zhurakulov, S.B.U. Juraev, G.S. To-gaeva // Science and Education. – 2023. – No. 5.
13. Zamwar U.M. Epidemiology, Types, Causes, Clinical Presentation, Diagnosis, and Treatment of Hypothyroidism / U.M. Zamwar, K.N. Muneshwar // Cureus. – 2023. – Vol. 15, No. 9. – e46241. – DOI: 10.7759/cureus.46241. EDN ODLHBS

Какулина Валерия Александровна
магистр, преподаватель

Зозуля Лада Владимировна
канд. биол. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»
г. Краснодар, Краснодарский край

БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ УГЛЕВОДНОГО И ЛИПИДНОГО ОБМЕНА У ДЕТЕЙ С ОСЛОЖНЕННЫМ ТЕЧЕНИЕМ САХАРНОГО ДИАБЕТА ПЕРВОГО ТИПА

Аннотация: в статье рассматривается проблема раннего прогнозирования осложнений и лабораторного сопровождения сахарного диабета первого типа у детей. Актуальность обусловлена высокой вариабельностью течения заболевания в детском возрасте и риском формирования хронических осложнений, ассоциированных с метаболическими нарушениями. Авторами проведена статистическая обработка биохимических показателей крови детей с сахарным диабетом первого типа, сопровождающегося кетоацидозом и нейропатией, либо без осложнений. Для диагностики кетоацидоза относительную значимость имеют показатели холестерина, холестерина ЛПНП и триглицеридов.

Ключевые слова: сахарный диабет первого типа, диабетический кетоацидоз, диабетическая нейропатия, биохимический анализ крови.

С каждым годом проблема борьбы с сахарным диабетом становится всё более актуальной из-за массового роста заболеваемости во всём мире. Согласно данным международной федерации сахарного диабета (IDF), 537 миллионов человек живут с диабетом. Среди них более 1,2 миллионов человек составляют дети и подростки до 19 лет, страдающие сахарным диабетом первого типа, при этом 54% от этого количества приходится на детей младше 15 лет [6].

Сахарный диабет первого типа (СД1) представляет собой хроническое аутоиммунное заболевание, в основе которого лежит деструкция инсулинпродуцирующих β -клеток поджелудочной железы, приводящая к развитию абсолютной инсулиновой недостаточности. Скорость разрушения β -клеток вариабельна, однако клиническая манифестация наступает после

утраты приблизительно 90% функционирующих клеток. Несмотря на признание многофакторной природы СД1, конкретные механизмы, опосредующие сложное взаимодействие генетической предрасположенности, факторов внешней среды и иммунологического статуса, остаются до конца не выясненными, что обосновывает необходимость дальнейшего поиска эффективных лабораторных маркеров для ранней диагностики и мониторинга осложнений у детей [4].

Целью данной работы являлось выявление особенностей изменения биохимических показателей крови у детей с диабетом, осложненным кетоацидозом и нейропатиями.

Исследование проводилось на базе клиничко-диагностической лаборатории Перинатального центра ГБУЗ «Детская краевая клиническая больница» г. Краснодара в период с июня по октябрь 2022 года. Материалом для исследования служила сыворотка крови и цельная кровь детей с СД1. Среднее значение показателей и стандартную ошибку определяли с помощью программы Microsoft Excel 2019, достоверность различий – с использованием t-критерия Стьюдента для малых выборок при уровне значимости p менее 0,05.

Группу исследования составили 100 детей (50 девочек и 50 мальчиков) в возрасте от 3 до 12 лет, находившихся на стационарном лечении в эндокринологическом отделении с основным диагнозом СД1. В соответствии с возрастной периодизацией пациенты были разделены на две группы: первая – дети от 3 до 7 лет, вторая – дети от 8 до 12 лет. Контрольную группу составили 30 практически здоровых пациентов без патологии со стороны эндокринной системы.

Исследовались следующие показатели:

- гликозилированный гемоглобин;
- сывороточная глюкоза;
- биохимические показатели липидного обмена (общий холестерин, липопротеины низкой плотности, триглицериды);
- уровень тиреотропного гормона и свободного тироксина.

В ходе исследования проводился количественный учет случаев развития осложнений у детей с сахарным диабетом первого типа. Все пациенты экспериментальной группы были разделены на 3 группы по статусу заболевания: 1 группа – дети с СД1 без осложнений, 2 группа – СД1 с кетоацидозом и 3 группа – СД1 с неврологическими осложнениями. Было рассчитано количественное соотношение осложнений СД1 у детей (рис. 1).

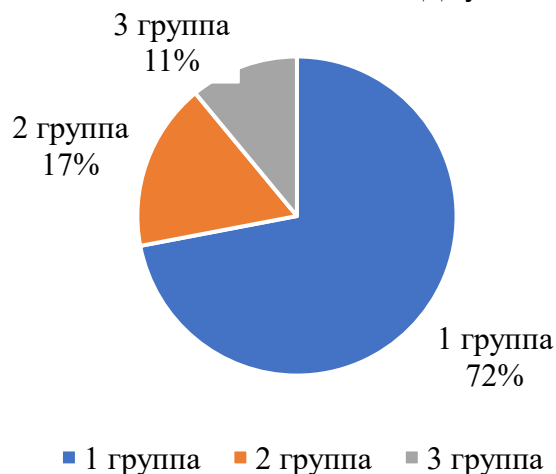


Рис. 1. Количественное соотношение осложнений сахарного диабета первого типа

Наибольший процент от общего числа пациентов составляет группа детей, страдающих СД1 без осложнений – 72% (72 человека из 100). На втором месте дети, страдающие СД1 с кетоацидозом, что составляет 17% (примерно в четыре раза меньше, чем первая группа;

17 детей из 100). Самой малочисленной является группа детей, страдающих от СД1 с неврологическими осложнениями – 11% (в полтора раза меньше второй группы и в шесть с половиной раз меньше первой группы; 11 детей из 100).

Нами также было рассмотрено наличие зависимости между возрастными группами от трех до семи и от восьми до двенадцати лет и развитием осложнений во время болезни (рис. 2).

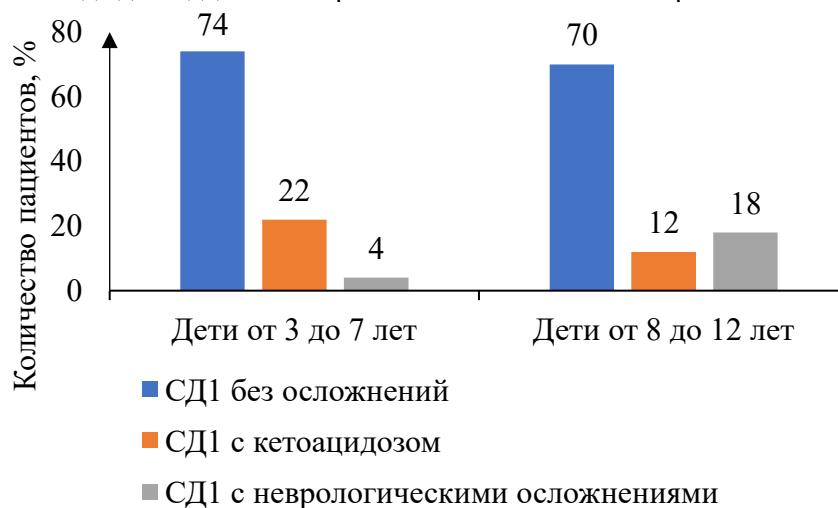


Рис. 2. Количественное соотношение осложнений сахарного диабета по возрастным группам

Количество детей, страдающих СД1 без осложнений в обеих возрастных группах имеет примерно одинаковое значение – 74% для группы от трёх до семи лет и 70% для группы от восьми до двенадцати лет. СД1 с кетоацидозом почти в два раза чаще встречается у детей от трех до семи лет, чем у детей от восьми до двенадцати. Неврологические же осложнения составляют 18% от группы детей в возрасте от восьми до двенадцати, что в четыре с половиной раза больше, чем количество данных осложнений у детей от трех до семи лет – 4%.

По результатам этого анализа можно сделать вывод, что диабетический кетоацидоз чаще наблюдается у детей дошкольного возраста, а неврологические осложнения – у детей младшего школьного возраста. Вероятно, это связано с тем, что кетоацидоз относят к острым осложнениям сахарного диабета, а различные виды нейропатий – к поздним. Так, некоторые авторы отмечают, что на момент манифестации сахарного диабета первого типа у большинства пациентов наблюдается диабетический кетоацидоз различной степени выраженности, тогда как диабетическая нейропатия начинает выявляться у 10% пациентов только спустя 5 лет от начала заболевания; при этом время развития этих осложнений будет зависеть от эффективности проводимого лечения [1; 2].

Для оценки влияния развития осложнений на уровень биохимических показателей пациентов с СД1 была проведена статистическая обработка и сравнение результатов лабораторных исследований детей, страдающих кетоацидозом, и детей с неврологическими осложнениями (табл. 1).

Изменение биохимических показателей у детей с сахарным диабетом
первого типа с разными осложнениями

Показатели	Дети с СД1 с кетацидозом	Дети с СД1 с неврологическими осложнениями	Референтные значения
Гликозилированный гемоглобин, ммоль/моль	107,55±3,46	60,29±3,54	20–42
Глюкоза сыв., ммоль/л	8,30±0,95	9,94±0,93	3,3–5,6
Холестерин, ммоль/л	5,16±0,30*	4,14±0,27	3,13–5,20
Холестерин ЛПНП, ммоль/л	3,71±0,31**	2,46±0,31	1,63–3,34
Триглицериды, ммоль/л	1,37±0,14**	0,74±0,08	0,34–1,13
Тиреотропный гормон, мкМЕ/мл	3,86±0,70	3,09±0,49	0,35–4,92
T ₄ свободный, нг/дл	0,98±0,05	0,97±0,04	0,8–2,0
Примечания * – статистически достоверные отличия группы детей с кетацидозом от группы с неврологическими осложнениями при $p<0,05$; ** – статистически достоверные отличия группы детей с кетацидозом от группы от группы с неврологическими осложнениями при $p<0,01$			

Достоверное повышение у детей с кетацидозом относительно группы детей с неврологическими осложнениями выявлены в значениях холестерина ($p<0,05$), холестерина ЛПНП ($p<0,01$) и триглицеридов ($p<0,01$), что соответствует литературным данным [3; 5]. При этом холестерин находится на верхней границе референтных значений, а два показателя (холестерин ЛПНП и триглицериды) превышают норму, что может свидетельствовать о нарушениях липидного обмена. Все остальные показатели, кроме тиреотропного гормона и свободного тироксина, которые находятся в пределах референтных значений, превышают норму.

Таким образом, для детей с диабетическим кетацидозом характерно значительное повышение гликозилированного гемоглобина, сывороточной глюкозы, холестерина ЛПНП и триглицеридов. Для детей с неврологическими осложнениями характерно значительное повышение лишь гликозилированного гемоглобина и сывороточной глюкозы при нормальных показателях липидного обмена, ТТГ и свободного тироксина. Выявлены достоверные межгрупповые различия по уровню холестерина, ЛПНП и триглицеридов, которые выше у детей с кетацидозом.

Список литературы

1. Бальжинимаев Э.Б. Диабетическая ретинопатия при сахарном диабете 1 типа / Э.Б. Бальжинимаев, Г.Ф. Жигаев // Acta Biomedica Scientifica. – 2012. – №6. – С. 9–12. EDN PJBONR
2. Возрастные и гендерные особенности сроков манифестации сахарного диабета 1 типа и развития хронических осложнений у детей / О.А. Дианов, Е.А. Коваленко, Н.Н. Нежеренко [и др.] // Сахарный диабет. – 2010. – №13. – С. 97–100. EDN NDKAUD
3. Мартынова М.И. Диабетический кетацидоз у детей / М.И. Мартынова, Е.М. Родионова, В.Ф. Пилюттик // Сахарный диабет. – 2000. – №3. – С. 33–36. EDN QILNLF
4. Сахарный диабет 1 типа у детей / В.А. Петеркова, М.В. Шестакова, О.Б. Безлепкина [и др.] // Сахарный диабет. – 2020. – Т. 23, №1. – С. 1–37.
5. Черникова Н.А. Диабетический кетацидоз и гипергликемия в условиях многопрофильного стационара. Актуальные вопросы / Н.А. Черникова // Эндокринология: Новости. Мнения. Обучение. – 2014. – №4. – С. 49–55. EDN TFWGCP
6. International Diabetes Federation. IDF diabetes atlas. Brussels: International Diabetes Federation: 2021. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK581934/> (дата обращения: 20.05.2026).

Куланова Дарья Владимировна

студентка

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
университет им. И.Н. Ульянова»
г. Чебоксары, Чувашская Республика

Полтаева Дарья Михайловна

студентка

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
университет им. И.Н. Ульянова»
г. Чебоксары, Чувашская Республика

Фролова Мария Александровна

канд. хим. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
университет им. И.Н. Ульянова»
г. Чебоксары, Чувашская Республика

Сапёрова Елена Владимировна

канд. биол. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
педагогический университет им. И.Я. Яковлева»
г. Чебоксары, Чувашская Республика

Добросмыслов Светослав Анатольевич

учащийся

МАОУ «СОШ №3»

г. Канаш, Чувашская Республика

Журавлев Анатолий Петрович

магистрант

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
аграрный университет»
г. Чебоксары, Чувашская Республика

DOI 10.31483/r-168453

ФИЗИКО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ ВОДЫ И ЗАВИСИМОСТЬ ПЛОТНОСТИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ САХАРОЗЫ

Аннотация: в статье представлены результаты сравнительного анализа влияния концентрации сахарозы ($C_{12}H_{22}O_{11}$) на плотность водных растворов с углублённой интерпретацией данных в терминах биохимии и физической химии. Изысканием исследования являлась оценка зависимости плотности раствора от массовой доли растворённого вещества с учётом механизмов гидратации, перестройки водородной сети воды и осмотических эффектов. Экспериментально подтверждена прямая корреляция между концентрацией сахарозы и плотностью раствора, обусловленная встраиванием полярных гидроксильных групп сахарозы в водную матрицу и формированием гидратных оболочек. Наибольший прирост плотности зафиксирован при массовой доле сахарозы 44,4% ($1,280 \text{ г/см}^3$), что согласуется с выдвинутой гипотезой и отражает уплотнение структуры раствора за счёт межмолекулярных взаимодействий. Полученные данные позволяют обосновать применение ареометрического метода для экспресс-оценки концентрации углеводов в технологических и биохимических системах, а также интерпретировать результаты с позиций водно-солевого гомеостаза и осморегуляции [1–3; 5; 8].

Ключевые слова: вода, сахароза, плотность раствора, концентрация, гидратация, водородные связи, осмотическое давление, биохимические взаимодействия, ареометрический метод, гидратная оболочка.

Вода – ключевой компонент живых систем, определяющий структурную организацию биомолекул, кинетику ферментативных реакций и поддержание осмотического равновесия. Её уникальные свойства обусловлены полярностью молекулы H_2O и способностью образовывать динамическую сеть водородных связей: каждая молекула воды способна участвовать в формировании до четырёх водородных связей, создавая лабильную, но плотную структурную матрицу. В организме человека вода распределена по компартментам: около 60% массы тела приходится на воду, из которых примерно 2/3 – внутриклеточная жидкость, примерно 1/3 – внеклеточная (включая плазму крови и интерстициальную жидкость). Регуляция объёма и осмоляльности этих компартментов осуществляется через сложные механизмы осморегуляции, в которых существенную роль играют растворённые вещества – электролиты и неэлектролиты (в том числе углеводы) [9].

С биохимической точки зрения добавление сахарозы в воду меняет не только физические параметры среды, но и её функциональную роль в биологических системах. Сахароза – полярный неэлектролит и дисахарид, состоящий из глюкозы и фруктозы, соединённых α -1,2-гликозидной связью. Наличие множества гидроксильных (-ОН) групп делает молекулу сахарозы высоко гидрофильной: эти группы способны образовывать водородные связи с молекулами воды, формируя гидратную оболочку. В результате происходит локальное упорядочивание водной матрицы и уплотнение раствора, что проявляется в увеличении его плотности [5; 8].

Актуальность исследования определяется необходимостью понимания фундаментальных принципов взаимодействия воды с биомолекулами и разработки простых методов контроля концентрации растворённых веществ. В биохимии и клинической лабораторной диагностике важно быстро оценивать содержание углеводов в растворах – это востребовано в пищевой промышленности (контроль сиропов, напитков), в биотехнологиях (подбор сред для культивирования клеток) и в медицине (оценка осмолярности инфузионных растворов). Ареометрический метод даёт возможность экспресс-анализа без сложного оборудования, опираясь на установленную зависимость «плотность – концентрация» [1; 2; 4; 6].

Цель работы: сравнительный анализ зависимости плотности водных растворов от концентрации сахарозы с интерпретацией результатов в терминах биохимических взаимодействий (гидратация, водородные связи, осмотические эффекты) и оценкой практической применимости установленной корреляции для биохимических и технологических задач.

Задачи работы.

1. Проанализировать научную литературу по физико-химическим и биохимическим свойствам воды, механизмам гидратации полярных молекул, особенностям поведения сахарозы в водных растворах, а также по методам контроля концентрации веществ в биологических и технологических системах.

2. Определить ключевые параметры (массовая доля, температура, чистота реактивов), влияющие на плотность раствора, и обосновать выбор ареометрического метода как оптимального для экспресс-анализа с учётом биохимической интерпретации результатов.

3. Провести эмпирическое исследование: приготовить серию водных растворов сахарозы с варьируемой концентрацией, измерить их плотность при постоянной температуре, зафиксировать количественные показатели, оценить воспроизводимость результатов и сопоставить их с биохимическими представлениями о гидратации сахарозы [3].

4. Сформулировать практические рекомендации по использованию зависимости «плотность – концентрация» для контроля содержания сахарозы в различных средах, включая биохимические и медицинские приложения [1; 2; 4].

Эксперимент выполнен на базе лаборатории Чувашского государственного университета имени И. Н. Ульянова. Объектом исследования служили водные растворы сахарозы ($C_{12}H_{22}O_{11}$) с различной массовой долей растворённого вещества. Для минимизации внешних влияний все процедуры проводились в стандартизированных условиях: постоянная температура 20 °С, дистиллированная вода, аналитические весы для точного дозирования, калиброванный ареометр для измерения плотности.

Методы исследования.

Гравиметрическое приготовление растворов: навески сахарозы взвешивали на аналитических весах, растворяли в дистиллированной воде и доводили объём до заданного значения.

Ареометрический метод определения плотности: плотность растворов измеряли при 20 °С с использованием калиброванного ареометра, что позволило исключить влияние термического расширения на результаты.

Расчёт массовой доли сахарозы: концентрацию выражали в процентах по массе, что обеспечило сопоставимость данных и возможность построения зависимости «плотность – концентрация».

Оценка цветности воды как показателя качества среды: для исключения влияния примесей на физико-химические свойства растворов проводили визуальное сравнение пробы с дистиллированной водой в пробирках из бесцветного стекла на фоне белой бумаги при дневном освещении.

Дизайн исследования предусматривал последовательное приготовление и анализ пяти растворов с возрастающей концентрацией сахарозы, что позволило построить градуировочную зависимость и оценить характер изменения плотности в исследуемом диапазоне.

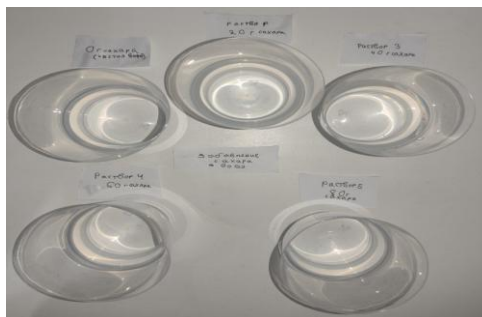


Рис. 1. Экспериментальные образцы до внесения растворимого вещества

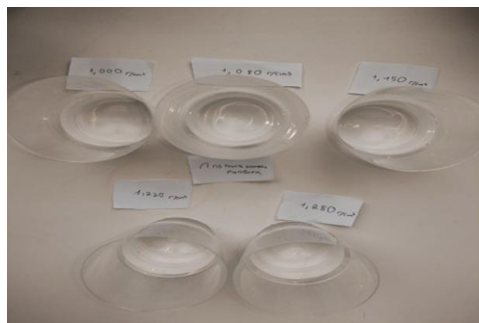


Рис. 2. Экспериментальные образцы после внесения растворимого вещества

Расчёт относительного прироста плотности проводили по формуле:

$$\Delta\rho = \frac{\rho_{\text{опыт}} - \rho_{\text{контроль}}}{\rho_{\text{контроль}}} \times 100\%,$$

где, $\rho_{\text{контроль}}$ – плотность контрольного образца (дистиллированная вода),

$\rho_{\text{опыт}}$ – плотность раствора с сахарозой.

Дополнительно рассчитывали ориентировочную осмоляльность растворов, исходя из молярной массы сахарозы равной 342,3 г/моль и количества растворённого вещества, что позволило соотнести изменения плотности с потенциальным осмотическим эффектом [1; 2; 5; 8].

Эксперимент 1 («Оценка плотности раствора с массовой долей сахарозы 16,7%») показал увеличение плотности до 1,080 г/см³, что соответствует приросту на 8% относительно контроля (1,000 г/см³). Биохимически это объясняется формированием гидратной оболочки вокруг молекулы сахарозы: каждая гидроксильная группа способна удерживать несколько молекул воды за счёт водородных связей, что уплотняет структуру раствора [3; 5].

Эксперимент 2 («Оценка плотности раствора с массовой долей сахарозы 28,6%») выявил дальнейшее увеличение плотности до 1,150 г/см³ (прирост 15%). При этом рост плотности оставался пропорциональным увеличению концентрации, что свидетельствует о сохранении линейности зависимости в данном диапазоне и об отсутствии насыщения гидратационных процессов.

Эксперимент 3 («Оценка плотности раствора с массовой долей сахарозы 37,5%») продемонстрировал плотность 1,220 г/см³ (прирост 22%). Визуально раствор оставался прозрачным, без признаков насыщения или выпадения осадка, что подтверждает растворимость сахарозы в исследованном интервале концентраций и сохранение динамической структуры водородной сети.

Эксперимент 4 («Оценка плотности раствора с массовой долей сахарозы 44,4%») зафиксировал максимальную в рамках исследования плотность – 1,280 г/см³ (прирост 28%). Дальнейшее увеличение концентрации не проводилось, поскольку в прикладных задачах такие высокие значения встречаются редко, а риск кристаллизации сахарозы возрастает [4].

Оценка цветности воды подтвердила отсутствие значимых примесей: проба не имела видимой окраски и соответствовала нормативам (цветность менее 35 градусов по платиново-кобальтовой шкале). Это позволило исключить влияние посторонних факторов на результаты измерений плотности. Результаты экспериментов систематизированы в таблице 1.

Таблица 1

*Зависимость плотности водных растворов сахарозы
от массовой доли растворённого вещества*

№ раствора	Масса сахарозы, г	Масса воды, г	Массовая доля сахарозы, %	Плотность, г/см ³	Прирост плотности, %	Ориентировочная осмоляльность, мОсм/кг
1 контроль	0	100	0	1,000	0	0
2	20	100	16,7	1,080	8	~485
3	40	100	28,6	1,150	15	~830
4	60	100	37,5	1,220	22	~1 080
5	80	100	44,4	1,280	28	~1 270

Примечание. Все измерения выполнены при температуре 20 °С; осмоляльность рассчитана ориентировочно на основе молярной массы сахарозы 342,3 г/моль.

Полученные данные позволяют интерпретировать рост плотности не только как физико-химический эффект, но и как следствие биохимических взаимодействий в системе «вода – сахароза».

Гидратация и водородные связи. Молекула сахарозы содержит восемь гидроксильных групп, каждая из которых способна участвовать в образовании водородных связей с молекулами воды. В результате вокруг молекулы формируется гидратная оболочка, которая

упорядочивает локальную структуру воды и уплотняет раствор. Это проявляется в увеличении плотности при росте концентрации сахарозы. При этом объём раствора меняется незначительно, а масса возрастает пропорционально количеству добавленной сахарозы – отсюда и рост плотности.

Перестройка водородной сети. Добавление сахарозы нарушает исходную динамическую структуру водородной сети воды: молекулы воды «перераспределяются» вокруг полярных групп сахарозы, формируя более упорядоченные локальные кластеры. Этот процесс энергетически выгоден и лежит в основе термодинамической стабильности растворов сахарозы.

Осмотические эффекты. Сахароза, будучи неэлектролитом, вносит вклад в осмоляльность раствора: каждая молекула сахарозы создаёт одну осмотическую частицу. Ориентировочные значения осмоляльности, приведённые в таблице 1, показывают, что даже при умеренных концентрациях растворы могут оказывать заметное осмотическое действие. Например, раствор с массовой долей 37,5% имеет осмоляльность порядка 1 080 мОсм/кг, что существенно выше физиологических значений (около 280–300 мОсм/кг для плазмы крови) [8; 9]. Это важно учитывать при использовании подобных растворов в биохимических и медицинских приложениях.

Биологическая значимость. В живых системах осмотическое равновесие строго регулируется: избыток растворённых веществ может приводить к дегидратации клеток или, наоборот, к их набуханию. Понимание того, как концентрация сахарозы влияет на плотность и осмоляльность среды, позволяет прогнозировать поведение клеток в таких растворах и подбирать оптимальные условия для биохимических экспериментов и культивирования тканей [1; 2; 9].

Анализ результатов позволяет сделать вывод о наличии выраженной зависимости плотности водных растворов от концентрации сахарозы. Все исследованные растворы продемонстрировали монотонный рост плотности с увеличением массовой доли растворённого вещества, при этом зависимость носила близкий к линейному характер в диапазоне 0–44,4% [3; 4; 7]. Ранжирование по степени увеличения плотности:

Раствор 1 (0%) < Раствор 2 (16,7%) < Раствор 3 (28,6%) < Раствор 4 (37,5%) < Раствор 5 (44,4%).

Выявленные закономерности согласуются с биохимическими представлениями о гидратации сахарозы: полярные гидроксильные группы молекулы активно взаимодействуют с водой, формируя водородные связи и уплотняя структуру раствора. При этом объём системы меняется незначительно, а масса растёт пропорционально количеству добавленной сахарозы, что и определяет увеличение плотности.

Сопоставление плотности и ориентировочной осмоляльности показывает, что рост концентрации сахарозы приводит не только к увеличению плотности, но и к существенному повышению осмотического потенциала раствора. Это имеет значение для биохимических приложений: растворы с высокой концентрацией сахарозы могут использоваться для создания контролируемых осмотических условий, например, при изучении плазмолиза растительных клеток или при стабилизации белков.

Проведённое исследование наглядно демонстрирует, как добавление сахарозы изменяет физико-химические и биохимические параметры водной среды, прежде всего её плотность и осмотический потенциал. Установленная зависимость «плотность – концентрация» представляет собой простой и надёжный способ оценки содержания сахарозы без применения сложного оборудования. Это имеет практическое значение для пищевой промышленности, биохимических исследований и лабораторной диагностики, где требуется оперативный контроль концентрации углеводов [4; 6; 7]. Перспективным направлением дальнейших исследований является расширение диапазона изучаемых сахаров и олигосахаридов, оценка влияния

температуры на плотность растворов, а также прямое измерение осмоляльности для построения более точных калибровочных моделей.

Список литературы

1. Влияние агрономической биофортификации на биохимические показатели гороха / И.А. Добросмыслова, Т.Г. Константинова, Ю.Р. Максимова, А.П. Журавлёв // Вестник Чувашского государственного аграрного университета. – 2024. – №1 (28). – С. 18–23. – EDN: RMLRHY. – DOI: 10.48612/vch/4pbu-pzat-xfbt. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=65506793> (дата обращения: 05.07.2026).
2. Журавлёв А.П. Оценка качества мягкого сыра «Студенческий» с красным перцем / А.П. Журавлёв, М.Г. Терентьева // Научно-образовательные и прикладные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции: сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвящённой 95-летию со дня рождения А. И. Кузнецова (1930–2015). – Чебоксары, 2025. – С. 307–312. – EDN RVXPYP. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=88771407> (дата обращения: 05.07.2026).
3. Зацепина Г.Н. Физические свойства и структура воды: монография / Г.Н. Зацепина. – М.: Изд-во Московского университета, 2010. – 320 с. – ISBN 978-5-211-05767-1.
4. Зависимость плотности водных растворов от концентрации сахара при нормальном атмосферном давлении и температуре. – URL: <https://base.garant.ru/70651308/c9c989f1e999992b41b30686f0032f7d/> (дата обращения: 05.07.2026).
5. Ленинджер А. Основы биохимии / А. Ленинджер. – В 3 т. – М.: Мир, 1985.
6. Парецкая А. Вода для пользы тела: роль воды в жизнедеятельности человека / А. Парецкая. – URL: <https://zdravcity.ru/blog-o-zdorovie/voda-dlya-polzy-telam> (дата обращения: 05.07.2026).
7. Биохимия / Дж.М. Берг, Дж.Л. Тимочко, Г.Дж. Гатто, Л. Страйер; пер. с англ. – 9-е изд. – Нью-Йорк: W.H. Freeman, 2019.
8. Нельсон Д.Л. Принципы биохимии Ленинджера / Д.Л. Нельсон, М.М. Кокс; пер. с англ. – Нью-Йорк: W. H. Freeman, 2017.
9. Тортора Г.Дж. Принципы анатомии и физиологии / Г.Дж. Тортора, Б.Х. Дерриксон; пер. с англ. – 16-е изд. – Хобокен: Wiley, 2020.

Макарова Дарья Валерьяновна

студентка

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
университет им. И.Н. Ульянова»
г. Чебоксары, Чувашская Республика

Фролова Мария Александровна

канд. хим. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
университет им. И.Н. Ульянова»
г. Чебоксары, Чувашская Республика

Добросмылова Ирина Анатольевна

канд. биол. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
университет им. И.Н. Ульянова»
г. Чебоксары, Чувашская Республика

Добросмыслов Светослав Анатольевич

учащийся

МАОУ «СОШ №3»

г. Канаш, Чувашская Республика

Журавлев Анатолий Петрович

магистрант

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный аграрный университет»
г. Чебоксары, Чувашская Республика

DOI 10.31483/r-168426

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ ПРОДУКТОВ КУРЕНИЯ НА МОДЕЛЬНЫЕ ОРГАНИЗМЫ

Аннотация: в статье представлены результаты экспериментальной оценки токсического действия продуктов курения на модельные организмы – личинки серой мясной мухи (*Sarcophaga carnaria*), комара-дергуна (мотыль) (*Chironomus*) и колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata*). Установлено, что табачный дым, водорастворимые компоненты сигаретных фильтров и пища, обработанная табачными веществами, оказывают выраженное токсическое действие, приводя к снижению активности, нарушению развития и гибели личинок. Выявленные закономерности подтверждают высокую экотоксикологическую опасность компонентов табачного дыма и фильтрационных материалов. Продемонстрирована пригодность выбранных модельных организмов для экспресс-оценки токсичности продуктов курения.

Ключевые слова: курение, табачный дым, токсическое воздействие, личинки насекомых, экспериментальное исследование, сигаретные фильтры, выживаемость, экотоксикология.

Проблема негативного влияния курения на здоровье человека и окружающую среду остаётся одной из наиболее острых в современном обществе. Табачный дым представляет собой сложную многокомпонентную смесь, включающую тысячи химических соединений, среди которых значительную долю составляют токсичные, канцерогенные и мутагенные вещества (никотин, формальдегид, бензапирен, оксиды азота и др.) [2; 3; 8]. Помимо прямого воздействия на организм курильщика, продукты курения способны оказывать неблагоприятное влияние на пассивных участников и экосистемы, загрязняя воздух, воду и почву [5; 6; 10]. Особую опасность представляют компоненты сигаретных фильтров, которые, будучи частично биоразлагаемыми, накапливают токсичные соединения и могут служить источником вторичного загрязнения [4]. В связи с этим проведение экспериментальных исследований по оценке токсичности продуктов курения на биологических моделях является научно и практически значимым [6].

В качестве модельных объектов в работе использованы личинки насекомых, отличающиеся высокой чувствительностью к токсикантам и коротким жизненным циклом, что позволяет оперативно оценивать эффекты воздействия. Личинки серой мясной мухи (*Sarcophaga carnaria*) применялись в качестве модели «пассивного курения» для изучения действия табачного дыма на дыхательную систему. Личинки комара-дергуна (мотыль) (*Chironomus*), обитающие в водной среде, служили индикатором токсичности водорастворимых компонентов сигаретных фильтров. Личинки колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata*) использовались для оценки влияния пищи, обработанной продуктами курения, на процессы питания, роста и развития [7; 9].



Рис. 1. Опарыши



Рис. 2. Мотыль



Рис. 3. Личинки колорадского жука

Целью настоящего исследования являлась экспериментальная оценка токсического действия продуктов курения (табачного дыма, компонентов сигаретных фильтров, табачных экстрактов) на выбранные модельные организмы.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- оценить влияние табачного дыма на выживаемость и поведенческую активность личинок серой мясной мухи;
- исследовать токсичность водорастворимых компонентов, экстрагированных из использованных сигаретных фильтров, на примере личинок комара-дергуна;
- определить влияние пищи, обработанной растворами сигаретных фильтров и настоем табака, на выживаемость и развитие личинок колорадского жука;
- провести сравнительный анализ полученных результатов и оценить степень токсического воздействия различных форм продуктов курения.

Исследования выполнены на базе лаборатории Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова. Для экспериментов отбирали личинок на сопоставимых стадиях развития. Во всех опытах формировали контрольные и опытные группы ($n = 10$ особей в каждой группе), условия содержания (температура, влажность, освещение) были идентичными. В качестве источника табачного дыма использовали стандартные сигареты с фильтром (содержание никотина – 0,8 мг/сигарету, смолы – 10 мг/сигарету). Для получения раствора компонентов фильтра 5 использованных фильтров измельчали и экстрагировали в 100 мл дистиллированной воды в течение 24 часов при комнатной температуре с периодическим перемешиванием. Настой табака готовили путём настаивания 1 г измельчённого табачного листа в 100 мл воды в течение 48 часов.

Эксперимент 1 («Влияние табачного дыма на личинок серой мясной мухи») проводили в герметичной камере объёмом 5 л. В камеру помещали 10 личинок и генерировали табачный

дым от 3 сигарет в течение 15 минут, после чего наблюдали за поведением и выживаемостью особей в течение 48 часов. В контрольной группе личинки находились в аналогичной камере без воздействия дыма.

Эксперимент 2 («Влияние раствора сигаретных фильтров на мотыля») заключался в помещении личинок в сосуды с раствором, содержащим компоненты фильтров (опытная группа), и дистиллированной водой (контрольная группа). Наблюдение за поведением и выживаемостью проводили в течение 80 минут с фиксацией состояния каждые 2–5 минут.

Эксперимент 3 («Влияние пищи, обработанной продуктами курения, на развитие колорадского жука») предусматривал кормление личинок листьями картофеля, предварительно обработанными раствором компонентов сигаретных фильтров (группа 1), настоем табака (группа 2) и необработанными листьями (контрольная группа, группа 3). Выживаемость и динамику развития оценивали в течение 7 дней.

Результаты эксперимента 1 показали, что личинки, подвергшиеся воздействию табачного дыма, уже в первые часы демонстрировали признаки острого отравления: снижение двигательной активности, нарушение координации движений, а в ряде случаев – судорожные подёргивания. Через 24 часа все особи в опытной группе погибли. В контрольной группе личинки оставались активными в течение всего периода наблюдения (48 часов), что свидетельствует о выраженном токсическом действии табачного дыма даже при кратковременном воздействии.

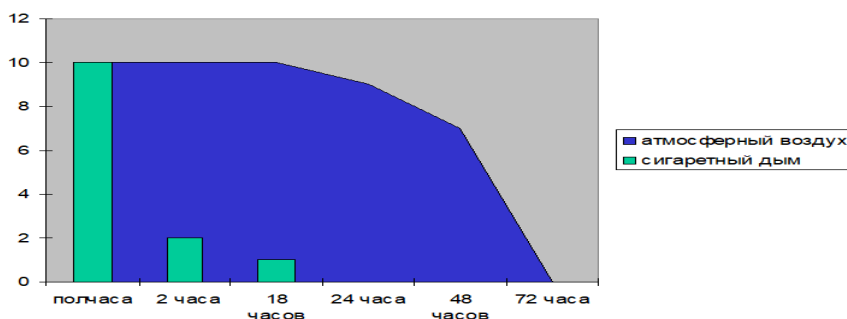


Рис 4. Действие табачного дыма на личинок серой мясной мухи (*Sarcophaga carnaria*)

Результаты эксперимента 2 выявили существенные различия в поведении личинок мотыля в опытной и контрольной группах (табл. 1). В растворе компонентов сигаретных фильтров личинки демонстрировали нестабильное поведение: периоды гиперактивности сменялись полной неподвижностью. Уже через 25 минут 70% особей утратили подвижность, через 35 минут – 90%, а к 80-й минуте все личинки в опытной группе погибли. В контрольной группе (дистиллированная вода) личинки сохраняли нормальную активность на протяжении всего эксперимента.

Таблица 1

Влияние раствора веществ сигаретного фильтра на поведение мотыля

Время наблюдения (от начала эксперимента)	Характер поведения мотыля (n=10)	
	Сосуд №1 (дистиллированная вода)	Сосуд №2 (раствор сигаретного фильтра)
2 мин.	личинки активные	медленные, пассивные движения
5 мин.	личинки одинаково активные	нет движения
9 мин.	активные	гиперактивность личинок
18 мин.	изменений не наблюдается	слабое, вялое движение
25 мин.	личинки одинаково активные	7 личинок не шевелятся (70%)
35 мин.	активные	9 личинок не шевелятся (90%)
80 мин.	активные	10 личинок неподвижные (100%)

Данные эксперимента 3 показали, что обработка пищи продуктами курения существенно снижает выживаемость личинок колорадского жука (табл. 2). В группе, питавшейся листьями, обработанными раствором сигаретных фильтров, выживаемость составила всего 7%. В группе с листьями, обработанными настоем табака, выжило 20% личинок, тогда как в контрольной группе выживаемость достигла 90%.

Таблица 2

Выживаемость личинок колорадского жука при питании обработанной пищей

Группа	Погибли	Выжили	Доля выживших, %
Контроль	3	27	90
Опыт 1 (раствор фильтра)	28	2	7
Опыт 2 (настой табака)	24	6	20

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что продукты курения оказывают комплексное токсическое действие на живые организмы, затрагивая различные физиологические системы. Табачный дым вызывает быстрое поражение дыхательной системы, что приводит к гибели личинок уже через 24 часа. Водорастворимые компоненты сигаретных фильтров обладают выраженной токсичностью для водных организмов, вызывая нарушение нервной регуляции и быструю гибель. Пища, загрязненная табачными веществами, нарушает процессы питания и развития, существенно снижая выживаемость.

Сравнительная оценка степени токсичности различных форм воздействия продуктов курения показывает, что наибольшую опасность представляет прямое воздействие табачного дыма, за которым следует контакт с компонентами фильтров, а затем – потребление загрязнённой пищи. При этом даже относительно низкие концентрации токсикантов, поступающие с пищей, способны оказывать существенное негативное влияние на развитие организмов.

Полученные результаты согласуются с данными литературы о токсическом, канцерогенном и мутагенном действии компонентов табачного дыма [1; 2; 8; 10]. Высокая чувствительность выбранных модельных организмов подтверждает их пригодность для экспресс-оценки экотоксикологической опасности продуктов курения. Превышение показателей смертности и снижение выживаемости в опытных группах по сравнению с контрольными свидетельствуют о значительной токсической нагрузке, создаваемой продуктами курения в окружающей среде [6].

Таким образом, проведённые исследования наглядно демонстрируют выраженное вредное воздействие продуктов курения на живые организмы. Полученные данные подчёркивают необходимость усиления мер по профилактике курения, утилизации сигаретных отходов и мониторингу загрязнения окружающей среды компонентами табачных изделий. Результаты работы могут быть использованы в образовательных и просветительских программах для формирования осознанного отношения к проблеме курения и его последствий для экосистем.

Список литературы

1. Дацун И.П. Проблема курения: организация исследовательской деятельности учащихся / И.П. Дацун // Химия в школе. – 2006. – №6. – С. 63–69. EDN HACBVVB
2. Димитриев А.Д. Экология и здоровье человека / А.Д. Димитриев. – Чебоксары: Чувашское книжное издательство, 1999. – 174 с.
3. Агроэкологические аспекты использования селенита натрия и цеолитов при выращивании гороха / И.А. Добросмыслова, А.А. Сазанова, В.Г. Семенов [и др.] // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия химии и технологий. – 2021. – №3. – С. 30–36. – ISSN 2224–5286. – DOI 10.32014/2020.2519–1629.77. – EDN KLZHWL
4. Жукова Т.А. Токсикологическая химия. Метаболизм и анализ токсикантов: учебник / Т.А. Жукова, В.В. Мясников. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018. – 560 с.
5. Министерство здравоохранения Российской Федерации: официальный сайт. – URL: <https://www.rosminzdrav.ru/> (дата обращения: 03.07.2026).
6. Мухортова Л.И. Техногенные системы и экологический риск / Л.И. Мухортова, П.М. Лукин, И.В. Добросмыслова. – Чебоксары, 2009. – 444 с. – ISBN 978-5-7677-1302-8.
7. Животные Чувашии / И.М. Олигер, А.И. Олигер [и др.]. – Чебоксары: Руссика, 2008. – 316 с.

8. Рамочная конвенция ВОЗ по борьбе против табака. – Женева: ВОЗ, 2005. – URL: https://apps.who.int/gb/or/r/convention_ru.html (дата обращения: 03.07.2026).
9. Харкевич Д.А. Фармакология: учебник / Д.А. Харкевич. – 12-е изд., испр. и доп. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2017. – 760 с.
10. How Tobacco Smoke Causes Disease: The Biology and Behavioral Basis for Smoking-Attributable Disease: A Report of the Surgeon General. – Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, 2010. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK53017/> (дата обращения: 03.07.2026).

Семёнова Ольга Геннадьевна

студентка

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Чувашская Республика

Добросмыслова Ирина Анатольевна

канд. биол. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Чувашская Республика

Фролова Мария Александровна

канд. хим. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Чувашская Республика

Сапёрова Елена Владимировна

канд. биол. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева»

г. Чебоксары, Чувашская Республика

Добросмыслов Светослав Анатольевич

учащийся

МАОУ «СОШ №3»

г. Канаш, Чувашская Республика

Журавлев Анатолий Петрович

магистрант

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный аграрный университет»

г. Чебоксары, Чувашская Республика

DOI 10.31483/r-168450

ФАРМАКОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПРАКТИКИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Аннотация: в статье представлены результаты исследования практик применения лекарственных растений (ромашка аптечная, полынь горькая, шиповник собачий, боярышник) населением Чувашской Республики, а также оценки отношения респондентов к самостоятельной заготовке фитосырья и к аптечным формам. Цель исследования – проверить гипотезу о высоком уровне доверия населения к целебным свойствам традиционных лекарственных растений и выявить причины предпочтения покупного сырья самостоятельно собранному. Эмпирическая часть включала анализ научной литературы, социологический опрос (n = 28) и систематизацию данных о фармакологических свойствах, химическом составе растений и безопасных практиках работы с фитосырьём. Результаты показали, что наиболее востребованным растением является ромашка (39% респондентов), при этом более 70% опрошенных отдадут предпочтение аптечному сырью. Гипотеза подтверждена;

установлена необходимость просветительской работы по вопросам грамотного сбора, заготовки и применения фитосырья.

Ключевые слова: фитотерапия, лекарственные растения, ромашка, полынь, шиповник, боярышник, социологический опрос, сбор и хранение, фармакогнозия, растительное сырьё, синергетическое действие, химический состав, действующие вещества, безопасность, стандартизация, фармакологические эффекты.

Проблема рационального использования лекарственных растений и сохранения традиционных знаний о них остаётся актуальной в современной фармакогнозии и профилактической медицине. В XXI веке фокус исследований смещается на сочетание доказательной базы и этноботанических практик, а также на вопросы безопасности, стандартизации и экологической устойчивости сбора дикорастущего сырья [3; 5; 7–9].

Актуальность исследования определяется устойчивым интересом населения к фитотерапии как к дополнению к традиционным методам поддержания здоровья, а также разрывом между теоретическим доверием к растениям и практическими навыками их самостоятельной заготовки. Социологические данные показывают, что значительная часть пользователей выбирает готовые аптечные формы, ссылаясь на удобство, стандартизацию и отсутствие знаний по сбору и хранению [4]. При этом содержание действующих веществ и безопасность применения напрямую зависят от соблюдения правил обращения с фитосырьём: выбора фенологической фазы, экологически чистых зон, правильности сбора, способов сушки и хранения [1; 3].



Рис. 1. Ромашка аптечная (*Matricaria chamomilla* L.)



Рис. 2. Полынь горькая (*Artemisia absinthium* L.)



Рис. 3. Шиповник собачий (*Rosa canina*)



Рис. 4. Боярышник (*Crataegus* spp.)

Особое значение имеет *синергетическое действие* компонентов растений: терапевтический эффект зачастую обусловлен не изолированным веществом, а комплексом соединений, взаимно усиливающих действие друг друга. Например, в ромашке противовоспалительный эффект формируется за счёт сочетания флавоноидов и эфирных масел, а в комбинированных сборах синергия может обеспечивать более выраженный результат по сравнению с монопрепаратами.

Цель работы – провести сравнительный анализ распространённости использования отдельных лекарственных растений в Чувашской Республике, оценить отношение населения к самостоятельной заготовке сырья и выявить основные причины выбора аптечных форм.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи.

1. Изучить фармакологические свойства (в расширенном объёме), химический состав (включая ключевые действующие вещества с указанием химических формул) и правила заготовки ромашки аптечной, полыни горькой, шиповника и боярышника на основании нормативных и научных источников [1–3; 5–7].

2. Провести эмпирическое исследование – социологический опрос жителей г. Чебоксары и Чувашской Республики для выявления практик применения растений и отношения к самостоятельной заготовке [4].

3. Проанализировать полученные данные, сопоставить их с литературными сведениями о применении растений и сформулировать практические рекомендации по популяризации безопасных и эффективных практик работы с фитосырьём.

В соответствии с логикой поставленных задач в данной работе сначала подробно раскрываются фармакологические свойства и биохимический состав растений, а затем приводятся результаты эмпирических экспериментов.

Исследование выполнено на базе Чувашского государственного университета имени И. Н. Ульянова. Объектом исследования выступили сведения о практиках применения лекарственных растений населением, включающие субъективные данные опроса и объективные характеристики сырья, регламентированные фармакопейными требованиями.

Основные методы исследования:

а) анализ научной и нормативной литературы (включая Государственную фармакопею РФ и международные фармакопеи) – для описания фармакологических свойств, биохимического состава и правил заготовки сырья [1; 2; 5];

б) социологический опрос (анкетирование) – для оценки распространённости применения растений, частоты выбора отдельных видов и причин предпочтения аптечного или самостоятельно заготовленного сырья;

в) Сравнительный анализ данных опроса с литературными данными по применению растений и их действующим веществам [3; 6; 7];

г) систематизация биохимического состава с выделением ключевых действующих веществ, указанием их химических формул и роли в фармакологическом действии.

Анкетирование проводилось в стандартизированных условиях: использовалась единая форма анкеты, респондентам предоставлялись одинаковые инструкции, варианты ответов были фиксированными. Это позволило количественно оценить частоту выбора растений и причины предпочтений. Критерии оценки: доля респондентов, использующих каждое из растений; соотношение выбора аптечного сырья и самостоятельной заготовки; основные причины выбора; соответствие заявленных практик применения научно обоснованным данным.

На основании нормативных и научных источников [1; 3; 5] выделены расширенные фармакологические эффекты и ключевые действующие вещества изучаемых растений. Биохимический состав и эффекты систематизированы в таблице 1.

Таким образом, фармакологическая активность каждого растения обусловлена не одним веществом, а комплексом соединений. Синергетические взаимодействия между компонентами (например, между витамином С и флавоноидами в шиповнике или между флавоноидами и эфирными маслами в ромашке) существенно усиливают терапевтический эффект и повышают устойчивость действующих веществ.

Эксперимент 1. Социологический опрос: распространённость применения и отношение к заготовке сырья. В опросе приняли участие 28 жителей г. Чебоксары и Чувашской Республики [4]. Все респонденты подтвердили использование лекарственных растений в своих семьях. Наиболее популярным растением оказалась ромашка – её выбрали 39% (25 человек), далее следуют полынь (29%, 19 человек), шиповник (17%, 11 человек) и боярышник (15%, 10 человек). Более 70% опрошенных предпочитают приобретать сырьё в аптеке. Основными причинами назывались недоверие к экологической чистоте мест сбора, отсутствие необходимых знаний и навыков заготовки, а также удобство аптечных форм. Полученные данные подтверждают высокий уровень доверия к целебным свойствам растений при одновременном дефиците практических компетенций по работе с фитосырьём.

Эксперимент 2. Сопоставление заявленных практик применения с научно обоснованными эффектами. На основании данных опроса и литературных источников [1; 3; 5] установлено соответствие между тем, как респонденты используют растения, и их научно подтверждёнными фармакологическими свойствами:

Ромашка применяется для полосканий и как успокаивающее средство – это согласуется с её противовоспалительным, спазмолитическим и седативным действием.

Полынь используется для улучшения пищеварения – соответствует её свойствам как горечи и желчегонного средства.

Шиповник применяют для укрепления иммунитета – это соответствует его поливитаминому и антиоксидантному действию.

Боярышник используют для поддержки сердечно-сосудистой системы – это согласуется с его кардиотоническим и гипотензивным эффектом.

Таблица 1

Фармаколого-биохимические свойства и действие лекарственных растений

Растение	Основные фармакологические эффекты (расширенный перечень)	Дополнительные/вторичные эффекты	Ключевые группы веществ	Действующие вещества и формулы	Механизмы/роли в действии
<i>Ромашка аптечная</i> (<i>Matricaria chamomilla</i> L.)	Противовоспалительное, спазмолитическое, седативное, антисептическое, противоаллергическое	Лёгкое ветрогонное, потогонное, местнораздражающее (при наружном применении), ранозаживляющее	Флавоноиды, эфирные масла, кумарины, полисахариды	Апигенин $C_{15}H_{10}O_5$, хамазулен $C_{14}H_{16}$, матрицин (прекурсор хамазулена)	Апигенин – модуляция ГАМК-рецепторов (седативный эффект), ингибирование ЦОГ-2 (противовоспалительный эффект); хамазулен – подавление медиаторов воспаления (гистамин, простагландины); полисахариды – стимуляция местного иммунитета и ранозаживления
<i>Полынь горькая</i> (<i>Artemisia absinthium</i> L.)	Горечь, стимуляция аппетита, желчегонное, антимикробное	Противопротозойное (в отношении некоторых простейших), лёгкий спазмолитический эффект, стимуляция секреции пищеварительных ферментов	Горькие гликозиды, эфирные масла, сесквитерпеновые лактоны	Абсинтин $C_{20}H_{28}O_4$, туйон $C_{10}H_{16}O$	Абсинтин – раздражение вкусовых рецепторов и рефлекторная стимуляция желудочной и панкреатической секреции; туйон – антимикробная и противопротозойная активность; эфирные масла – бактериостатический эффект
<i>Шиповник собачий</i> (<i>Rosa canina</i>)	Поливитаминальное, антиоксидантное, иммуномодулирующее, капилляропротекторное	Лёгкое мочегонное, желчегонное, стимуляция кроветворения (за счёт улучшения усвоения железа), противовоспалительное (вторично)	Витамины, органические кислоты, флавоноиды	Аскорбиновая кислота $C_6H_8O_6$, кверцетин $C_{15}H_{10}O_7$, лимонная кислота $C_6H_8O_7$	Витамин С – кофактор синтеза коллагена, антиоксидант, стимулятор фагоцитоза; кверцетин – стабилизация мембран тучных клеток, снижение проницаемости сосудов; органические кислоты – улучшение усвоения железа и микроэлементов
<i>Боярышник</i> (<i>Crataegus</i> spp.)	Кардиотоническое, гипотензивное, мягкое седативное, антиоксидантное	Улучшение коронарного кровотока, антиаритмический потенциал (умеренный), снижение уровня стресса-индуцированной тахикардии, улучшение мозгового кровообращения (вторично)	Флавоноиды, тритерпеновые кислоты, олигомерные проантоцианидины	Гиперозид $C_{21}H_{20}O_{12}$, урсоловая кислота $C_{30}H_{48}O_5$, витексин $C_{21}H_{20}O_{10}$	Гиперозид и витексин – улучшение сократимости миокарда, расширение коронарных сосудов; урсоловая кислота – противовоспалительный и антифибротический эффект; проантоцианидины – защита эндотелия и снижение окислительного стресса

Таблица 2

Безопасные и эффективные практики работы с фитосырьём

Растение / вид сырья	Оптимальная фаза сбора	Условия сушки	Условия хранения	Критические риски и ошибки	Меры контроля качества (в т. ч. доступные в быту)
<i>Ромашка аптечная</i> (цветки)	В начале массового цветения (когда раскрыто 50–70% корзинок)	Тонким слоем (1–3 см) при $t = 35\text{--}40\text{ }^{\circ}\text{C}$ в проветриваемом помещении либо в сушилке; избегать прямого солнца	В бумажных/тканевых мешочках или в стеклянной таре с крышкой, в сухом тёмном месте; срок хранения – до 1 года	Пересушивание (разрушение эфирных масел), сбор в сырую погоду (риск плесени), сбор после начала увядания (снижение хамазулена), сбор вблизи дорог/промышленных зон (накопление тяжёлых металлов, ПАУ)	Органолептический контроль: цветки должны быть ароматными, не бурыми; отсутствие плесени и посторонних запахов; при возможности – проверка на влажность (не более 14%)
<i>Полынь горькая</i> (трава: верхушки побегов с листьями и цветками)	В фазу бутонизации – начало цветения	В тени, при $t \leq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, слоем 3–5 см; хорошая вентиляция обязательна	В плотно закрытой таре из тёмного стекла или в бумажных пакетах; в сухом месте; срок хранения – 1–2 года	Избыточная влажность при сушке (плесневение), пересушивание (потеря эфирных масел и горечи), сбор старых листьев (повышенное содержание потенциально токсичных компонентов)	Контроль аромата (характерный полынный запах), цвета (зеленовато-серый, без бурых пятен); отсутствие посторонних примесей (сорняков, насекомых)
<i>Шиповник собачий</i> (плоды зрелые)	При полном созревании, но до заморозков (плоды должны быть ярко-оранжевыми/красными, упругими)	При $t = 70\text{--}80\text{ }^{\circ}\text{C}$ (в сушилке) либо в проветриваемом помещении при умеренной влажности; важно не пересушить	В стеклянной таре или плотных бумажных пакетах, в тёмном сухом месте; срок хранения – до 2 лет	Замораживание перед сушкой (снижает сохранность витамина С), сушка при низкой температуре (риск порчи), хранение на свету (разрушение витамина С)	Цвет плодов – ярко-оранжевый/красный, без почернений; вкус – кисло-сладкий, без затхлости; органолептически – отсутствие плесени и постороннего запаха
<i>Боярышник</i> (цветки и плоды)	Цветки – в начале цветения; плоды – после полного созревания, до заморозков	Цветки: в тени, тонким слоем, $t \leq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$; плоды: $t = 50\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$	Цветки – до 1 года в плотной таре; плоды – до 2 лет в стеклянной таре	Цветки легко теряют аромат и флавоноиды при высокой влажности/температуре; плоды при неправильной сушке становятся липкими (риск микробной порчи)	Цветки должны сохранять лёгкий аромат и светлый оттенок; плоды – упругие, не слипающиеся, без плесени; отсутствие посторонних включений

Результаты эксперимента подтверждают достоверность ответов респондентов и высокий уровень базового доверия к традиционным растениям.

Эксперимент 3. Оценка соответствия практик заготовки требованиям безопасности и эффективности. Согласно нормативным и учебным источникам [1; 3], эффективность и безопасность фитосырья зависят от правильности сбора (в строго определённые фенологические фазы), сушки (при контролируемой температуре) и хранения (в сухом, тёмном месте, с учётом сроков годности). Сопоставление этих требований с ответами респондентов показало, что большинство не владеет необходимыми знаниями по заготовке, что объясняет предпочтение аптечного сырья.

Ниже приведены детализированные безопасные и эффективные практики работы с фитосырьём для каждого из исследуемых растений. Они систематизированы в таблице 2, где указаны критические параметры, ошибки, снижающие качество сырья, и меры контроля.

Дополнительно к указанным практикам, для обеспечения безопасности самостоятельного сбора важно соблюдать следующие общие правила:

Выбор места сбора: не менее 300 м от автомобильных дорог и промышленных объектов, вне зон с подтверждённым загрязнением почв (тяжёлые металлы, радионуклиды).

Инвентарь: использовать чистые ножницы/секатор, тканевые перчатки; не собирать сырьё в полиэтиленовые пакеты (риск конденсации влаги и порчи).

Сортировка: сразу после сбора удалять повреждённые, больные, старые части растений, посторонние примеси.

Контроль влажности: при возможности использовать бытовой влагомер для трав (целевая влажность – 12–14%); при отсутствии – оценивать органолептически (стебли ломаются, а не гнутся; цветки и листья легко растираются в порошок).

Маркировка: на каждой таре указывать вид сырья, дату и место сбора, фазу вегетации – это позволяет контролировать сроки годности и избегать ошибок при применении.

Эти меры обеспечивают сохранение действующих веществ (в том числе термолабильных, таких как витамин С в шиповнике, эфирные масла в ромашке и полыни), минимизируют риски микробной порчи и накопления токсичных примесей, а также позволяют поддерживать воспроизводимость эффекта при использовании фитосырья в домашних условиях. При этом аптечные формы остаются предпочтительными для групп риска (дети, беременные, лица с хроническими заболеваниями) ввиду стандартизации и контроля качества на производстве [1; 5]. Результаты экспериментов систематизированы в таблице 3.

Таблица 3

Частота выбора лекарственных растений респондентами

Лекарственное растение	Количество человек выборки	Доля респондентов	Лечебный эффект	Научно обоснованные эффекты
Ромашка аптечная	25	39%	Полоскание, противовоспалительное, успокаивающее действие	Противовоспалительное, спазмолитическое, седативное, противоаллергическое, ветрогонное действие
Полынь горькая	19	29%	Улучшение пищеварения	Горечь, стимуляция аппетита и секреции, желчегонное, антимикробное, противопротозойное действие
Шиповник собачий	11	17%	Укрепление иммунитета	Поливитаминное, антиоксидантное, иммуномодулирующее, капилляропротекторное, желчегонное
Боярышник	10	15%	Поддержка сердечно-сосудистой системы	Кардиотоническое, гипотензивное, антиаритмический потенциал, улучшение коронарного кровотока

Примечание: данные получены в ходе социологического опроса 2025 г. [4].

Ранжирование факторов, влияющих на выбор способа получения сырья, по степени выраженности:

- а) отсутствие знаний и навыков по сбору, сушке и хранению – наиболее значимый фактор;
- б) недоверие к экологической чистоте мест сбора – усугубляющий фактор;
- в) удобство и доступность аптечных форм – базовый фактор потребительского выбора.

Выявленные закономерности согласуются с современными представлениями о практике применения фитосырья: доверие к традиционным средствам сохраняется, однако безопасность и воспроизводимость эффектов обеспечиваются в первую очередь стандартизацией, которую предоставляют аптечные формы [2; 5].

Исследование подтвердило устойчивый интерес к лекарственным растениям в Чувашской Республике и высокий уровень доверия к ним при дефиците навыков самостоятельной заготовки сырья. Фармакологическая активность растений обусловлена синергетическим действием комплекса веществ, например, витамина С с флавоноидами в шиповнике, флавоноидов с эфирными маслами в ромашке. Основные причины выбора аптечных форм – недостаток знаний о сборе и хранении, сомнения в экологической чистоте сырья и удобство готовых препаратов. Результаты работы применимы для просветительских и учебных целей в области фармакогнозии, ботаники и гигиены.

Список литературы

1. Государственная фармакопея Российской Федерации. – В 4 т. Т. 4. XIV изд. – М., 2018. – 1944 с.
2. Данные социологического опроса, 2025 г. / Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова. – Чебоксары, 2025. – 12 с.
3. Журавлёв А.П. Показатели качества молока для производства сыра / А.П. Журавлёв, М.Г. Терентьева // Научные достижения и практические решения в зоотехнии и ветеринарной медицине: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. – Чебоксары, 2025. – С. 280–285. – EDN JDSFGY. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=82896779> (дата обращения: 04.07.2026).
4. Кузьменко И.Н. Лекарственные и ядовитые растения: учебное пособие / И.Н. Кузьменко, Н.Л. Колясникова. – Пермь: ПрокростЪ, 2021. – 104 с.
5. Муравьёва Д.А. Фармакогнозия: учебник / Д.А. Муравьёва. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020. – 656 с.
6. Семенова О.С. Биологическая очистка сточных вод / О.С. Семенова, И.В. Добросмыслова // Региональная научная студенческая конференция: сборник трудов XLIV научной студенческой конференции по гуманитарным, естественным и техническим наукам Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова: кафедра охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов. – 2010. – С. 8–9. – EDN QHOQGV. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49268500> (дата обращения: 04.07.2026).
7. European Pharmacopoeia (Ph. Eur.). – 11th ed. – Strasbourg: European Directorate for the Quality of Medicines & HealthCare, 2023.
8. Fundamentals of Pharmacognosy and Phytotherapy / M. Heinrich, J. Barnes, J. Prieto-Garcia [et al.]. – 4th ed. – Elsevier, 2023. – ISBN 978-0-7020-8348-4.
9. Van Wyk B.-E. Medicinal Plants of the World / B.-E. Van Wyk, M. Wink. – 2nd ed. – CABI Publishing, 2017. – ISBN 978-1-78064-407-6.

Убейкина Зарина Николаевна

студентка

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
университет им. И.Н. Ульянова»
г. Чебоксары, Чувашская Республика

Даминова Айсылу Азатовна

студентка

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
университет им. И.Н. Ульянова»
г. Чебоксары, Чувашская Республика

Добросмылова Ирина Анатольевна

канд. биол. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
университет им. И.Н. Ульянова»
г. Чебоксары, Чувашская Республика

Фролова Мария Александровна

канд. хим. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
университет им. И.Н. Ульянова»
г. Чебоксары, Чувашская Республика

Сапёрова Елена Владимировна

канд. биол. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
педагогический университет им. И.Я. Яковлева»
г. Чебоксары, Чувашская Республика

Добросмыслов Светослав Анатольевич

учащийся

МАОУ «СОШ №3»

г. Канаш, Чувашская Республика

Журавлев Анатолий Петрович

магистрант

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
аграрный университет»
г. Чебоксары, Чувашская Республика

DOI 10.31483/r-168467

РОЛЬ ВОДОРОДНЫХ СВЯЗЕЙ В ФОРМИРОВАНИИ УНИКАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ВОДЫ

Аннотация: в статье представлены результаты изучения физико-химических свойств воды и их роли в природных и биологических системах. Проведён анализ структуры молекулы воды, экспериментально продемонстрированы её ключевые характеристики – высокая теплоёмкость и избирательная растворяющая способность, а также оценено значение этих свойств для стабилизации окружающей среды и поддержания жизнедеятельности. Целью исследования являлась демонстрация фундаментальной значимости аномальных свойств воды, часто воспринимаемых как обыденные. Результаты подтверждают, что полярность молекулы H_2O , развитая система водородных связей и обусловленные ими физико-химические характеристики определяют незаменимую роль воды в физических, химических и биологических процессах [4, с. 15–30].

Ключевые слова: вода, физико-химические свойства, растворитель, теплоёмкость, структура молекулы, научные исследования, природные процессы.

Вода H_2O – одно из наиболее распространённых и биологически значимых веществ на Земле: она покрывает около 71% земной поверхности и участвует в глобальных круговоротах вещества и энергии. Несмотря на кажущуюся простоту состава, вода обладает рядом аномальных физико-химических свойств, нехарактерных для соединений аналогичного молекулярного веса. К таким аномалиям относятся высокая теплоёмкость, аномальное расширение при замерзании, высокое поверхностное натяжение и выраженная растворяющая способность [3, с. 45–52; 4, с. 50–75].

Перечисленные характеристики обусловлены особенностями строения молекулы воды и межмолекулярными взаимодействиями, прежде всего водородными связями [5, с. 112–115]. Данные свойства делают воду не только средой для протекания биохимических реакций, но и активным фактором, определяющим стабильность условий в экосистемах и живых организмах – от клеточного метаболизма до формирования климатических паттернов [2, с. 18–23; 8, с. 210–235].

Актуальность работы обусловлена необходимостью наглядной демонстрации этих закономерностей, а также популяризацией базовых физико-химических принципов, лежащих в основе биологической роли воды. Практическая значимость исследования состоит в воспроизводимости экспериментов и их пригодности для учебно-демонстрационных целей [1, с. 52–55].

Цель работы – изучить уникальные свойства воды, выявить структурно-функциональные связи, определяющие эти свойства, и экспериментально подтвердить их проявление в доступных условиях.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Проанализировать строение молекулы воды и характер межмолекулярных взаимодействий как основу её аномальных свойств [4, с. 35–60].
2. Описать ключевые физические свойства воды (теплоёмкость, плотность, поверхностное натяжение) и раскрыть их экологическое и физиологическое значение [3, с. 45–52].
3. Изучить поведение воды как полярного растворителя и объяснить избирательность её действия [6, с. 1–12; 8, с. 120–140].
4. Оценить роль воды в природных и физиологических процессах [9, с. 45–60; 4, с. 180–200].
5. Провести экспериментальную проверку основных свойств воды с использованием стандартного учебного и бытового оборудования (рис. 1, 2) [1, с. 52–55].

Эксперименты выполнены в лабораторных и домашних условиях с применением мерной посуды, контактного термометра и стандартного нагревательного оборудования. Для минимизации внешних влияний соблюдались стандартизированные условия: начальная температура жидкостей – 20°C, идентичные объёмы образцов, фиксированное расстояние от источника нагрева, контроль температуры окружающей среды.



Рис. 1. Стаканы с одинаковыми объёмами холодной воды и растительного масла



Рис. 2. Стаканы с растворёнными веществами

Основные методы исследования.

Сравнительный термический анализ: измерение температуры воды и растительного масла каждые 3 минуты в течение 30 минут при равномерном нагреве для демонстрации различий в теплоёмкости [6, с. 1–12].

Эксперимент по растворимости: наблюдение за поведением сахара, поваренной соли, растительного масла и песка в воде с фиксацией фазовых изменений, скорости растворения и формирования однородных либо неоднородных систем [8, с. 130–150].

Аналитическая интерпретация: сопоставление наблюдаемых эффектов с известными физико-химическими закономерностями (полярность молекул, водородные связи, энергия сольватации, правило «подобное растворяется в подобном») [4, с. 90–110; 7, с. 8–9].

Критериями оценки служили: темп роста температуры жидкостей, степень и скорость растворения веществ, формирование межфазных границ и осадков. Обработка данных включала сравнительный анализ и элементарные расчёты тепловых эффектов на основе справочных значений удельной теплоёмкости; статистическая обработка не применялась ввиду демонстрационного характера экспериментов [6, с. 1–12].

Эксперимент 1. Демонстрация высокой теплоёмкости воды. Высокая теплоёмкость воды проявляется в её способности поглощать значительное количество тепловой энергии при относительно небольшом повышении температуры. В эксперименте вода нагревалась существенно медленнее, чем растительное масло, что обусловлено затратами энергии на частичное разрушение водородных связей между молекулами H_2O перед увеличением их кинетической энергии [6, с. 1–12].

Удельная теплоёмкость воды составляет $c=4200$ Дж/(кг·°C), что примерно в 4 раза превышает аналогичный показатель для растительного масла. Это свойство имеет важное природное значение: водоёмы сглаживают температурные колебания, смягчают климат и обеспечивают термостабилизацию среды, а в живых организмах участвуют в механизмах терморегуляции [2, с. 18–23; 3, с. 45–52; 7, с. 8–9].

Таблица 1

Температура нагревания воды и масла

Время, мин	Температура воды, °C	Температура масла, °C
0	20	20
3	22	28
6	24	35
9	26	41
12	28	46
15	30	50
18	32	53
21	34	55
24	36	57
27	38	58
30	40	59

Наблюдаемая динамика подтверждает, что при одинаковых условиях теплового воздействия вода сохраняет более низкую температуру в течение длительного времени, тогда как масло быстро прогревается [6, с. 1–4].

Эксперимент 2. Избирательная растворяющая способность воды. Вода как полярный растворитель демонстрирует избирательное взаимодействие с различными веществами. Принцип «подобное растворяется в подобном» объясняет способность воды эффективно сольватировать полярные и ионные соединения [8, с. 135–145; 2, с. 18–23].

Наблюдаемые эффекты:

- сахар и поваренная соль растворяются с образованием прозрачных гомогенных растворов;
- растительное масло не смешивается с водой и формирует отдельную фазу (верхний слой);
- песок не растворяется, образует взвесь и затем оседает на дно под действием силы тяжести.

Избирательность воды обусловлена полярностью её молекул и способностью к сольватации: диполи воды окружают ионы и полярные фрагменты растворённого вещества, компенсируя энергию кристаллической решётки или межмолекулярные силы. Для неполярных веществ (например, масла) энергия сольватации недостаточна, поэтому растворение не происходит. Нерастворимые твёрдые частицы (песок) не образуют устойчивых дисперсий и выпадают в осадок [4, с. 95–105]. Эти закономерности лежат в основе множества природных и биологических процессов – от транспорта питательных веществ в клетках до формирования атмосферных явлений [9, с. 70–90].

Проведённое исследование подтвердило, что уникальные свойства воды – высокая теплоёмкость, избирательная растворяющая способность, аномальное поведение при фазовых переходах и выраженное поверхностное натяжение – обусловлены полярностью молекулы H_2O и развитой системой водородных связей [3, с. 45–52]. Эти характеристики обеспечивают воде фундаментальную роль в стабилизации физико-химических условий биосферы, в поддержании гомеостаза живых организмов и в реализации ключевых биохимических процессов [4, с. 200–250; 8, с. 220–240]. Полученные экспериментальные данные согласуются с общепринятыми физико-химическими представлениями и наглядно демонстрируют значимость воды как основы жизни и регулятора природных процессов [1, с. 52–55; 6, с. 1–12].

Список литературы

1. Гудасова А.Э. Удивительные свойства воды / А.Э. Гудасова, Г.В. Михальцевич // Юный учёный. – 2023. – №2 (65). – С. 52–55. EDN MHWVOT
2. Влияние агрономической биофортификации на биохимические показатели гороха / И.А. Добросмыслова, Т.Г. Константинова, Ю.Р. Максимова, А.П. Журавлёв // Вестник Чувашского государственного аграрного университета. – 2024. – №1 (28). – С. 18–23. – DOI: 10.48612/vch/4pbu-pzat-xfbt. – EDN RMLRNH
3. Козлов Д.С. Аномальная плотность воды: фундаментальные аспекты и прикладное значение / Д.С. Козлов, Л.М. Иванова // Физико-химические процессы. – 2022. – №3. – С. 45–52.
4. Лебедев Р.В. Вода: от молекулы до глобальных процессов / Р.В. Лебедев. – М.: Интеллект, 2019. – 296 с.
5. Морозова Н.П. Структурированная вода в биологических системах / Н.П. Морозова, О.В. Кузнецов // Материалы Всероссийской научной конференции «Современные проблемы биологии и экологии» (Санкт-Петербург, 15–17 мая 2023 г.). – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2023. – С. 112–115.
6. Приданов В.Г. Термодинамические свойства воды в интервале температур 0–100°C и давлений 1–9 кбар / В.Г. Приданов, В.И. Хоничев // Журнал физической химии. – 2021. – Т. 95, №1. – С. 1–12. DOI 10.31857/S0044453721010234. EDN ADORHK
7. Семенова О.С. Биологическая очистка сточных вод / О.С. Семенова, И.В. Добросмыслова // Региональная научная студенческая конференция: сборник трудов XLIV научной студенческой конференции по гуманитарным, естественным и техническим наукам Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова: кафедра охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов. – 2010. – С. 8–9. – EDN QHOQGV. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49268500> (дата обращения: 04.07.2026).
8. Смирнов И.А. Уникальные свойства воды и их значение / И.А. Смирнов. – М.: Научный мир, 2018. – 380 с.
9. Шишелова Т.И. Перспективы и направления в исследовании воды / Т.И. Шишелова. – М.: Академия Естествознания, 2014. – 128 с. EDN TJNSQT

Хорохордина Елена Алексеевна

канд. хим. наук, доцент

Краснов Артём Александрович

студент

Аникин Дмитрий Андреевич

студент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

г. Воронеж, Воронежская область

ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГОРЕНИЯ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ И БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СНИЖЕНИЮ ИХ ОПАСНОСТИ

Аннотация: в статье рассмотрены биоэкологические риски, связанные с термической деструкцией древесно-стружечных плит (ДСП) в условиях пожара. В этом микрообзоре особое внимание уделено анализу эмиссии высокотоксичных ксенобиотиков (циановодород, изоцианаты, формальдегид), образующихся при пиролизе карбамидоформальдегидных смол. С позиций современной биотехнологии проведен критический обзор традиционных синтетических антипиренов и предложены альтернативные пути снижения пожарной опасности за счет использования экологически безопасных биоразлагаемых связующих и биогенных антипирецирующих добавок (фитаты, системы на основе хитозана и ДНК). Показано, что внедрение принципов «зеленой» химии позволяет не только снизить класс токсичности продуктов горения с Т4 до Т1-Т2, но и минимизирует нагрузку на экосистемы при утилизации материала.

Ключевые слова: древесно-стружечная плита, экотоксикология, циановодород, ксенобиотики, биотехнология, фитаты, хитозан, ДНК-антипирены, «зеленые» связующие, огнезащита, биоразложение.

ДСП остаются одним из самых массовых материалов антропогенной среды, объем их производства в РФ превышает 8 млн м³ ежегодно [1, с. 36]. Традиционно пожарная опасность ДСП рассматривается через призму строительных рисков (горючесть, распространение пламени). Однако в контексте биоэкологии не меньшую угрозу представляет химическая трансформация компонентов плиты при пожаре в высокотоксичные поллютанты, а также накопление небiorазлагаемого углеродистого остатка после сгорания синтетических смол.

Целью настоящей работы является анализ экотоксикологической опасности продуктов горения ДСП и систематизация современных биотехнологических подходов, направленных на создание экологически нейтральных систем огнезащиты.

Основу ДСП составляет органический наполнитель (древесная стружка, 80–90%) и синтетическое связующее (карбамидоформальдегидные или фенолоформальдегидные смолы, 10–15%) [2, с. 211]. Если пиролиз нативной древесины сопровождается выделением традиционных продуктов (оксиды углерода, альдегиды, фенолы), то наличие азотсодержащих смол приводит к образованию крайне опасных ксенобиотиков. Исследования термолиза карбамидоформальдегидного связующего показали, что уже при 140 °С начинается деструкция с выделением формальдегида, а в диапазоне 300–500 °С в газовой фазе идентифицируются циановодород (HCN) и изоцианаты [3, с. 80]. Индекс токсичности продуктов горения ДСП, определяемый по ГОСТ 12.1.044–89, составляет 35–65 г/м³, что соответствует классу опасности Т4 («чрезвычайно опасные») [4, с. 20]. В замкнутом объеме помещения концентрация 0,5–1,0 мг/л приводит к необратимой гибели лабораторных животных в течение 10–15 минут, что сопоставимо с боевыми отравляющими веществами удушающего действия.

С экологической точки зрения, данные токсиканты, попадая в атмосферу при пожарах, подвергаются фотохимическим превращениям, выпадают с осадками и загрязняют почвенный покров, подавляя микробиоту.

Традиционные методы снижения горючести (пропитка фосфатами и боратами аммония, галогенсодержащие антипирены) решают строительную задачу, но создают экологическую проблему на этапе утилизации. Полибромированные дифениловые эфиры, ранее широко применявшиеся как антипирены, признаны стойкими органическими загрязнителями и запрещены Стокгольмской конвенцией [5].

Современная биотехнология предлагает альтернативу – использование биомиметических подходов и возобновляемого сырья для создания безгалогенных огнезащитных систем. Анализ публикаций позволяет выделить три перспективных направления.

Первое направление – использование биогенных полиэлектролитов, в частности дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) и хитозана. Исследования группы Маллука (J. Alongi, G. Malucelli) показали, что ДНК, нанесенная на целлюлозосодержащие ткани, при нагревании дегидратирует с образованием фосфорной кислоты, катализируя коксообразование, а выделяющийся азотсодержащий газ (аммиак) способствует вспучиванию защитного слоя [6, с. 4780]. Экстраполяция этого метода на древесные плиты позволяет полностью исключить токсичные галогены.

Второе направление – замена синтетического связующего. Биотехнология позволяет синтезировать адгезивы на основе лигносульфонатов, танинов и белковых гидролизатов. Показано, что плиты, склеенные соевым изолятом, модифицированным фурфуроловым спиртом, при горении выделяют в 3–4 раза меньше циановодорода, так как источник азота в них представлен аминокислотами, а не азометиновыми группами формальдегидных смол [7, с. 2032]. При этом микробиологическая деструкция таких «зеленых» плит после окончания срока службы ускоряется на порядок.

Третье направление – введение в структуру плиты природных антипиренов растительного происхождения, таких как фитиновая кислота и её соли (фитаты). Фитаты содержат до 28% фосфора и способствуют образованию стабильного углеродистого слоя при горении.

В работе [8, с. 97] продемонстрировано, что добавление 5% фитата натрия в связующее на основе танина позволяет перевести материал в категорию трудногорючих, при этом по параметрам экотоксичности зола (биотестирование на *Daphnia magna*) остаток от сгорания нетоксичен и не требует спецзахоронения.

Таким образом, анализ показывает, что интеграция принципов «зеленой» химии и биотехнологии в производство ДСП позволяет решить двудеиную задачу: снизить пожарную опасность конструкций и минимизировать биоэкологический ущерб от эмиссии стойких высокотоксичных ксенобиотиков и от отходов огнезащитных составов. Перспективным видится создание «умных» самозатухающих плит, полностью построенных на компонентах растительного происхождения и биополимерах.

Список литературы

1. Леонтьев А.С. Анализ рынка древесно-стружечных плит в РФ: тенденции и перспективы / А.С. Леонтьев // Деревообрабатывающая промышленность. – 2024. – №2. – С. 34–39.
2. Морозов Е.В. Химия и технология древесных плит: учеб. пособие / Е.В. Морозов, И.С. Гусев. – СПб.: Лань, 2021. – 256 с.
3. Шебеко Ю.Н. Токсичность продуктов горения полимерных материалов на основе азотсодержащих смол / Ю.Н. Шебеко, В.Ю. Навцена // Пожарная безопасность. – 2021. – №3 (104). – С. 73–81.
4. Захаров А.В. Исследование критических тепловых потоков воспламенения древесно-стружечных плит / А.В. Захаров, П.И. Никитин // Технологии техносферной безопасности. – 2023. – №2 (96). – С. 18–27.
5. Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях (СОЗ). Приложение А (поправки, принятые в 2019 г.). – ООН, 2019. – URL: <http://chm.pops.int> (дата обращения: 15.05.2026).
6. Alongi J. DNA: a novel, green, natural flame retardant and suppressant for cotton / J. Alongi, R.A. Carletto, A. Di Blasio // Journal of Materials Chemistry A. – 2013. – Vol. 1, No. 15. – P. 4779–4785.
7. Pizzi A. Recent developments in eco-efficient bio-based adhesives for wood bonding / A. Pizzi // Journal of Adhesion Science and Technology. – 2019. – Vol. 33, No. 18. – P. 2019–2041.
8. Costes L. Phytic acid as a bio-based phosphorus flame retardant for poly(lactic acid) nonwoven fabric / L. Costes, F. Laoutid, S. Brohez // Polymer Degradation and Stability. – 2017. – Vol. 145. – P. 93–101.

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИН ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОГО ЦИКЛА

Ахмедова Феруза Афиговна
студентка

Истомина Елена Юрьевна
канд. биол. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный
педагогический университет им. И.Н. Ульянова»
г. Ульяновск, Ульяновская область

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ОБУЧЕНИИ БИОЛОГИИ

Аннотация: в статье приведён анализ интерактивных образовательных технологий, которые используются при обучении биологии в школьном курсе. Указаны темы уроков, на которых можно применять те или иные информативные технологии. Сделан акцент на отечественных разработках: образовательная платформа «Российская электронная школа», «Учи.ру», платформа для создания интерактивных учебных материалов Joyteka, портал «Вся биология».

Ключевые слова: интерактивные технологии, уроки биологии, виртуальные лаборатории, симуляции, игровые платформы, тренажёры, справочные ресурсы, проектная деятельность.

Современное образование переживает этап изменений, при котором происходит смещение акцента с традиционной предметной модели в сторону интегративных методов обучения. Биология как предмет обладает огромным потенциалом для применения наглядных, практических и исследовательских методов обучения. К сожалению, не всегда можно реализовать эти возможности из-за нехватки времени и оснащённость учебных заведений. Анализ информационно-коммуникационных технологий как инструмента для преодоления выявленных ограничений в преподавании естественных наук набирает популярность в последние годы [2].

Интерактивные технологии открывают новые возможности для организации учебного процесса. В связи с этим нами была предпринята попытка проведения обзора наиболее доступных и методически ценных веб-сайтов, которые учитель может использовать на уроках биологии для повышения интереса у школьников.

По назначению мы разделили интерактивные ресурсы на 4 группы: виртуальные лаборатории и симуляции, игровые платформы и тренажёры, справочные ресурсы, проектная деятельность.

Виртуальные лаборатории и симуляции можно использовать для проведения экспериментов, которые сложно провести в кабинете биологии или сложно визуализировать. Довольно интересным проектом является PhET Interactive Simulations Университета Колорадо [10]. Для уроков биологии особенно полезны симуляции «Эволюция», «Естественный отбор», «Экспрессия генов», «Фотосинтез», «Строение нейрона». Ученик может в реальном времени изменять параметры среды, наблюдать за изменением частот аллелей или собирать молекулярные комплексы, что формирует глубокое понимание механизмов процессов.

Отечественным аналогом является платформа «Российская электронная школа» [3]. Здесь представлены интерактивные уроки и лабораторные работы по всем темам курса биологии с 5 по 11 класс, полностью соответствующие ФГОС.

Исследования М. Папастергиу доказывают, что корректно спроектированная учебная игра не просто развлекает, но и значительно повышает академические результаты, особенно у

учащихся с исходно низкой мотивацией [9]. Платформа Quizizz демонстрирует пример реализации такого игрового подхода в образовании [11]. Предоставляется функционал для разработки интерактивных викторин с элементами соревнования. Обучающиеся, подключившись со смартфонов, отвечают на вопросы, выводимые на центральный дисплей. Рейтинговая таблица корректируется после каждого игрового раунда.

Особого внимания заслуживают отечественные разработки для создания интерактивных учебных материалов Joyteka [8], предоставляющая комплексный инструментальный для разработки образовательных игр. Эта система позволяет создавать разнообразные интерактивные форматы, включая веб-квесты, видео с встроенными вопросами, викторины и игру на закрепление терминологии. К примеру, при освоении темы «Основы генетики» учитель может разработать сценарий квест-комнаты, где для дальнейшего продвижения ученикам необходимо будет решить задачи, касающиеся моногибридного скрещивания. Аналогично, при просмотре видеоматериала, иллюстрирующего процесс митоза, учащиеся будут сталкиваться с контрольными вопросами, которые не позволят продолжить просмотр без корректного ответа.

Схожий функционал предлагает платформа CoreApp [6], представляющая собой конструктор интерактивных рабочих листов с функцией автоматической проверки. В отличие от Joyteka, которая делает упор на игровые элементы, CoreApp фокусируется на организации структурированной самостоятельной деятельности. Педагог формирует рабочий лист, включающий теоретический раздел (текст, иллюстрации, видео) и набор заданий различных форматов: тесты с множественным выбором, упражнения на сопоставление, заполнение пропусков и классификацию. К примеру, при изучении «Систематики растений» учитель может включить в лист изображения растений, а ученики должны будут распределить их по соответствующим семействам. Система оперативно сигнализирует об ошибках и выводит итоговый результат. CoreApp также предоставляет возможность мониторинга успеваемости каждого учащегося через личный кабинет, что помогает выявлять распространенные трудности.

«Учи.ру» также имеет элементы геймификации и тренажёры [4]. Обеспечивает полное погружение в тему посредством интерактивных карточек, соответствующих ФГОС [5]. Курс биологии для 5–11 классов выделяется адаптивным алгоритмом, подстраивающим сложность под ученика, и наглядными анимированными схемами (например, движение цитоплазмы, рефлекторная дуга). Учителя получают детальную статистику затруднений для точечной коррекции, а назначение модулей на дом с автопроверкой экономит время урока. Игровая механика и мгновенное поощрение особенно эффективны для слабоуспевающих.

Интерактивность проникает даже в традиционные онлайн-энциклопедии. Показательным примером служит портал «Вся биология» (sbio.info) – русскоязычный научно-образовательный ресурс широкого профиля [1]. Его дидактическая ценность для учителя заключается в сочетании трех компонентов: структурированных теоретических материалов по ботанике, зоологии, анатомии и общей биологии, написанных доступным языком; интерактивных анимированных моделей (например, сердечный цикл, механизм вдоха и выдоха), которые можно демонстрировать фронтально вместо статичных таблиц; банка тестовых заданий для самопроверки, которые учащиеся могут проходить в классе или дома.

Помощником в организации проектной деятельности может стать платформа iNaturalist [7]. Учащиеся с помощью мобильного приложения фотографируют живые организмы, алгоритм предлагает видовую идентификацию, а сообщество экспертов подтверждает или корректирует определение. Педагог может создавать закрытые проекты класса, например, «Биоразнообразие пришкольной территории». Такой подход развивает навыки наблюдения, систематики и формирует экологическое сознание.

Таким образом, применение интерактивных веб-сайтов и приложений обогащает образовательную среду по биологии. Виртуальные лаборатории компенсируют нехватку оснащения, геймифицированные сервисы мотивируют учащихся, а конструкторы рабочих листов обеспечивают эффективную самостоятельную работу с мгновенной обратной связью.

Дальнейшие шаги в данном направлении будут направлены на разработку банка инструкционных карт и предметных шаблонов для интерактивных образовательных платформ.

Список литературы

1. Вся биология. Интерактивные модели и тесты. – URL: <https://sbio.info/> (дата обращения: 30.04.2026).
2. Костоева З.М. Информационно-коммуникационные технологии на уроках биологии / З.М. Костоева // Просвещение и познание. – 2021. – №3 (3). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionno-kommunikatsionnye-tehnologii-na-urokah-biologii> (дата обращения: 28.04.2026).
3. Российская электронная школа. Интерактивные уроки и виртуальные лаборатории. – URL: <https://resh.edu.ru/> (дата обращения: 30.04.2026).
4. Учи.ру. Интерактивная образовательная платформа. – URL: <https://uchi.ru/> (дата обращения: 30.04.2026).
5. Федеральный государственный образовательный стандарт основного общего образования: утверждён Приказом Минпросвещения №287 от 31.05.2021. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/401333920/> (дата обращения: 30.04.2026).
6. CoreApp. Платформа для создания интерактивных рабочих листов. – URL: <https://coreapp.ai/> (дата обращения: 01.05.2026).
7. iNaturalist. – California Academy of Sciences & National Geographic Society. – URL: <https://www.inaturalist.org/> (дата обращения: 15.05.2026).
8. Joyteka. Образовательная платформа для создания интерактивных уроков. – URL: <https://joyteka.com/ru> (дата обращения: 10.05.2026).
9. Papastergiou M. Digital Game-Based Learning in high school Biology education / M. Papastergiou // Journal of Science Education and Technology. – 2009. – Vol. 18, No. 6. – P. 525–538.
10. PhET Interactive Simulations. – University of Colorado Boulder. – URL: <https://phet.colorado.edu/> (дата обращения: 20.05.2026).
11. Quizizz. Interactive learning platform. – URL: <https://quizizz.com/> (дата обращения: 20.05.2026).

Ахмедова Феруза Афиговна

студентка

Истомина Елена Юрьевна

канд. биол. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный
педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

г. Ульяновск, Ульяновская область

РАЗВИТИЕ НАВЫКОВ SOFT SKILLS У ШКОЛЬНИКОВ НА УРОКАХ БИОЛОГИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ РАЗДЕЛА «ЗООЛОГИЯ»

Аннотация: в статье приводится обоснование применения технологии *soft skills* в школьном обучении биологии. Рассматриваются варианты использования модели «4К» на уроках биологии в 8 классе для развития критического мышления, коммуникации, кооперации, креативности школьников. Приведены приёмы (дебаты, пресс-конференция, групповая проектная работа, биомимикрия) формирования данных навыков на примере раздела «Зоология» для новой линейки учебников биологии.

Ключевые слова: технология *soft skills*, модель «4К», школьное образование, уроки биологии.

В настоящее время происходят кардинальные изменения в системе образования, связанные с отказом от традиционной передачи знаний в пользу развития компетенций и учета индивидуальных особенностей учащихся. Трансляция предметных знаний (*hard skills*) смещается новой технологией развития «гибких навыков» (*soft skills*) – комплекс надпрофессиональных компетенций, включающий критическое мышление, коммуникацию, кооперацию, креативность и самоорганизацию [3]. Несмотря на общепризнанную значимость *soft skills*, в школьной образовательной практике наблюдается развитие этих навыков преимущественно

на дисциплинах гуманитарного направления через внеурочную деятельность и курсам по выбору.

Согласно прогнозам Всемирного экономического форума, именно модель «гибких навыков» войдёт в число наиболее востребованных к концу текущего десятилетия. В современной школе наблюдается тенденция интеграции технологии soft skills в процесс преподавания дисциплин различных направлений, в том числе и естественно-научных. Существующая практика преподавания биологии в школе ориентирована преимущественно на запоминание и воспроизведение большого объёма фактологического материала (классификация, строение, физиологические процессы), тогда как потенциал биологии как науки о живых системах, характеризующихся вариативностью, многофакторностью и альтернативностью объяснений, для развития soft skills остаётся практически нереализованным. Однако, работа с биологическими объектами требует системного анализа, установления причинно-следственных связей, решения вероятностных задач (например, в генетике), аргументации в дискуссиях на биоэтические темы и коллективного выполнения лабораторных исследований, что и является обоснованием для применения soft skills.

Анализ педагогической литературы и существующих рабочих программ показывает на недостаточную разработанность методического инструментария по целенаправленному формированию soft skills именно в рамках урочной деятельности по биологии. Для дисциплин естественнонаучного цикла систематизированные учебно-методические рекомендации практически отсутствуют [7]. Существующие исследования описывают метапредметные результаты в общем виде, не конкретизируя, какие именно биологические темы и типы заданий оптимальны для тренировки каждой группы гибких навыков.

В этой связи возникает противоречие между объективной потребностью в развитии гибких навыков обучающихся и отсутствием адаптированных моделей их интеграции в содержание и организационные формы уроков биологии. Исходя из этого нами была предпринята попытка разработать и представить примеры заданий для развития навыков soft skills при изучении раздела «Зоология» в 8 классе на уроках биологии.

В качестве теоретической базы была использована модель «4К» (критическое мышление, коммуникация, кооперация, креативность), которая соответствует современным мировым образовательным тенденциям (по данным WEF, 2023) [8] и отражена в российских Федеральных государственных образовательных стандартах (ФГОС) как метапредметные результаты [6], а также обладает готовыми методами диагностики.

Первым компонентом модели «4К» является критическое мышление. Этот навык представляет умение анализировать информацию используя логику и доказательства, проверять на достоверность и находить противоречия, а затем формулировать самостоятельные обоснования и выводы [5]. У школьников задействованы и активизируются такие мыслительные процессы, как анализ, синтез, сравнение, обобщение и абстрагирование. Для развития мышления на уроках биологии можно применять следующие приемы:

1) Анализ псевдонаучных и научно-популярных текстов, где учитель предъявляет два текста на одну тему – один из рецензируемого научного журнала, другой из популярного блога или газеты, – и ставит задачу найти признаки ненаучного текста.

2) Методика «толстых и тонких вопросов» предполагает, что первые (содержащие слова кто, что, когда, где) служат для проверки усвоения фактов, тогда как вторые (начинающиеся с почему, что если, в чём разница) стимулируют аналитическое мышление и рефлексивные процессы.

3) Анализ причинно-следственных связей с намеренно пропущенными звеньями: учащимся предоставляется описание процесса, в котором отсутствует одно или несколько логических звеньев, и от них требуется восстановить полную цепочку рассуждений.

4) Дебаты, в частности в формате Карла Поппера: команды последовательно формулируют тезисы, приводят обоснования, задают друг другу вопросы и отвечают на них, при этом обязательным условием является наличие ссылок на источники [4]. Таким примером

может служить проведение дебатов по теме «Домашние животные» в главе 8 «Животные и человек» [2] для учеников 8 класса, занимающих по времени 15 минут урока.

Класс делится на команды и готовит соответствующие аргументы позиций «за» или «против». Пример ответов учеников приведены в таблице 1.

Таблица 1

Примерные варианты аргументов школьников
в дебатах «Право на одомашнивание»

Аргументы «за»	Аргументы «против»
одомашнивание обеспечило человечество пищей	одомашнивание – форма эксплуатации
домашние животные – компаньоны	утрата генетического разнообразия
селекция позволила сохранить слабых особей	страдания животных на фермах

По итогам дискуссии каждый должен письменно ответить на вопрос: «Какая из представленных точек зрения оказалась более убедительной и в чём именно её сила?».

В ходе дебатов развиваются навыки построения аргументации, активного слушания оппонента и формирование обоснованных выводов.

Вторым компонентом модели «4К» является коммуникация, которая представляет собой умение грамотно воспринимать, передавать и понимать информацию в ходе общения с собеседниками. Включает не только умение говорить, но и умение слушать, задавать уточняющие вопросы, перефразировать для проверки понимания, аргументировать свою позицию и учитывать позицию собеседника [6]. Для развития коммуникации чаще всего используются следующие приемы: ролевые игры с противоречивыми интересами; парный пересказ с проверкой; технику «Три предложения»; научную дискуссию с фиксацией реплик.

Примером использования приёма на развитие коммуникации является ролевая игра «Пресс-конференция по Красной книги». Проводится в 8 классе в рамках урока по теме «Воздействие человека на животных» и рассчитана на 20 минут. Учитель заранее распределяет роли (представитель Минприроды, зоолог, предприниматель, журналист, эколог-активист) и соответствующие задания. Журналист задаёт последовательно острые, провокационные вопросы каждому из участников. В финале команда голосует за наиболее убедительный ответ участника пресс-конференции.

В ходе данной ролевой игры формируются такие навыки, как умение строить аргументированную речь, выдерживать давление, учитывать различные точки зрения, что способствует развитию коммуникативных навыков.

Теснейшим образом с коммуникативным компонентом связана и кооперация – умение действовать сообща, чтобы достичь общей цели, при этом участники тесно связаны между собой, а не просто присутствуют рядом. Главное отличие от обычной групповой работы в том, что успех каждого члена напрямую зависит от успеха остальных, а итоговый результат становится возможным лишь при активном участии каждого [1]. Для развития кооперации можно применять следующие приёмы:

1) структурированные лабораторные работы, где фиксируются роли в группах при выполнении практических заданий. Роли циклически меняются, что гарантирует активное участие каждого и формирует зависимость общего успеха от качественного выполнения индивидуальных обязанностей;

2) проектная деятельность с распределением ответственности, где каждый участник отвечает за определенный блок работы;

3) конвейерный метод выполнения заданий. Последовательное выполнение каждым членом группы одного этапа работы, передавая результат следующему. Это наглядно демонстрирует взаимозависимость и важность каждого звена, как при подготовке микропрепарата;

4) обязательная рефлексия, завершение урока вопросами, направленными на анализ самого процесса сотрудничества, а не только на усвоенный материал.

Для школьников 8 классов нами применялась групповая проектная работа по теме «Антропогенное воздействие». Для этого учитель заранее готовит необходимые материалы для работы: ватман, картон, клей, карандаши, фломастеры, распечатки с описанием видов воздействия (охота и рыбалка, вырубка лесов, промышленное загрязнение, интродукция видов).

Класс делится на микрогруппы по 4–5 человек и распределяет роли между собой. Например, «эколог», «спикер», «картограф», «художник». Задача каждой микрогруппы сделать лэпбук, который будет отражать разные антропогенные воздействия человека на окружающую среду и живые организмы. Нужно представить классу свою работу. При этом формируются навыки эффективного делегирования задач, наглядного представления общих целей и результатов, а также система взаимной проверки и поддержки.

Не менее важным компонентом в модели «4К» является креативность – умение генерировать новые, оригинальные и подходящие для конкретной задачи идеи в рамках изучаемой дисциплины. Это дивергентное мышление, то есть способность находить множество решений там, где другие видят одно, устанавливать неочевидные связи, применять знания из разных сфер и предлагать подходы к решению проблем [4].

Для развития креативности можно применять следующие приёмы: мозговой штурм (участники в течение короткого времени (3–5 минут) генерируют как можно больше идей по заданной теме); биомимикрия (адаптация биологических принципов для создания технических решений, дизайна или архитектурных объектов); визуализация биологических концепций (представление биологической идеи в сжатой, образной и легко запоминающейся форме с помощью инфографики); моделирование альтернативной эволюции (участникам предлагаются условия вымышленной среды обитания, основываясь на реальных биологических законах, им необходимо сконструировать животное, способное выжить в таких условиях, обосновав его внешний вид, тип покровов, способ питания и размножения).

Примером приёма биомимикрии, направленного на развитие креативности и формирования навыков переноса биологических принципов в технику и генерации идеи изобретения, для школьников 8 классов, может служить следующее задание: выберите одну из карточек с животным (акуля кожа, клюв зимородка, горбатый кит, осьминог (присоски), паук (паутина), светлячок) и ответьте на вопросы.

1. Определите ключевые задачи, которые решает данный организм для своего существования, включая стратегии защиты, методы передвижения и т. д.

2. Опишите конкретное приспособление, которое обеспечивает выполнение этих задач.

3. Предложите идею устройства, которое могло бы решить похожую проблему для людей, используя тот же принцип, что и в природе.

Таким образом, использование технологии soft skills при изучении раздела «Человек и животные» в 8 классе на уроках биологии может реализовываться различными приёмами и способствует развитию универсальных навыков мышления, коммуникации, кооперации и креативности.

Список литературы

1. Анюшенкова О.Н. Кооперативное обучение как педагогический подход и стратегия преподавания и обучения в высшей школе / О.Н. Анюшенкова // Гуманитарные науки. Вестник Финансового университета. – 2022. – №51. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kooperativnoe-obuchenie-kak-pedagogicheskii-podhod-i-strategiya-prepodavaniya-i-obucheniya-v-vysshey-shkole> (дата обращения: 18.04.2026).

2. Биология: 8 класс: базовый уровень: учебник / В.В. Пасечник, С.В. Суматохие, З.Г. Гапонюк; под ред. В.В. Пасечника. – М.: Просвещение, 2023. – 272 с.

3. Груздева М.Л. Применение методики «4К» для формирования soft skills у обучающихся в рамках научно-методического сопровождения учителей технологического профиля / М.Л. Груздева, Ж.В. Смирнова // Мир науки. Педагогика и психология. – 2023. – №6. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-metodiki-4k-dlya-formirovaniya-soft-skills-u-obuchayushchih-sya-v-ramkah-nauchno-metodicheskogo-soprovozhdeniya-uchiteley> (дата обращения: 22.04.2026). EDN OQSFV

4. Гилфорд Дж. Три стороны интеллекта / Дж. Гилфорд // Психология мышления; под ред. А.М. Матюшкина. – М.: Прогресс, 1965. – С. 433–456.
5. Заир-Бек С.И. Развитие критического мышления на уроке / С.И. Заир-Бек, И.В. Муштавинская. – М.: Просвещение, 2011. – 223 с. EDN QYGNKL
6. Федеральный государственный образовательный стандарт основного общего образования: утверждён Приказом Минпросвещения №287 от 31.05.2021. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/401333920/> (дата обращения: 22.04.2026).
7. Хачатурьянц В.Е. Развитие soft skills у обучающихся при изучении биологии человека / В.Е. Хачатурьянц, А.В. Теремов // Наука и школа. – 2021. – №5. – С. 87–94.
8. World Economic Forum. Future of Jobs Report 2023. – Geneva: WEF, 2023. – 123 p.

Баруздина Елена Сергеевна

канд. ветеринар. наук, доцент

Ошуркова Юлия Леонидовна

канд. биол. наук, доцент

Фомина Любовь Леонидовна

канд. биол. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Вологодская государственная
молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина»
г. Вологда, Вологодская область

АКТУАЛЬНОСТЬ И ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕРАКТИВНЫХ ПРАКТИКООРИЕНТИРОВАННЫХ ЗАДАНИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ПАТОЛОГИЧЕСКАЯ АНАТОМИЯ И СУДЕБНО-ВЕТЕРИНАРНАЯ ЭКСПЕРТИЗА» ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ВЕТЕРИНАРНЫХ ВРАЧЕЙ

Аннотация: в статье приведен вариант адаптации интерактивного практикоориентированного подхода для преподавания дисциплины «Патологическая анатомия и судебно-ветеринарная экспертиза» по специальности 36.05.01 «Ветеринария». Указана основная цель интерактивного подхода и раскрыты задачи, которые предполагается решить с помощью этой методики. Описаны этапы внедрения интерактивных практикоориентированных заданий в учебный процесс, а также представлена классификация специализированных заданий с примерами.

Ключевые слова: ветеринария, патологическая анатомия, преподавание, геймификация, кейс-стади.

В подготовке ветеринарного врача патологическая анатомия является фундаментальной дисциплиной, она формирует клиническое мышление, позволяя идентифицировать макро- и микроскопические изменения в органах при различных заболеваниях, понимать их этиологию и патогенез [5]. Традиционные лекционно-семинарские форматы часто не обеспечивают достаточной глубины погружения студента в тему, поэтому целью нашей работы стала адаптация интерактивного практикоориентированного подхода и разработка заданий для дисциплины «Патологическая анатомия и судебно-ветеринарная экспертиза» по специальности 36.05.01 «Ветеринария»

Основная цель интерактивного подхода – формирование у студента-ветеринара профессиональных компетенций, необходимых для практической деятельности [4]. Задачи, которые решают интерактивные задания:

- формирование клинического мышления: умение на основе макро- и микропрепаратов поставить предварительный диагноз, определить стадию патологического процесса и его вероятную причину;
- развитие навыков работы с патологическим материалом: отработка техники приготовления и окраски гистологических срезов, микроскопирования и фотофиксации результатов;

- закрепление теоретических знаний: перевод абстрактных понятий (дистрофия, некроз, воспаление) в плоскость конкретных морфологических картин;

- подготовка к реальной практике: моделирование ситуаций, с которыми ветеринарный врач столкнется при вскрытии трупов и постановке прижизненного патоморфологического диагноза.

Процесс внедрения интерактивных практикоориентированных заданий в учебный процесс состоит из четырех этапов:

- подготовительный этап. Разработка банка заданий: оцифровка препаратов для виртуальной микроскопии, составление банка клинических кейсов разной сложности, подготовка макропрепаратов;

- адаптация методики. Интерактивные задания не заменяют полностью лекции и семинары, а встраиваются в них. Например, после лекции о воспалении следует практическое занятие с виртуальным микроскопом для закрепления материала;

- Проведение занятия. Преподаватель выступает в роли модератора и консультанта, он не дает готовых ответов, а задает наводящие вопросы: «Что вы видите в этом поле зрения?», «Какая структура изменена?», «Какой функциональный элемент органа поражен?»;

- оценка результатов. Оценивается не только правильность ответа, но и ход мыслей студента, важным элементом является защита своей позиции – студент должен аргументированно доказать свой диагноз, ссылаясь на конкретные морфологические признаки [1; 5].

Интерактивные практикоориентированные задания по патологической анатомии можно классифицировать по типу деятельности и используемым технологиям.

1. Работа с реальными и виртуальными препаратами – это основа практикоориентированного подхода, сюда входит:

- микроскопические исследования. Студентам выдаются не просто готовые препараты с подписью, а «неподписанные» (слепые) срезы. Задача – самостоятельно, используя атласы и базы данных, идентифицировать патологический процесс (например, отличить гнойный экссудат от серозного или жировую дистрофию печени от амилоидоза);

- виртуальная микроскопия. Использование оцифрованных гистологических препаратов позволяет работать удаленно, проводить фронтальный опрос всей группы одновременно (преподаватель выводит изображение на общий экран), а также «нарезать» один большой препарат на множество участков для изучения деталей;

- макроскопические исследования (секционный курс). При проведении учебного вскрытия трупов вместо простого описания органов студентам ставится задача поставить диагноз по конкретному патологоанатомическому случаю. Например: «При вскрытии трупа собаки обнаружено, что печень увеличена, дряблой консистенции, глинистого цвета. Почки уменьшены, поверхность бугристая. Ваш предварительный диагноз?».

2. Задания по типу кейс-стади, виртуальное вскрытие (работа с цифровыми материалами). Этот формат идеально подходит для дистанционного обучения или в качестве подготовки к работе с реальным материалом [2].

Студенту предоставляется пакет материалов по одному случаю падежа животного, куда входит – история болезни (возраст, условия содержания, симптомы перед гибелью), серия качественных фотографий трупа целиком, а затем пошаговые фото вскрытия (внешний осмотр, разрезы органов, состояние полостей), а также текстовое описание одного-двух ключевых органов (например, печени или кишечника), сделанное преподавателем, но без указания патологии.

Задача студента – проанализировать весь путь болезни от первых симптомов до морфологических признаков, провести полный анализ патологоанатомического случая и составить протокол вскрытия. Здесь необходимо выделить несколько важных этапов, на каждом из которых можно остановиться подробнее:

- анамнез. На основе истории болезни предположить возможные причины болезни и оценить адекватность клинических диагнозов;

– наружный осмотр (по фото). Описать трупные изменения (трупное окоченение, трупные пятна, высыхание и пр.), состояние видимых слизистых оболочек, кожи и ее производных, наличие травм или паразитов;

– внутреннее исследование. По серии фотографий описать состояние – размер, форму и цвет паренхиматозных органов, состояние и содержимое трубчатых органов, а также описать обнаруженные патологические процессы;

– заключение. Составить полный патологоанатомический диагноз (перечисление всех найденных изменений) и заключение (причина смерти, связь с анамнезом).

Подобные задания, ко всему прочему, учат видеть связь между клиникой и патоморфологией, что немаловажно в реальной практике ветеринарного врача.

3. Проектная деятельность. Предполагает групповую работу над углубленным изучением конкретной патологии. Например – «патоморфологическая диагностика африканской чумы свиней» – студенты должны собрать информацию о возбудителе, патогенезе, а затем создать иллюстрированный атлас типичных макро- и микроскопических изменений для внутреннего использования на кафедре.

4. Геймификация. Это игровые варианты заданий, которые развивают у студентов коммуникативные навыки и умение (опираясь на факты) отстаивать свою точку зрения, формируют критическое мышление и внимание к деталям, повышают мотивацию и вовлеченность в учебный процесс [3]. Мы разработали три варианта заданий для изучения патологической анатомии.

1 вариант. Ролевая игра «Консилиум экспертов».

Группа студентов делится на роли и решает сложную диагностическую задачу с противоречивыми данными. Пример ролей – студент-патологоанатом (проводит вскрытие и представляет результаты), студент-клиницист (предоставляет историю болезни животного до падежа), студент-микробиолог (предоставляет результаты лабораторных исследований (бакпосевы, ПЦР), которые могут подтвердить или опровергнуть первичную гипотезу), ведущий (преподаватель) модерировать дискуссию [2].

Пример задачи – происходит падеж свиньи с признаками острой кишечной инфекции. При вскрытии патологоанатом видит признаки классической чумы свиней, но клиницист утверждает, что животное было вакцинировано и наблюдались лишь диарея и обезвоживание. Микробиолог находит в кишечнике высокую концентрацию сальмонеллы. Задача группы в ходе дискуссии прийти к единому заключению о причине смерти, объяснив все наблюдаемые изменения. Патологоанатом должен доказать, почему он считает основной причиной ту или иную патологию, используя данные от коллег.

2 вариант. Задание «Найди ошибку».

Преподаватель предоставляет студентам заранее подготовленные «дефектные» протоколы вскрытия или заключения (можно использовать реальные примеры из практики с измененными именами/датами). Типичные ошибки в материалах: описание органа противоречит поставленному диагнозу (например, описан геморрагический инфаркт почки, а в заключении указан поликистоз), пропущена важная деталь (например, не описаны брыжеечные лимфоузлы при подозрении на энтеротоксемию), заключение не связано с патологоанатомическим диагнозом.

Необходимо найти как можно больше логических, фактических и терминологических ошибок в представленном документе, аргументированно их прокомментировать и предложить свой вариант исправленного заключения. Анализ чужих ошибок помогает лучше запомнить правильный алгоритм действий.

3 вариант. Интерактивный квест «Расследование причин падежа».

Студенты выступают в роли работников ветслужбы, которые должны выявить причину падежа, к примеру на птицефабрике, где произошел массовый падеж птицы, а персонал подозревает отравление кормом. Этапы квеста:

- осмотр места происшествия. Студентам предоставляются фотографии птичника, кормушек, поилок. Нужно отметить потенциальные факторы риска;
- сбор улик. Доступ к результатам токсикологического анализа корма (наличие микотоксинов) и воды;
- экспертиза. Проведение виртуального вскрытия нескольких птиц. Студенты фиксируют характерные изменения (например, кровоизлияния в слизистой железистого желудка, некротический тифлит);
- итог. Необходимо написать заключение, где будет четко сформулирован окончательный диагноз (например, «отравление микотоксинами») и даны рекомендации по предотвращению подобных случаев в будущем.

В заключение необходимо отметить, что интерактивный практикоориентированный подход к преподаванию дисциплины «Патологическая анатомия и судебно-ветеринарная экспертиза» по специальности 36.05.01 «Ветеринария» имеет как преимущества, так и сложности. Высокая вовлеченность в учебу (студенты – активные участники процесса), глубокое понимание предмета (знания усваиваются через действие и решение проблем), объективность оценки (легче оценить реальные навыки студента, а не его способность заучивать), а также безопасность (виртуальная микроскопия позволяет изучать особо опасные инфекции без риска для здоровья) дают возможность уйти от пассивного заучивания терминов к активному применению знаний в смоделированных реальных ситуациях, что является главной целью преподавания патологической анатомии. Эти форматы позволяют сделать изучение сложной дисциплины более наглядным, вовлекающим и приближенным к реальным задачам практикующего ветеринарного врача. Тогда как ресурсоемкость (требуется дорогостоящее оборудование (сканеры для микроскопии) и время преподавателей на разработку материалов, необходимость постоянного обновления программного обеспечения и баз данных виртуальных препаратов) и необходимость методической подготовки (преподаватель должен владеть новыми педагогическими технологиями) может затруднять широкое внедрение интерактивных практикоориентированных заданий в учебный процесс.

Список литературы

1. Баруздина Е.С. Вариант обучения студентов методам дифференциальной диагностики в рамках курса патологической анатомии и судебно-ветеринарной экспертизы на примере реального патоморфологического случая / Е.С. Баруздина // Передовые достижения науки в молочной отрасли: сборник научных трудов по результатам работы VII Международной научно-практической конференции, посвященной дню рождения Николая Васильевича Верещагина (Вологда, 23 октября 2025 года). – Ч. 2. – Вологда: ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА, 2025. – С. 6–14. EDN FQCXJE
2. Баруздина Е.С. Современные аспекты преподавания дисциплины «Патологическая анатомия и судебно-ветеринарная экспертиза» по специальности «Ветеринария» в Вологодской ГМХА / Е. С. Баруздина // Передовые достижения науки в молочной отрасли (Вологда-Молочное, 28 октября 2021 года). – Т. 2. – Вологда-Молочное: Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина, 2021. – С. 3–6. EDN SWNLXI
3. Громова Н.С. Трансформация образования в аграрном секторе в условиях цифровизации / Н.С. Громова, А.С. Лылов // Агропродовольственная политика России. – 2023. – №5–6 (108). – С. 7–14. DOI 10.35524/2227-0280_2023_05-06_07. EDN JBZQND
4. Довбыш С.А. Современные образовательные технологии в высшей школе / С.А. Довбыш // Общество. Экономика. Культура: актуальные проблемы, практика решения: VII Международная научно-практическая конференция, Барнаул, 27 марта 2017 года. – Ч. 1. – Барнаул: Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики, 2017. – С. 250–253. EDN ZQQZNJ
5. Журов Д.О. Формирование и развитие клинического мышления у студентов ветеринарного вуза на занятиях по патологической анатомии / Д.О. Журов // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сборник научных трудов. – Т. 53. – Гродно: ГТАУ, 2021. – С. 49–55. EDN JMIQQR

КОГНИТИВНЫЕ И НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОСВОЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ТЕОРИЙ: ОТ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДО ТЕОРИИ КОГНИТИВНОЙ НАГРУЗКИ

Аннотация: в статье представлен междисциплинарный анализ когнитивных и нейрофизиологических механизмов, лежащих в основе освоения фундаментальных физических теорий. Проблематика исследования связана с необходимостью интеграции данных нейровизуализации и когнитивной психологии для разработки эффективных методик преподавания физики, учитывающих естественные ограничения человеческого мозга. Методологическую основу составил критический обзор зарубежных фМРТ-исследований, а также анализ теорий когнитивной нагрузки, «магического числа семь» и ментальных моделей. Результаты: выявлены ключевые мозговые структуры, обеспечивающие абстрактное и пространственное мышление при решении физических задач. Показано, что различные физические концепции кодируются различными паттернами нейронной активности, а успешное обучение требует подавления интуитивных стратегий и построения персонализированных ментальных моделей. Обоснована необходимость учёта когнитивных ограничений при разработке нейроориентированных методик преподавания физики. Статья адресована исследователям в области нейрофизиологии обучения, педагогам и психологам.

Ключевые слова: нейрофизиология, фМРТ, абстрактное мышление, пространственное мышление, когнитивная нагрузка, рабочая память, ментальные модели, нейроориентированные методики преподавания физики.

Нейрофизиологические корреляты абстрактного и пространственного мышления при решении физических задач.

Современные методы нейровизуализации, в частности функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ), позволяют исследовать мозговые механизмы, лежащие в основе сложных когнитивных процессов, таких как решение физических задач. Нейрофизика как междисциплинарная область объединяет физические методы измерения и анализа нервной активности с задачами когнитивной психологии и педагогики [1].

В контексте обучения физике ключевым становится вопрос: какие нейронные сети обеспечивают абстрактное оперирование физическими понятиями и пространственное моделирование физических ситуаций? Ответ на этот вопрос позволяет не только понять природу физического мышления, но и разработать нейроориентированные методики преподавания. С той целью рассмотрим результаты эмпирических фМРТ-исследований, выявляющих нейрофизиологические корреляты абстрактного и пространственного мышления при решении задач по механике, электродинамике и другим разделам физики.

ФМРТ-исследования решения физических задач. Одним из первых систематических исследований нейронных основ физического мышления стали работы Кевина Данбара и его коллег [6–8]. В экспериментах участникам предлагалось просматривать видеоролики с движущимися объектами (шарами, блоками) и интерпретировать их либо в рамках наивной физики (например, как обычные бильярдные шары), либо в рамках научной физики (как взаимодействие заряженных частиц или тела, подчиняющиеся законам Ньютона).

Результаты показали, что при наивной интерпретации активируются области правой теменной доли, связанные с перцептивной обработкой движения. При научной интерпретации тех же самых видеороликов активация переключалась на височные доли, участвующие в

семантической обработке, и на префронтальную кору, ответственную за категоризацию и аналогический перенос [6]. Данбар также обнаружил, что у экспертов-физиков при решении задач, требующих применения формальных законов, возникает дополнительная активация в передней поясной коре и дорсолатеральной префронтальной коре, что интерпретируется как механизм подавления интуитивных, но неверных перцептивных стратегий [7].

Значительный прогресс в понимании нейронных репрезентаций физических концепций достигнут в работах Роберта Мейсона и Марсела Джаста (Carnegie Mellon University). В исследовании 2016 года [17] участники (студенты инженерных специальностей) выполняли задания на мысленное сравнение физических величин (масса, импульс, энергия, центростремительная сила, частота и др.).

Используя метод мультивоксельного анализа паттернов (MVPA), авторы показали, что различные физические концепции кодируются различными паттернами активации в теменной, височной и префронтальной коре. Более того, была выявлена общая факторная структура, описывающая организацию физических знаний в мозге: каузальная визуализация движения, периодичность, алгебраическая форма и поток энергии. Точность декодирования конкретной концепции по фМРТ-паттернам достигла 75% [17].

В последующих работах [19; 20] Мейсон и Джаст показали, что относительно новые для эволюции человека физические понятия (например, «частота» или «электрическое поле») «укосятся» в филогенетически древних системах мозга: так, репрезентация частоты использует те же нейронные сети, что и обработка нарастания и спада звука. В 2018 году эта исследовательская группа получила грант NSF на лонгитюдное изучение того, как нейронные репрезентации физических концепций изменяются у студентов в течение одного семестра обучения физике [5].

Исследование, выполненное под руководством Эрика Бреве (Drexel University) [3; 4], стало одним из первых, где фМРТ использовалось для оценки изменений в мозге студентов до и после прохождения курса физики, построенного на методике моделирования (Modeling Instruction).

При решении физических задач до обучения у студентов наблюдалась активация в дорсолатеральной префронтальной коре и теменной коре – областях, образующих центральную исполнительную сеть, связанную с вниманием и рабочей памятью. После семестра активного обучения дополнительно, кроме этих областей, наблюдались активация в фронтальных полюсах, которые связаны с интеграцией информации, а также в задней части поясной коры, которая участвует в эпизодической памяти и самореферентном мышлении [4].

Анализируя и интерпретируя результаты проведенных исследований, авторы пришли к выводу, что глубокое понимание физики требует построения персонализированных ментальных моделей, возможно, при необходимости, включающих элементы личного опыта. Простое алгоритмическое применение формул не формирует должным образом понятийный аппарат.

Особый интерес вызывает ряд работ, посвященных нейронным основам интуитивной физики. Под интуитивной физикой понимается способность быстро оценивать динамику объектов, например, по какой траектории будет двигаться мяч или насколько устойчива та или иная конструкция. Джейсон Фишер и Нэнси Канвишер в своем исследовании в 2016 в Массачусетском технологическом институте идентифицировали с помощью фМРТ кортикальные области, такие как верхняя теменная доля, внутритеменная борозда, а также премоторная кора. Они селективно активировались при решении задач на интуитивную физику [10]. Авторы предположили, что эти области реализуют своего рода «движок интуитивной физики» (physics engine), который моделирует поведение объектов на основе неявных знаний о законах механики.

Хотя основные работы Роланда Грабнера касаются математического мышления, его выводы о роли теменной коры и фронтальных областей при решении арифметических и

алгебраических задач непосредственно релевантны для физики [12; 13]. Грабнер и соавторы показали, что левая угловая извилина (left angular gyrus) критически вовлечена в извлечение фактов из долговременной памяти – процесса, необходимого при применении физических формул. Кроме того, в совместных исследованиях с Андреасом Финком было установлено, что творческое решение задач, в отличие от алгоритмического, активирует дополнительные области правого полушария, включая переднюю верхнюю височную извилину [9].

Нейрофизиологические корреляты абстрактного мышления в физике. Под абстрактным мышлением в физике понимается способность оперировать понятиями, которые не имеют непосредственного перцептивного эквивалента (потенциал, поле, энергия, энтропия), а также способность выводить следствия из общих законов и применять их в конкретных ситуациях. Нейрофизиологические исследования выявляют несколько ключевых структур, обеспечивающих эту способность.

Первая и наиболее часто активируемая область – дорсолатеральная префронтальная кора (DLPFC). Она участвует в рабочей памяти, планировании, аналогическом переносе и категоризации. В работах Данбара [6, 7] показано, что DLPFC активируется, когда студент должен распознать, что некоторая ситуация (например, движение магнита) подпадает под действие закона сохранения энергии, даже если внешне она не похожа на стандартные примеры из учебника. Подавление интуитивных, но ошибочных ответов также связано с активностью DLPFC и передней поясной коры [11].

Вторая ключевая область – теменная кора, особенно внутритеменная борозда (IPS) и угловая извилина. В исследовании Мейсона и Джаста [17] паттерны активации в IPS различались для концепций «масса» и «сила», что говорит о дискретной нейронной репрезентации даже близких абстрактных величин. Угловая извилина левого полушария, как показано в мета-анализах [26], специфически связана с оперированием символическими представлениями (формулами, обозначениями). При решении задач по электродинамике (например, применение закона Кулона) именно угловая извилина демонстрирует устойчивую активацию [25].

Третья структура – передняя поясная кора (ACC), которая отвечает за мониторинг конфликтов и обнаружение ошибок. Она проявляет повышенную активность при решении физических задач, где интуитивный и научный ответы не коррелируют между собой, а иногда даже противоречат друг другу. В качестве простейшего примера можно привести задачу о падении тяжёлого и лёгкого шаров. Особенно активна ACC у обучающихся, способных успешно преодолеть интуицию и дать обоснованный с научной точки зрения ответ [8; 11].

Хамрик исследовал оценку массы объекта в разных контекстах: сжатие пружины, столкновение шаров, удержание блока на наклонной плоскости. В результате фМРТ анализ зафиксировал активацию одного и того же паттерна в теменной и префронтальной коре из чего следует вывод, что мозг оперирует абстрактной переменной «масса», а не просто визуальными или кинестетическими признаками. Исходя из этого важно подчеркнуть, что абстрактные физические переменные кодируются в мозге инвариантным образом и не зависят от конкретной визуальной сцены [14].

Нейрофизиологические корреляты пространственного мышления при решении физических задач. Пространственное мышление традиционно считается одним из предикторов успешности в физике и инженерных дисциплинах [28]. Оно включает мысленное вращение объектов, пространственную визуализацию траекторий, представление силовых линий и сечений трёхмерных тел. Нейрофизиологические исследования однозначно связывают пространственное мышление с активацией дорсального зрительного пути, особенно с верхней теменной долькой (SPL) и внутритеменной бороздой (IPS).

В экспериментах Фишера и Канвишер [10] при решении задач на устойчивость башен из блоков (что требует мысленного моделирования сил и моментов) наблюдалась устойчивая активация в SPL билатерально. Авторы также отметили вовлечение премоторной коры, что

указывает на связь между пространственным воображением и моторными программами действия – своего рода «мысленная симуляция» физического взаимодействия.

В контексте решения задач по механике, например, при определении траектории тела, брошенного под углом к горизонту, фМРТ-исследования [16] показывают активацию SPL, а также теменно-затылочной борозды. Интересно, что у студентов с высокими пространственными способностями активация в этих областях более фокусирована и менее интенсивна, что интерпретируется как более эффективное использование нейронных ресурсов [22].

С активацией теменных областей также связано пространственное мышление в электродинамике, например, при мысленном представлении силовых линий электрического поля или магнитных линий. В ходе проведения некоторого эксперимента участникам показывали изображения электрических диполей и просили определить направление силы. Активация в IPS и SPL была сопоставима с таковой при классических заданиях на мысленное вращение [25].

В пространственной обработке символической информации задействована левая теменная доля. Исследования, рассматривающие её роль при решении соответствующих задач, заслуживают особого внимания. При чтении графиков в кинематике, термодинамике и электродинамике или интерпретации векторных диаграмм фиксировалась активация угловой извилины, которая связывает визуально-пространственную информацию с семантическими категориями [24]. С точки зрения нейрофизиологии это обосновывает необходимость и подчеркивает важность обучения чтению и построению графиков в курсе физики.

Исходя из проведённого анализа фМРТ-исследований, можно выделить несколько основных нейрофизиологических коррелятов абстрактного и пространственного мышления, активирующихся при решении различных физических задач.

1. Дорсолатеральная префронтальная кора (DLPFC), которая отвечает за обеспечение категоризацию, аналогический перенос, рабочую память и подавление интуитивных стратегий.

2. Передняя поясная кора (ACC), участвующая в мониторинге конфликта между интуитивным и научным ответами.

3. Внутритеменная борозда (IPS) и верхняя теменная доля (SPL) осуществляют кодирование абстрактных физических переменных – физических величин, не имеющих прямой ассоциации с материальным миром. Кроме того, IPS и SPL участвуют в пространственном моделировании траекторий движения тел, представлении полей и линий действия сил.

4. Угловая извилина левого полушария (AG) отвечает за связь символических записей в виде буквенных обозначений или формул с пространственными и семантическими репрезентациями.

5. Премоторная кора задействована в реализации мысленной симуляции физических взаимодействий.

Физика как наука требует координации нескольких когнитивных сетей: исполнительной (префронтальной), пространственной (теменной) и семантической (височной) и процесс ее изучения нельзя свести к простому запоминанию формул. Анализ различных зарубежных исследований по данной теме это подтверждает. Выявленные нейрофизиологические закономерности являются основой для разработки диагностического инструментария для проведения нейрофизиологического исследования и в дальнейшем соответствующей методики преподавания физики.

Особенности освоения фундаментальных физических теорий как когнитивный процесс.

Общий ход учебного процесса так или иначе создает умственную нагрузку на обучающихся. В результате этого снижается их способность обрабатывать и запоминать новую информацию. На качество усвоения новых знаний, на способность применять их на практике и на то, насколько просто это даётся обучающимся влияет когнитивная нагрузка.

Джон Свеллер – специалист по психологии разработал теорию когнитивной нагрузки [27] (Cognitive load theory). Суть теории, объединяющей в себе образовательную и

психологическую сферы, заключается в утверждении, что для достижения качественного и оптимального усвоения изучаемого материала обучающимися необходимо рассчитать и грамотно распределить нагрузку на их оперативную память.

Рассматриваемая теория базируется на положениях когнитивной психологии. Ключевая роль в ней отводится схемам и памяти, которая подразделяется на оперативную (рабочую) и долговременную. Любое получаемое нами знание, первоначально проходит через локусы мозга, отвечающие за оперативную память [2].

Рабочая память обрабатывает и удерживает информацию, которая поступает извне. В процессе временного хранения оперативная память систематизирует, организует, сравнивает и сопоставляет данные. Именно поэтому её пропускная способность ограничена.

Применительно к процессу преподавания нужно учитывать, что обучающийся в состоянии качественно усвоить и запомнить лишь определённый объём сведений, который некоторым образом ограничен. Когда во время занятия мозгу даётся слишком много информации, в результате чего он оказывается перегружен, результативность и продуктивность такого обучения стремительно снижается, а при работе с «трудными» детьми может и вовсе отсутствовать. Чем больше информационно ценного материала вводится в процессе урока, тем менее качественно он понимается, усваивается и запоминается, а, следовательно, в дальнейшем хуже воспроизводится и применяется на практике. Эту закономерность описывает понятие «кошелёк Миллера» или, как его еще называют, правило «магического числа семь».

Американский исследователь и психолог Джордж Миллер проводил ряд экспериментов по изучению параметров памяти. В роли испытуемых выступали люди, работающие операторами. Результаты опытов показали, что кратковременная память в среднем удерживает пять простых односложных слов, семь букв, восемь десятичных цифр и девять двоичных знаков. Таким образом он вывел свой принцип, определяющий, что человек одновременно способен удержать в памяти и повторить не больше, чем 7 ± 2 различных элементов [21].

Простыми словами, кратковременная память похожа на кошелёк, куда одновременно можно положить в среднем семь монеток и совершенно неважно, какие именно монетки лежат в кошельке, главное, чтобы их было семь. То есть память не фиксирует смысл информации и не анализирует его, для нее важны лишь внешние количественные характеристики. Если элементов больше семи или максимум – девяти, мозг сам группирует их так, чтобы в итоге получилось от пяти до девяти запоминаемых единиц.

Уже усвоенная информация, сформированная в виде знаний, хранится в долговременной памяти. Предполагается, что в ходе дальнейшего изучения дисциплины они могут и должны служить опорой и фундаментом для формирования уже новых понятий в процессе обучения. Рабочая память ограничена и в случае, если в долговременной памяти нет нужных сведений и отсутствует необходимая база становится непосильно трудным решение каких-либо сложных задач. Таким образом, становится очевидной необходимость своевременной проверки и учета уровня сформированности знаний (их наличия или отсутствия) в долговременной памяти в процессе обучения. В противном случае новая информация просто не будет усваиваться [2].

Согласно теории когнитивной нагрузки, память содержит определённые схемы, формирующие и образующие базу знаний человека. Опираясь и ориентируясь на эти когнитивные структуры, мозг может решать задачи, воспринимать и усваивать новую информацию. В этих условиях задача педагога заключается в подборе и адаптации материала таким образом, чтобы у обучающихся первоначально эти схемы вырабатывались, а затем постепенно усложнялись. В точных науках этот принцип очевиден и особенно важен.

Рассмотрим на примере математики: сначала дети учатся складывать и вычитать, после этого они осваивают умножение, затем – деление и так далее. Они запоминают небольшой количественно ограниченный объём информации, который постепенно накапливается и переходит в долгосрочную память. Таким образом, когда возникает необходимость понять

новые математические действия и операции, мозг уже способен применять для решения задач более сложные схемы. Необходимо отметить, что применение этого подхода также достаточно результативно и в гуманитарных дисциплинах. Например, при разделении материала, разбивая информацию на короткие, логически завершённые части.

Применительно к преподаванию физики ограничения оперативной памяти приобретают особое значение. Физика оперирует абстрактными понятиями, которые невозможно непосредственно наблюдать: сила, энергия, поле, потенциал и множество других физических величин являются ментальными конструктами, требующими особых когнитивных усилий для усвоения.

Специфику теории когнитивной нагрузки в физике можно связать с несколькими различными факторами. Во-первых, оперирование абстрактными символами и формулами. При работе с физическими формулами обучающийся должен удерживать в рабочей памяти одновременно все входящие в них символы, каждый из которых обозначает определённую физическую величину, а самое главное понимать функциональные связи между переменными. В качестве примера проанализируем запись второго закона Ньютона $F=ma$. Необходимо осознать, что F – это результирующая сила (векторная сумма всех сил, действующих на тело), m – масса (мера инертности), a – ускорение. В случае если обучающийся не автоматизировал эти базовые соотношения до уровня, позволяющего извлекать их из долговременной памяти без дополнительных когнитивных затрат, рабочая память оказывается перегруженной.

Во-вторых, необходимость одновременного удержания множества репрезентаций. Репрезентация отвечает за представление в сознании человека образов объекта. Решая физическую задачу учащемуся практически всегда необходимо параллельно работать с разными формами репрезентации такими как: словесное описание условия, схематический рисунок, график, математическая формула и числовой расчёт. Каждый переход между форматами создаёт дополнительную нагрузку на рабочую память, и, если объём одновременно обрабатываемой информации превышает 7 ± 2 элемента (или, по современным данным, 3–5 элементов), эффективность обработки информации снижается.

В-третьих, автоматизация фундаментальных соотношений. Как показывают исследования, для успешного решения задач по физике обучающиеся должны довести фундаментальные соотношения (например, законы Ньютона, уравнения Максвелла, термодинамические соотношения) до уровня автоматизма. Без этого рабочая память расходуется на припоминание базовых фактов, а не на анализ конкретной проблемной ситуации.

Указанные ограничения имеют прямое педагогическое следствие: при объяснении нового физического материала необходимо разбивать информацию на небольшие когнитивные блоки, давая обучающимся возможность постепенно наращивать сложность ментальных схем без перегрузки оперативной памяти.

Тесно связанным с теорией когнитивной нагрузки является понятие ментальной модели, разработанное в когнитивной психологии Филипом Николасом Джонсон-Лэрдом [15] в 1983 году. Согласно этой теории, понимание – это способность строить ментальную репрезентацию (модель), которая изоморфна структуре описываемого фрагмента реальности.

В контексте обучения физике категория ментальной модели приобретает ключевое значение. Исследователи различают три типа моделей, используемых в физике: физические (материальные объекты, экспериментальные установки), математические (уравнения, формулы, графики) и ментальные (внутренние когнитивные репрезентации, которые строит обучающийся).

Процесс построения адекватной ментальной модели физического явления – это центральное звено в освоении фундаментальных физических теорий. Ментальные модели выполняют следующие функции:

– объяснительная функция: модель позволяет объяснить, почему физическая система ведёт себя тем или иным образом;

– прогностическая функция: на основе модели можно предсказать поведение системы в новых условиях;

– эвристическая функция: модель служит инструментом для поиска решения нестандартных задач.

Особый интерес для педагогики представляет диагностическая функция анализа ментальных моделей. Дж. Гэффни в 2010 году показал, что ошибки обучающихся при решении концептуальных физических задач часто возникают из-за того, что их ментальная модель не охватывает все возможные состояния системы – обучающийся «не достраивает» пространство возможностей, что приводит к неполным или ошибочным выводам. Например, при анализе движения тела под действием нескольких сил обучающийся может учитывать не все векторные составляющие, что приводит к неверному определению равнодействующей. Задача педагога заключается не столько в передаче готовых формул, сколько в содействии построению правильных ментальных моделей, которые затем могут служить когнитивной основой для применения более сложных схем рассуждения.

И.М. Грека и М.А. Морейра в 2002 году в своём исследовании интерпретировали данные об обучении физике студентов колледжа именно в рамках теории ментальных моделей Джонсон-Лэрда. Они пришли к выводу, что эффективное обучение физике должно быть направлено не только на передачу математических формулировок законов, но и на целенаправленное формирование у обучающихся адекватных ментальных моделей изучаемых явлений. Эти модели затем могут служить основой для построения более сложных когнитивных схем и эффективного решения задач в новых контекстах.

В конечном итоге теория когнитивной нагрузки [23] объясняет количественные ограничения переработки информации, в то время как понятие ментальной модели раскрывает качественную структуру того, как эта информация организуется в сознании обучающегося при освоении физических теорий. Таким образом они тесно взаимосвязаны между собой и органично дополняют друг друга.

Список литературы

1. Кондратьев И.В. Нейрофизика: физические методы в исследовании мозга / И.В. Кондратьев, А.Я. Каплан. – М.: Физматлит, 2020. – 312 с.
2. Теория когнитивной нагрузки: ограничения человеческой памяти, влияющие на учебный процесс. – URL: <https://lala.lanbook.com/teoriya-kognitivnoj-nagruzki> (дата обращения: 04.02.2025).
3. Brain activity links performance in science reasoning with conceptual approach / J.E. Bartley, M.C. Riedel, T. Salo [et al.] // npj Science of Learning. – 2019. – Vol. 4. – P. 20. – DOI: 10.1038/s41539-019-0059-8.
4. Toward a neurobiological basis for understanding learning in university modeling instruction physics courses / E. Brewster, J.E. Bartley, M.C. Riedel [et al.] // Frontiers in ICT. – 2018. – Vol. 5. – P. 10. – DOI: 10.3389/fict.2018.00010.
5. Carnegie Mellon University. NSF grant #1841884: Neural representations of physics concepts. – URL: https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1841884 (дата обращения: 07.07.2026).
6. Dunbar K.N. The Biology of Physics: What the Brain Reveals about Our Understanding of the Physical World / K.N. Dunbar // Physics Education Research Conference. – 2009. – Vol. 1179. – P. 15–18. – DOI: 10.1063/1.3266703.
7. Dunbar K.N. Do naive theories ever go away? Using brain imaging to understand changes in concepts / K.N. Dunbar, J.A. Fugelsang, C. Stein // Thinking with data / ed. by M. Lovett, P. Shah. – Mahwah: Lawrence Erlbaum, 2007. – P. 315–332.
8. Dunbar K.N. How scientists think in the real world: Implications for science education / K.N. Dunbar // Proceedings of the 38th Annual Conference of the Cognitive Science Society. – 2016. – P. 35–40.
9. The creative brain: Investigation of brain activity during creative problem solving by means of EEG and fMRI / A. Fink, R.H. Grabner, M. Benedek [et al.] // NeuroImage. – 2009. – Vol. 46, No. 4. – P. 1138–1148. – DOI: 10.1016/j.neuroimage.2009.02.021.
10. Functional neuroanatomy of intuitive physical inference / J. Fischer, J.G. Mikhael, J.B. Tenenbaum, N. Kanwisher // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2016. – Vol. 113, No. 34. – P. E5072–E5081. – DOI: 10.1073/pnas.1610344113.

11. Fugelsang J.A. Brain-based mechanisms underlying complex causal thinking / J.A. Fugelsang, K.N. Dunbar // *Neuropsychologia*. – 2005. – Vol. 43, No. 8. – P. 1204–1213.
12. Individual differences in mathematical competence predict parietal brain activity during mental arithmetic / R.H. Grabner, D. Ansari, G. Reishofer [et al.] // *NeuroImage*. – 2007. – Vol. 38, No. 2. – P. 346–356. – DOI: 10.1016/j.neuroimage.2007.07.041.
13. Grabner R.H. Neurophysiology of mathematical cognition / R.H. Grabner, B. De Smedt // *The human sciences after the decade of the brain* / ed. by B. Battro [et al.]. – Amsterdam: Elsevier, 2012.
14. Hamrick J.B. Inferring mass in complex scenes by mental simulation / J.B. Hamrick, P.W. Battaglia, J.B. Tenenbaum // *Cognition*. – 2016. – Vol. 157. – P. 61–76.
15. Johnson-Laird P.N. Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness / P.N. Johnson-Laird. – Cambridge: Cambridge University Press, 1983. – 528 p.
16. Kozhevnikov M. Spatial visualization in physics problem solving / M. Kozhevnikov, M.A. Motes, M. Hegarty // *Cognitive Science*. – 2007. – Vol. 31, No. 4. – P. 549–579.
17. Mason R.A. Neural representations of physics concepts / R.A. Mason, M.A. Just // *Psychological Science*. – 2016. – Vol. 27, No. 6. – P. 904–913. – DOI: 10.1177/0956797616641941.
18. Mason R.A. Physics is hard, but your brain can learn it: Neural representations of physics concepts / R.A. Mason, M.A. Just // *Cognitive Neuroscience Society Annual Meeting*. – San Francisco, 2015.
19. Mason R.A. Neural representations of physics concepts in the brain: From naive to formal understanding / R.A. Mason, R.A. Schumacher, M.A. Just // *Proceedings of the 40th Annual Conference of the Cognitive Science Society*. – 2018. – P. 742–747.
20. Mason R. Teaching ancient brains new tricks: Neural representations of advanced physics concepts / R. Mason, R. Schumacher, M. Just // *Physics Today*. – 2021. – Vol. 74, No. 6. – P. 30–35. – DOI: 10.1063/PT.3.4769.
21. Miller G.A. The Magical Number Seven, Plus or Minus Two / G.A. Miller // *The Psychological Review*. – 1956. – Vol. 63. – P. 81–97.
22. Newman S.D. The neural correlates of expertise in spatial reasoning / S.D. Newman, E. Mitchell // *Neuropsychologia*. – 2013. – Vol. 51, No. 12. – P. 2447–2456.
23. Paas F. An evolutionary upgrade of cognitive load theory: Using the human motor system and collaboration to support the learning of complex cognitive tasks / F. Paas, J. Sweller // *Educational Psychology Review*. – 2012. – Vol. 24, No. 1. – P. 27–45. – DOI: 10.1007/s10648-011-9179-2. EDN YCDJDX
24. Price G.R. Symbol processing in the left angular gyrus: Evidence from passive and active tasks / G.R. Price, D. Ansari // *Developmental Cognitive Neuroscience*. – 2013. – Vol. 5. – P. 73–82.
25. Roos A. fMRI of physics problem solving: The role of parietal and prefrontal cortices / A. Roos, A.C. Neubauer // *Brain and Cognition*. – 2019. – Vol. 134. – P. 34–44.
26. Common and distinct brain regions in both parietal and frontal cortex support symbolic and nonsymbolic number processing in humans: A functional neuroimaging meta-analysis / H.M. Sokolowski, W. Fias, A. Moussa, D. Ansari // *NeuroImage*. – 2017. – Vol. 146. – P. 376–394.
27. Sweller J. Cognitive load during problem solving: Effects on learning / J. Sweller // *Cognitive Science*. – 1988. – Vol. 12, No. 2. – P. 257–285. – DOI: 10.1207/s15516709cog1202_4.
28. Wai J. Spatial ability for STEM domains: Aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance / J. Wai, D. Lubinski, C.P. Benbow // *Journal of Educational Psychology*. – 2009. – Vol. 101, No. 4. – P. 817–835.

Горшанова Анастасия Валерьевна

студентка

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный

педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

г. Ульяновск, Ульяновская область

Ленгесова Наталья Анатольевна

канд. биол. наук, доцент, заведующая кафедрой, ведущий научный сотрудник

Научно-исследовательский центр фундаментальных

и прикладных проблем биоэкологии и биотехнологии

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный

педагогический университет им. И.Н. Ульянова»

г. Ульяновск, Ульяновская область

ИГРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ УЧАЩИХСЯ НА УРОКАХ БИОЛОГИИ

Аннотация: в статье рассматриваются возможности использования игровых технологий на уроках биологии для активизации познавательной деятельности учащихся. На основе анализа психолого-педагогической литературы и результатов собственного педагогического эксперимента представлены классификации игр, методика их внедрения на разных этапах урока, а также количественные данные об эффективности предложенного подхода. Особое внимание уделено дифференциации игровых форм в зависимости от возраста учащихся.

Ключевые слова: игровые технологии, биологическое образование, познавательная активность, методы обучения, дидактические игры.

Современное школьное биологическое образование характеризуется увеличением объема учебной информации при одновременном снижении интереса части учащихся к предмету. Традиционные методы обучения не всегда обеспечивают достаточный уровень включенности школьников в учебный процесс. В этой связи актуальным становится поиск таких педагогических средств, которые позволяют сочетать высокую содержательную насыщенность с эмоциональной привлекательностью учебной деятельности. Одним из наиболее действенных средств выступают игровые технологии.

Игровые технологии в образовательном процессе представляют собой совокупность методов и приемов, основанных на использовании игровых форм, которые позволяют учащимся осваивать знания, умения и навыки в активной, соревновательной или имитационной среде. В отличие от спонтанной игры, педагогическая игровая технология имеет четкую дидактическую цель, поэтапную структуру (подготовка, процесс, рефлексия) и измеримый результат [3].

Психолого-педагогической основой применения игр на уроках биологии является положение Л.С. Выготского о «зоне ближайшего развития»: действуя в воображаемой ситуации, учащийся осваивает произвольное поведение и подчинение правилу [1]. Д.Б. Эльконин подчеркивал, что именно в игре развивается знаково-символическая функция сознания, что критически важно для усвоения биологической терминологии и моделирования экосистемных процессов [4]. А.Н. Леонтьев указывал на уникальную мотивационную структуру игры: мотив лежит не в результате, а в самом процессе, что создает высокую эмоциональную насыщенность [2].

Ключевые преимущества игровых технологий на уроках биологии:

- рост познавательной мотивации и снижение тревожности;
- развитие коммуникативных, регулятивных и познавательных УУД;
- возможность моделирования биологических процессов;

- формирование естественно-научной грамотности в практико-ориентированной форме;
- обеспечение дифференцированного подхода через разноуровневые задания.

Однако использование игр сопряжено с рисками: подмена учебной цели развлечением, нарушение дисциплины, неоправданные временные затраты, невключенность части учащихся. Эти риски минимизируются при соблюдении методических условий, выявленных в ходе нашего эксперимента.

В рамках исследования на базе Лицея ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова» была проведена опытно-экспериментальная работа с участием двух 11-х классов (гуманитарный – экспериментальная группа, технологический – контрольная). Биология в обоих классах изучалась на базовом уровне. В экспериментальной группе на разных этапах урока применялись игровые технологии: «Третий лишний» (актуализация), «Светофор» (рефлексия) и «Своя игра» (обобщение по разделу «Генетика»).

Результаты эксперимента показали:

- в экспериментальной группе доля учащихся, получивших «отлично» на итоговом тестировании, выросла более чем на 30%, а доля отметок «хорошо» сократилась на 27%;
- количество познавательных вопросов, задаваемых учащимися, увеличилось с 1 до 7 за урок;
- снизилась доля пассивных учащихся (по данным прямого наблюдения);

В контрольной группе, где обучение велось традиционными методами, значимой динамики не зафиксировано.

На основе теоретического анализа и экспериментальной работы были разработаны методические рекомендации по применению игровых технологий на уроках биологии.

1. Соответствие игры дидактической цели. На этапе актуализации эффективны игры-ассоциации и разминки («Верю – не верю»); при изучении нового материала – игры-моделирования и ролевые игры («Заседание ученого совета», «Синтез белка»); при закреплении – соревновательные игры и игры на классификацию («Третий лишний», «Биологическое лото»); при контроле – квизы (Kahoot!, Quizizz) и маршрутные игры.

2. Временное дозирование. Оптимальная продолжительность игрового этапа для 5–6 классов – 10–15 минут, для 7–9 – 15–20 минут, для 10–11 – 20–25 минут. Превышение этих границ ведет к утомлению и снижению учебного эффекта.

3. Учет возрастных особенностей.

5–6 классы: предпочтительны предметные и сюжетно-ролевые игры с натуральными объектами, игры-путешествия, простые викторины.

7–9 классы: деловые, имитационные игры, квесты, командные турниры («Биологический бой»).

10–11 классы: сложные деловые игры, кейс-игры, научные симуляции, профессиональные квесты.

4. Обязательная рефлексия. После игры следует организовать обсуждение: «Какие биологические понятия нам помогли?», «Что осталось непонятным?», «Где в жизни встречается подобная задача?». Без этапа рефлексии игра остается развлечением и не переходит в учебное достижение.

5. Поэтапная подготовка игры:

- диагностический этап (оценка уровня тревожности и остаточных знаний);
- проектировочный этап (выбор типа игры, разработка дидактических материалов, проверка правил);
- организационный этап (рассадка с учетом совместимости, подготовка раздаточных материалов, таймер);
- процессуальный этап (управление игрой: паузы, сигнал тишины, правило трех подсказок);
- оценочно-рефлексивный этап (индивидуальный тест, рефлексивный отчет) [5].

Предупреждение типичных затруднений.

При нарушении дисциплины: ввести визуальный таймер и «дежурного по порядку». Когда ученики соревнуются, за неверный ответ стоит снимать баллы и просить объяснить решение кратко. Если часть учащихся не участвует, можно разделить их на роли: капитан, биолог, эксперт по терминам и хранитель времени. Если учитель боится импровизировать, можно создать «сценарий с развилками», где будут варианты действий на случай ошибки класса, потери интереса или опережения.

Разработанный и апробированный комплекс дидактических игр включает сценарии, игровые поля, карточки, правила и может быть непосредственно интегрирован в педагогическую практику учителей биологии. Примеры игр: «Своя игра» по генетике (5 категорий, 5 уровней сложности), «Экологический аукцион» (распределение «эко-денег» на проекты), «Крокодил» на виды взаимоотношений, цифровой квиз «Кто кого съел?», филворд по пищевым сетям.

Таким образом, игровые технологии являются эффективным и методически обоснованным средством повышения познавательной активности учащихся на уроках биологии при соблюдении следующих условий: системности применения, соответствия возрасту и дидактическим целям, временной регламентации, обязательной рефлексии и ролевого структурирования команд. Их внедрение позволяет не только улучшить качество предметных знаний, но и развить коммуникативные и регулятивные универсальные учебные действия. Игра на уроке биологии выступает не заменой традиционным методам, а их органичным дополнением, делающим учебный процесс личностно значимым и эмоционально комфортным.

Список литературы

1. Выготский Л.С. Игра и ее роль в психическом развитии ребенка / Л.С. Выготский // Вопросы психологии. – 1966. – №6. – С. 62–68. EDN OWVTDS
2. Леонтьев А.Н. Психологические основы дошкольной игры / А.Н. Леонтьев // Избранные психологические произведения. – В 2 т. Т. 1. – М.: Педагогика, 1983. – С. 303–323.
3. Селевко Г.К. Современные образовательные технологии: учеб. пособие / Г.К. Селевко. – М.: Народное образование, 1998. – 256 с.
4. Эльконин Д.Б. Психология игры / Д.Б. Эльконин. – 2-е изд. – М.: Владос, 2009. – 360 с.
5. Хотулева О.В. Использование игровых технологий в обучении биологии в старших классах средней школы / О.В. Хотулева. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-igrovyyh-tehnologiy-v-obuchenii-biologii-v-starshih-klassah-sredney-shkoly/viewer> (дата обращения: 15.05.2026).

Крючков Сергей Николаевич
магистрант

Истомина Елена Юрьевна
канд. биол. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный
педагогический университет им. И.Н. Ульянова»
г. Ульяновск, Ульяновская область

ТИПОЛОГИЯ И ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИХ МУЗЕЕВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Аннотация: в статье представлена типология палеонтологических музеев Российской Федерации по их педагогическому потенциалу. Выделены типы музеев и приведена развёрнутая характеристика четырёх ведущих музеев страны: Палеонтологического музея им. Ю.А. Орлова ПИН РАН (Москва), Вятского палеонтологического музея (Кировская область), Палеонтологического музея им. В.А. Хахлова ТГУ (Томск) и Ундоровского палеонтологического музея им. С.Е. Бирюкова (Ульяновская область). Для каждого музея указаны тип, особенности коллекции и основные форматы работы со школьниками. Предложенная типология может быть использована учителями биологии и педагогами дополнительного образования для выбора оптимальных форм использования музейных ресурсов в образовательном процессе.

Ключевые слова: палеонтологический музей, педагогический потенциал, академический музей, университетский музей, региональный музей, образовательные форматы.

Одним из актуальных направлений повышения познавательной активности школьников по дисциплинам естественнонаучного профиля является использование музейного наследия. Для понимания того, как палеонтологический музей может стать ресурсом школьной образовательной среды, необходимо предварительно охарактеризовать сами музеи этого профиля, существующие на территории Российской Федерации. Палеонтологические музеи представляют собой особый тип естественно-научных музеев, в основе экспозиций которых лежат ископаемые остатки древних организмов – от микроскопических фораминифер до гигантских скелетов динозавров и млекопитающих. Эти учреждения различаются по масштабу, научному статусу, истории, коллекциям и формам работы с посетителями, что определяет их разный педагогический потенциал.

В Российской Федерации можно выделить три основные группы палеонтологических музеев, значимых для школьного образования: академические (федеральные) музеи, университетские музеи и региональные (краеведческие) музеи с палеонтологическими коллекциями. Крупнейшие из них стали признанными центрами не только научных исследований, но и учебно-просветительской деятельности, в том числе ориентированной на школьников. Рассмотрим педагогическую деятельность наиболее популярных палеонтологических музеев нашей страны.

Палеонтологический музей им. Ю.А. Орлова Палеонтологического института РАН (г. Москва) – один из крупнейших и наиболее авторитетных палеонтологических музеев мира, входящий в пятёрку лучших естественно-научных музеев. Музей назван в честь выдающегося советского палеонтолога Ю.А. Орлова. Экспозиция построена по хронологико-систематическому принципу и охватывает всю историю жизни на Земле – от архейских строматолитов до четвертичных млекопитающих. Особую ценность для школьного биологического образования представляют шесть основных залов: докембрийский и раннепалеозойский (древнейшие организмы), позднепалеозойский (выход жизни на сушу, гигантские леса), мезозойский (динозавры, морские рептилии, птерозавры), кайнозойский (млекопитающие, включая динотериев и южного слона), а также залы происхождения человека и тафономии. В мезозойском зале центральное место занимает скелет зауропода *Giraffatitan brancai*, производящий сильное эмоциональное впечатление.

С точки зрения педагогического потенциала, этот музей является наиболее продвинутым. При Палеонтологическом музее им. Ю.А. Орлова с 1948 года работает палеонтологический кружок, подготовивший многих известных учёных. Программа кружка включает теоретические занятия по эволюции, экскурсии в фондохранилище и лаборатории, а также выездные практикумы на местонахождения ископаемых. С 2005 года здесь реализуется образовательная программа «Палеонтологический практикум», объединяющая школьников и педагогов из Москвы, Подмосковья и других регионов для проектно-исследовательской деятельности. Практикум включает учебные экскурсии, интегрированные занятия, проектную деятельность, дополнительные программы и дистанционные консультации для удалённых регионов. Интегрированные уроки по эволюции биосферы и экологическим кризисам формируют у школьников навыки прогнозирования и экологическое мышление [1].

Вятский палеонтологический музей (г. Котельнич, Кировская область). Этот музей уникален тем, что создан непосредственно на месте одного из крупнейших в мире местонахождений парейазавров – древних рептилий пермского периода. В отличие от московского музея, экспонаты которого собирались со всей территории бывшего СССР, коллекция Вятского музея имеет ярко выраженную региональную специфику и собиралась в ходе многолетних раскопок на Котельничском местонахождении. Парейазавры – это «странные звери», как переводится их название, достигавшие в длину нескольких метров и обитавшие на территории современной Кировской области 250–260 миллионов лет назад. Музей долгое время

располагался в приспособленном помещении, однако в последние годы переехал в новое здание, площадь которого вдвое превышает прежнюю, что позволило реализовать новые интерактивные форматы – например, «стол палеонтолога», где любой посетитель может почувствовать себя учёным, извлекая из гипсового монолита копии древних костей. Для школьников музей проводит тематические экскурсии («Мир древних ящеров»), квесты («Древние животные Вятки»), мастер-классы по изготовлению бумажных динозавриков и палеоигротеки, домино и пазлами на тему пермских рептилий. Таким образом, этот музей является примером того, как региональное палеонтологическое наследие превращается в мощный ресурс краеведческого и естественно-научного образования [2].

Палеонтологический музей им. В.А. Хахлова Томского государственного университета (г. Томск) – это один из старейших университетских палеонтологических музеев России. Названный в честь основателя палеонтологической школы в Томске В.А. Хахлова, музей располагает богатой коллекцией ископаемых остатков, собранных в ходе экспедиций по всей Сибири. Особую ценность представляют материалы по мамонтовой фауне (мамонты, шерстистые носороги, бизоны) и по ископаемым моллюскам мезозойской эры. Музей активно включён в образовательные программы для школьников в рамках городского проекта «Страна ТГУ», который знакомит учеников 5–11 классов с инфраструктурой университета и возможностями современной науки. Предлагаемые экскурсии охватывают широкий спектр тем: от обзорной «Эволюция жизни на Земле» (8–11 классы) до более специализированной «Мамонтовая степь и её обитатели» (5–11 классы). Кроме того, для учащихся проводятся квесты, в том числе квест «Назад в прошлое» в Палеонтологическом музее, который позволяет в игровой форме освоить материал по истории Земли. Важно, что ТГУ предоставляет возможность не только организованным группам из «Страны ТГУ», но и любым школьникам (при предварительной записи) посещать музеи, что делает университетские коллекции доступными для широкой аудитории [3].

Ундоровский палеонтологический музей им. С.Е. Бирюкова (с. Ундоры, Ульяновская область) – региональный тип. Создан на базе школьного геологического кружка «Плутония» в 1981 г. В.М. Ефимовым. В новом здании (открытом в 2026 г.) коллекция Ундоровского палеонтологического музея им. С.Е. Бирюкова насчитывает более 1000 экспонатов. Основу фондов (свыше 3000 единиц хранения) составляют остатки юрско-меловых морских рептилий. Среди беспозвоночных представлены аммониты, белемниты, морские ежи. В экспозицию включены переданные из Санкт-Петербурга образцы из коллекции П.М. Языкова, личное собрание С.Е. Бирюкова (более 1200 предметов). Ундоровский музей обладает значительным образовательным ресурсом, который может быть использован в школьном биологическом образовании. Благодаря близости к природным обнажениям (геопарк «Ундория», берег Волги) музей организует полевые практикумы для школьников, в ходе которых учащиеся под руководством научных сотрудников собирают и идентифицируют ископаемые остатки. Для работы в музее разработаны тематические экскурсии с элементами квеста, а также интерактивная площадка («раскопки» макета ихтиозавра в песке), позволяющая смоделировать работу палеонтолога. Музей активно использует современные цифровые технологии: дополненную реальность (AR) для «оживления» экспонатов, виртуальную реальность (VR) для панорамных экскурсий, 3D-печать тактильных копий для инклюзивных занятий. Ежегодно проводится конкурс находок имени С.Е. Бирюкова, в котором участвуют школьники из нескольких регионов, что стимулирует исследовательскую деятельность. Таким образом, педагогический потенциал музея включает как традиционные экскурсионные форматы, так и современные интерактивные и цифровые методы, что делает его ценным ресурсом для урочной и внеурочной деятельности по биологии [4].

Помимо специализированных палеонтологических музеев, значительные коллекции ископаемых организмов часто хранятся в фондах краеведческих музеев и в составе естественно-научных музеев вузов. Примером успешного использования такой коллекции в образовательных целях является опыт Кировского областного краеведческого музея. Совместно с Педагогическим институтом Вятского государственного университета здесь был

реализован проект «Музей. Событие. Сотворчество», в рамках которого будущие учителя биологии разрабатывали и проводили музейные занятия на материале палеонтологической коллекции. Одно из таких занятий – «66 миллионов лет до нашей эры: радиоуглеродное датирование и его значение для палеонтологии» – позволило связать химию, физику и биологию в междисциплинарное исследование. Участники проекта (168 студентов за первый год) получили не только сертификаты, но и удостоверение «Ассистент экскурсовода» к диплому о высшем образовании, что повышает их профессиональную квалификацию как будущих учителей [5].

Для систематизации представленной информации и выявления специфики каждого музея как потенциального ресурса школьного образования, представим основные параметры в виде таблицы (табл. 1).

Таблица 1

Основные палеонтологические музеи РФ и их характеристики

Название музея	Город / регион, год основания	Тип музея	Ключевые особенности коллекции	Основные форматы работы со школьниками
Палеонтологический музей им. Ю.А. Орлова ПИН РАН	Москва, 1937	Академический (федеральный)	Мировое значение, хронологическая экспозиция, скелеты динозавров и млекопитающих	Палеонтологический практикум, интегрированные уроки, проектная деятельность, дистанционные консультации
Вятский палеонтологический музей	г. Котельнич, Кировская область, 1994	Региональный (муниципальный)	Котельничское местонахождение парейазавров пермского периода	Экскурсии, квесты, мастер-классы, палеонгротекта, «стол палеонтолога»
Палеонтологический музей им. В.А. Хахлова ТГУ	г. Томск, 1926	Университетский	Мамонтовая фауна Сибири, мезозойские моллюски	Экскурсии по программе «Страна ТГУ», квест «Назад в прошлое»
Палеонтологическая коллекция краеведческого музея (в проекте с ВятГУ)	г. Киров, 2016	Краеведческий (региональный)	Региональные ископаемые (используются для междисциплинарных занятий)	Музейные занятия, разработанные студентами; интеграция с химией и физикой
Ундоровский палеонтологический музей им. С.Е. Бирюкова	с. Ундоры, Ульяновская область, 1981	Региональный (муниципальный)	Первый в России музей на местонахождении ископаемых; более 3000 экспонатов; останки морских рептилий (ихтиозавры, плезиозавры), аммониты, белемниты, окаменевшая древесина; экспонаты мамонтовой фауны	Экскурсии, научно-познавательные программы («Школа юного палеонтолога»); выездные мероприятия и виртуальные экскурсии в школы региона; ежегодный конкурс находок им. С.Е. Бирюкова; элемент «оживления» экспонатов через специальное приложение (AR- и VR-технологии)

Проведённый анализ позволяет выделить следующие особенности каждого типа музеев с точки зрения их использования в школьном образовании.

1. Академические музеи (на примере музея им. Ю.А. Орлова) обладают наибольшей научной достоверностью, полнотой и системностью экспозиции. Они позволяют показать эволюцию жизни во всей её полноте – от прокариот до антропогенеза. Однако их расположение (как правило, в крупных городах, а в Москве – на удалении от центра) создаёт транспортные проблемы для школьных групп. Кроме того, обилие информации требует тщательной методической подготовки – без специального образовательного модуля (как Палеонтологический практикум) обычная экскурсия может стать для школьников информационной перегрузкой.

2. Университетские музеи (на примере ТГУ) сочетают научную основу с большей ориентацией на образовательные программы. Они часто включены в систему непрерывного

образования «школа – вуз» и могут предложить не только экскурсии, но и квесты, интерактивные занятия. Их преимущество – близость к студенческой и школьной аудитории, возможность привлечения студентов-старшекурсников в качестве экскурсоводов и тьюторов.

3. Региональные музеи (на примере Вятского и Ундоровского) имеют ярко выраженную краеведческую направленность. Они формируют у школьников чувство «причастности к месту» – понимание того, что уникальные палеонтологические объекты находятся не где-то в далёком прошлом или далёкой стране, а буквально «под ногами», на территории родного края. Это мощный воспитательный фактор. Кроме того, в региональных музеях более «камерная» атмосфера, позволяющая организовать групповую и индивидуальную работу, а также часто более низкая стоимость посещения.

Палеонтологические коллекции в структуре краеведческих музеев представляют собой наиболее распространённый, но и наиболее недооценённый ресурс. Во многих городах России в краеведческих музеях хранятся интересные (иногда уникальные) палеонтологические материалы, которые не используются в образовательных целях в силу отсутствия специализированных методик и недостатка кадров. Однако проект ВятГУ показывает, что даже относительно небольшая коллекция при правильной методической организации (особенно с привлечением студентов педвузов) может стать основой для высококачественных междисциплинарных занятий [5].

Таким образом, Российская Федерация располагает сетью палеонтологических музеев разных типов – от мирового уровня академических до локальных краеведческих. Каждый из них обладает специфическим педагогическим потенциалом, который может быть использован в школьном биологическом образовании. Опыт работы с палеонтологическими коллекциями в краеведческих музеях показывает, что даже скромные фонды при грамотном методическом сопровождении и сотрудничестве с педагогическими вузами могут стать действенным ресурсом школьной образовательной среды.

Список литературы

1. Официальный сайт Палеонтологического музея им. Ю.А. Орлова ПИН РАН. – URL: www.paleomuseum.ru (дата обращения: 20.05.2026).
2. Официальный сайт Вятского палеонтологического музея. – URL: www.suminia.com (дата обращения: 20.05.2026).
3. Официальный сайт Палеонтологического музея им. В.А. Хахлова ТГУ. – URL: <https://tsumuseums.tsu.ru/paleontology> (дата обращения: 20.05.2026).
4. Официальный сайт Ундоровского палеонтологического музея им. С.Е. Бирюкова. – URL: undormuz.ru (дата обращения: 20.05.2026).
5. В Вятском государственном университете стартовал проект «Музей. Событие. Сотворчество» // Вятский государственный университет: официальный сайт. – URL: <https://www.vyatsu.ru/special/main/detail.php?ID=46930> (дата обращения: 20.05.2026).

DOI 10.31483/r-167415

РАЗВИТИЕ МОТИВАЦИИ К ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ У ПОДРОСТКОВ НА УРОКАХ БИОЛОГИИ

Аннотация: в статье отражена актуальность проблемы развития мотивации к исследовательской деятельности у подростков, представлены формы и методы развития мотивации учащихся подросткового возраста к учебно-исследовательской деятельности, с учетом их возрастных особенностей, а также специфики предмета биологии и исследовательской деятельности, показана их значимость в обучении.

Ключевые слова: мотивация, исследовательская деятельность, подростковый возраст, уроки биологии.

В стремительно меняющемся мире все большее значение приобретают такие навыки, как самостоятельное исследование, умение приобретать необходимые знания, способность критически и творчески воспринимать информацию, а также умение находить и решать проблемы нестандартными способами. Перед образовательными учреждениями стоит задача сформировать личность, способную к самостоятельному поиску новых знаний, активному исследованию новизны и сложности меняющегося, разработке принципиально новых решений.

Биология – наука, основывающаяся на практическом закреплении теоретических знаний. Практические и лабораторные занятия требуют от учащихся сформированности навыков исследования, применение которых будет способствовать лучшему усвоению знаний, повышению успеваемости. В связи с этим необходимо уделять особое внимание созданию условий для осуществления учащимися самостоятельного исследования, формирования умения приобретать необходимые знания, развития способности критически и творчески воспринимать и обрабатывать информацию – иными словами, постепенно и планомерно включать учащихся в исследовательскую деятельность. Разнообразие исследуемых объектов, процессов, решение разного рода проблем на уроках биологии обеспечивает большие возможности для осуществления учащимися исследовательской деятельности.

Исследовательская деятельность школьников способствует развитию навыков самостоятельного поиска информации, ее изучению и анализу, развитию когнитивной сферы в целом.

Е.В. Ларькина дает следующее определение исследовательской деятельности: это вся деятельность, продуктом которой является новое знание, новые методы получения нового знания или новые методы исследования объекта. Это система умственных действий, объединенных мотивом и обеспечивающих достижение цели исследования [5].

Результатом исследовательской деятельности является не только приобретение и закрепление учащимися новых знаний, но и формирование навыков самостоятельного мышления, поиска и анализа информации, способности критически ее оценивать, применять эти навыки в дальнейшем.

Однако не стоит забывать, что успех любой деятельности в значительной степени зависит от наличия мотивации к ней. При отсутствии мотивации любая деятельность будет малоэффективна или вовсе безрезультатна.

В связи с этим актуальной проблемой является проблема развития у подростков мотивации к исследовательской деятельности на уроках биологии.

Термин «мотивация» впервые был употреблен философом А. Шопенгауэром в его работе «Четыре принципа достаточной причины», после чего прочно вошел в научный обиход и стал использоваться в качестве термина, объясняющего причины поведения человека.

Термин восходит к латинскому «*move*», что означает «двигаться, действовать». По мысли философа, мотивация является осмысленным основанием активности человека, направленной на достижение конкретной цели.

Позднее термин «мотивация» претерпел изменения и стал употребляться в более широком контексте, интегрировавшись в научное сообщество и стимулируя активные исследования в различных гуманитарных науках.

В современных литературных источниках по педагогике, психологии, социологии и философии мотивация понимается в первую очередь как сложное, многоуровневое и многоаспектное явление, комплекс стимулов, факторов, побуждающих человека к действию или деятельности и направляющих его активность.

Подростковый возраст – это переходный период от детства к юности. Возрастными рамками подросткового возраста принято считать период от 11–12 до 14–15 лет.

Познавательная сфера подростков претерпевает значительные качественные изменения. Это обусловлено изменением содержания и способов обучения, требующих от школьника новых способов усвоения знаний, умения самостоятельно работать с новой информацией. В этот период школьники приступают к овладению системой научных понятий, причинно-следственных отношений действительности, закономерностей.

А.К. Маркова отмечает склонность учащихся подросткового возраста к тем видам работы на занятиях, которые требуют умения мысленно охватить значительное количество фактов, самостоятельного формулирования выводов. В новых видах деятельности реализуются богатые резервы психического развития, учащиеся приобретают умение оперировать гипотезами в решении интеллектуальных задач, развивается способность абстрагироваться, сосредоточивать внимание на собственных интеллектуальных операциях, интенсивно развивается логическое мышление [7, с. 13].

Для подростков в значительной мере характерна повышенная интеллектуальная и познавательная активность, стремление выдвигать и анализировать различные гипотезы, стремление к поиску и объяснению причин каких-либо фактов и явлений. Появляется выраженный интерес к разнообразным абстрактным философским, общественным, этическим проблемам.

Развитие интеллекта подростков тесно связано с развитием творческих способностей, дивергентного мышления, предполагающего, что на один и тот же вопрос может быть множество одинаково правильных, но различных ответов.

При построении работы с учащимися на основе исследовательской деятельности изменяется роль учителя – от носителя информации учитель становится организатором исследования, помощником и консультантом. Педагог создает условия исследовательской деятельности, благодаря которым формируется внутренняя мотивация к изучению любых научных или жизненных проблем, происходит становление активной творческой и исследовательской позиции.

Урочная форма работы является одной из наиболее приоритетных в развитии мотивации к исследовательской деятельности у учащихся, так как отличается постоянством состава, организованностью и систематичностью.

При организации работы в рамках развития мотивации к исследовательской деятельности у подростков на уроках биологии необходимо активно и систематически использовать практико-ориентированные задания. Можно использовать следующие формы и методы работы: деловая игра, круглый стол, симпозиум или заседание экспертной группы, коллективная творческая деятельность, метод проектов, метод кейсов, ведение дневника.

Одним из эффективных средств развития мотивации к исследовательской деятельности на уроках биологии является деловая игра. Деловая игра – это метод активного обучения, совместная деятельность учащихся и педагога по созданию нового информационного

продукта в решении какой-либо практической проблемы. Данная форма работы подразумевает обмен мнениями, их столкновение, обсуждение, представление итогового результата.

Деловая игра предполагает отработку на практике необходимых навыков посредством моделирования определенной деятельности обучающихся на имитационно-игровой модели, которая отображает содержательные аспекты этой деятельности.

Круглый стол является разновидностью учебной дискуссии, проводимой в форме игры, которая имитирует заседание равноправных участников с целью обсуждения задачи или проблемы и создания различных решений этой проблемы.

Круглый стол как метод активного обучения позволяет участникам закрепить полученные ранее знания, самостоятельно восполнить недостающую информацию, и посредством группового обсуждения найти решение поставленной в ходе занятия практической задачи.

Симпозиум представляет собой учебную дискуссию, посвященную научной проблематике. В ходе симпозиума происходит восприятие и обсуждение докладов или сообщений, раскрывающих тему с нескольких сторон, происходит их коллективное обсуждение.

Коллективная творческая деятельность – это форма организации совместной деятельности детей, которая направлена на их взаимодействие в достижении общей цели – создании совершенно нового творческого продукта.

В процессе коллективной творческой деятельности развиваются познавательные умения и навыки, эмоционально-волевая сфера личности, творческие способности детей, реализуются коммуникативные потребности, происходит обучение правилам совместной работы.

Метод проектов – педагогическая технология, основой которой является самостоятельная исследовательская деятельность учащегося, направленная на решение конкретной теоретической или практической задачи, в результате которой создается новый продукт (проект). Совместная работа над проектами, осуществляемая в микрогруппах, позволяет учащимся объединиться по интересам, обеспечивает им разнообразие ролевой деятельности.

Метод кейсов способствует развитию умений анализировать конкретные ситуации, оценивать возможные решения, выбирать из них наиболее оптимальные, а также ставить конкретные цели, составлять план осуществления принятых решений.

Главным результатом применения данной технологии будет являться развитие у учащихся устойчивого навыка решения практических задач.

«Дневник исследователя» – это метод организации учебной деятельности, с помощью которого подростки могут учиться самостоятельно обрабатывать информацию, работать над проблемой, ставить цели и задачи, выдвигать гипотезу и проводить исследование. Метод ведения дневника позволяет учащимся изучить тему не только по материалам учебника, но и по натуральным объектам, дает возможность сопоставить описание в учебнике с тем, что есть на практике. Для того, чтобы ведение «Дневника исследователя» было эффективным, обучающиеся вначале с помощью учителя, затем в микрогруппах или парах, а затем и индивидуально пробуют искать необходимую информацию, анализировать и применять эти знания на практике. «Дневник исследователя» может использоваться при выполнении лабораторных работ по биологии.

Таким образом, развитие мотивации к исследовательской деятельности у подростков является важной задачей современного образования. Одним из эффективных инструментов, позволяющих решить данную задачу, является построение образовательного процесса на основе исследовательской деятельности и формирование у учащихся исследовательских умений.

Разнообразие объектов и процессов, составляющих предмет биологии, предоставляет большие возможности для исследовательской деятельности учащихся. Использование на уроках биологии таких форм и методов работы, как деловая игра, круглый стол, симпозиум или заседание экспертной группы, коллективная творческая деятельность, метод проектов,

метод кейсов, ведение дневника, позволяет развить не только навыки исследовательской деятельности, но и мотивацию к её осуществлению.

Список литературы

1. Волков И.В. Эволюция понятия мотивация в трактовках зарубежных и отечественных ученых / И.В. Волков, Е.В. Шаманин // КНЖ. – 2016. – №4 (17). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/evolyutsiya-motivatsiya-v-traktovkah-zarubezhnyh-i-otechestvennyh-uchenyh> (дата обращения: 07.07.2026).
2. Галишева М.С. Учебно-исследовательская деятельность школьника: структурная модель и формулировка понятия / М.С. Галишева, П.В. Зуев // Педагогическое образование в России. – 2019. – №6. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uchebno-issledovatel'skaya-deyatelnost-shkolnika-strukturnaya-model-i-formulirovka-ponyatiya> (дата обращения: 07.07.2026). DOI 10.26170/po19-06-01. EDN GXOIKO
3. Дубасва М.Р. Особенности мотивационной сферы личности подростков // Форум молодых ученых. – 2018. – №3 (19). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-motivatsionnoy-sfery-lichnosti-podrostkov> (дата обращения: 07.07.2026).
4. Клепач Ю.В. Особенности мотивации учебной деятельности подростков / Ю.В. Клепач, Т.В. Рубцова // Ped.Rev. – 2019. – №6 (28). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-motivatsii-uchebnoy-deyatelnosti-podrostkov> (дата обращения: 07.07.2026).
5. Ларькина Е.В. Методика исследовательской деятельности учащихся основной школы: автореф. дис. ... канд. пед. наук / Е.В. Ларькина. – М., 1996. – 16 с.
6. Марданова Г. К вопросу о мотивации подростков в современном мире / Г. Марданова, А.В. Семенова // Педагогика: история, перспективы. – 2021. – №4. – С. 70–76. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-motivatsii-podrostkov-v-sovremennom-mire> (дата обращения: 07.07.2026). DOI 10.17748/2686-9969-2021-4-4-70-76. EDN ZCIGYF
7. Михайлова М.С. Развитие мотивационной сферы учащихся в старшем подростковом возрасте / М.С. Михайлова, Т.В. Шамовская // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Гуманитарные и общественные науки. – 2021. – №1 (17). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-motivatsionnoy-sfery-uchaschihsya-v-starshem-podrostkovom-voznraze> (дата обращения: 07.07.2026).
8. Сидорова И.В. Развитие исследовательских умений у обучающихся / И.В. Сидорова, О.Г. Сиротина // Наука и образование. – 2022. – №1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-issledovatel'skih-umeniy-u-obuchayuschihsya> (дата обращения: 07.07.2026).
9. Теремов А.В. Методология исследовательской деятельности в образовании: учеб. пособие / А.В. Теремов. – М.: Московский педагогический государственный университет, 2018. – 112 с. EDN RXPRJX

Сергеева Алена Александровна

канд. пед. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого»

г. Тула, Тульская область

ПУТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОБЛЕМНОГО ОБУЧЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ИЗУЧЕНИЯ БИОЛОГИИ В ШКОЛЕ

Аннотация: в статье рассмотрены вопросы использования технологии проблемного обучения как инструмента повышения качества обучения биологии в школе, определены ее сущность и функции в процессе обучения. Раскрыты механизмы использования технологии в процессе изучения различных разделов школьного курса биологии.

Ключевые слова: изучение биологии в школе, обучения, технология обучения, технология проблемного обучения, проблемный вопрос, проблемная ситуация.

На сегодняшний день процесс изучения биологии невозможно представить без использования вариативного комплекса технологий и методов обучения. В этом контексте проблемное обучение выступает как одна из ведущих педагогических технологий, представляющая собой особый вид деятельности учителя, направленный на создание проблемных ситуаций,

решение проблемных задач, в процессе которого происходит усвоение обучающимися биологических понятий и закономерностей [1; 2]. Важно подчеркнуть, что данная дидактическая система опирается на закономерности творческого усвоения знаний учениками в совокупности с специфическим сочетанием приемов преподавания и учения, которым присущи черты научного поиска [3].

Анализ педагогических исследований последних лет позволяет нам определить технологию проблемного обучения как особую систему обучения, предполагающая создание педагогом проблемных ситуаций, формулировании проблемных вопросов, решение которых осуществляется обучающимися по заранее продуманному алгоритму [4]. При этом происходит развитие познавательной сферы школьников, формирование универсальных учебных действий и метапредметных умений.

Алгоритм использования технологии проблемного обучения включает в себя:

- 1) создание педагогом проблемной ситуации, представляющей собой познавательную трудность для ребенка, которую ему по силам разрешить, открыв для себя новые знания и способы действия с ними;
- 2) формулирование проблемы обучающимися как задачи или вопроса, способ решения или разрешения которых ему заранее неизвестен, но он обладает исходными знаниями и умениями для поиска результата или способа выполнения;
- 3) поиск решения проблемы обучающимися под руководством педагога, представляющий собой выдвижение гипотез, их обоснование и проверку;
- 4) формулирование выводов с систематизацией полученных знаний и практических умений [5].

К основным преимуществам использования технологии проблемного обучения в образовательном процессе можно отнести:

- высокую вовлеченность обучающихся;
- развитие логики, аналитического мышления обучающихся;
- формирование у обучающихся навыков применения теоретических знаний на практике;
- развитие умения аргументировать свою позицию [6].

Безусловно, проектирование урока с использованием технологии проблемного обучения требует от учителя большого запаса времени и опыта. Педагогу необходимо не только подобрать тематическую проблемную ситуацию, но и продумать систему подпроблем, которые необходимо разрешить обучающимся, группы наводящих вопросов, варианты визуализации рабочих гипотез и способы первичного закрепления полученного решения.

Уроки биологии обладают большим потенциалом использования технологии проблемного обучения, поскольку предметное содержание позволяет учителю сформулировать разные виды проблемных ситуаций:

- 1) ситуации «с удивлением», предполагающие столкновение двух противоположных фактов или мнений ученых;
- 2) ситуации «с затруднением», включающие практические задания, кажущиеся на первый взгляд знакомыми, но требующими новых знаний или способов действий для поиска их решения.

В методике обучения биологии различают четыре основных типа проблемных ситуаций:

- 1) ситуация нехватки знаний, при которой обучающиеся не могут решить задачу, ответить на вопрос из-за отсутствия необходимых знаний (так при изучении темы «Бактерии» в 7 классе ставится проблема: важнейшую роль в разложении погибших животных и растений играют бактерии гниения. Как вы думаете, все ли трупы животных и остатки растений разрушаются бактериями? А в очень сухой почве, например, в песке пустынь, хорошо сохраняются трупы животных. Дайте объяснение этому явлению);

- 2) ситуация новых условий, при которых необходимые знания у детей есть, однако им предстоит придумать, как применить имеющиеся знания и умения в новых условиях (например, в 9 классе при изучении темы «Форменные элементы крови» дети узнают, что всем

клеткам живого организма нужны питательные вещества и кислород. Кислород поступает через органы дыхания в кровь, а потом к каждой клетке. Потребность организма в кислороде не всегда одинакова. Когда человек сидит, он потребляет за 1 час 10–12 литров кислорода, а во время усиленной работы – 60–100 литров. Известно, что в 5 литрах воды может раствориться 0,1 л кислорода. В нашем организме 5 л крови. В состав кровяной плазмы входит 90% воды. Стало быть, в таком объеме крови может раствориться примерно 0,1 л кислорода. Налицо явное противоречие: минимальное потребление кислорода в 100 раз больше того, которое содержится в крови. Обучающимся предстоит решить проблему, каким образом организм обеспечивается столь большим количеством кислорода.);

3) ситуация противоречия между теоретической возможностью и практической осуществимостью, при которой школьникам надо выбрать из нескольких известных ему способов решения наиболее рациональный (например, в 9 классе при изучении темы «Поведение и психика» школьники могут решить следующую задачу: известный литературный герой Маугли вырос среди зверей. При этом он был высокоразвитым мыслящим существом: руководил стадами диких животных, умел разговаривать на языках разных зверей и обладал всеми человеческими качествами. Оцените реальность описанного Кипплингом облика Маугли с позиций современной науки);

4) ситуация противоречия между полученным практическим результатом и отсутствием знаний для того, чтобы объяснить, как и почему получен именно такой результат (например, при изучении темы «Стебель» можно предложить следующую противоречивую ситуацию. У деревьев умеренных широт за год образуется одно годичное кольцо, но у известного растения среднеазиатских пустынь саксаула в некоторые годы образуется три, а то и более колец. У тропических растений они могут вообще отсутствовать. Объясните, с чем это связано?).

Таким образом, мы видим, что использование технологии проблемного в процессе обучения биологии благодаря своей вариативности позволяет развивать познавательные способности обучающихся, их критическое и аналитическое мышление.

Список литературы

1. Забелина А.Ю. Технология проблемного обучения как средство повышения качества профессиональной деятельности / А.Ю. Забелина // Академическая публицистика. – 2020. – №8. – С. 91–94. EDN UBСПН
2. Катин В.Д. Инновационные образовательные технологии в сфере экологической подготовки выпускников и анализ метода проблемного обучения / В.Д. Катин, А.А. Журавлев // Современные технологии в российской и зарубежных системах образования: сборник статей XIII Международной научно-практической конференции (Пенза, 12–13 апреля 2024 года). – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2024. – С. 105–108. EDN SPRPGE
3. Ценер К.В. Технология проблемного обучения как педагогическая технология / К.В. Ценер // Русский язык и литература: актуальные проблемы теории и практики преподавания: сборник материалов IV Всероссийской научно-методической конференции (Коломна, 26 марта 2019 года) / под ред. М.А. Дубовой, Т.А. Капыриной. – Коломна: Государственное образовательное учреждение высшего образования Московской области «Государственный социально-гуманитарный университет», 2019. – С. 268–272. EDN QBGAHX
4. Подмарев И.А. Организация самостоятельной деятельности обучающихся посредством технологии проблемного обучения / И.А. Подмарев // Роль культурного наследия в современных этнополитических, этнообразовательных, этноконфессиональных процессах: материалы Всероссийской научно-практической конференции (Саранск, 14 декабря 2022 года). – Саранск: Мордовский государственный педагогический университет им. М.Е. Евсевьева, 2023. EDN FJLLYF
5. Зарипова Р.С. Проблемные задания как инструмент формирования естественнонаучной грамотности при обучении биологии / Р.С. Зарипова // Вестник Набережночелнинского государственного педагогического университета. – 2024. – № S2–1 (50). – С. 174–176. EDN DTQRFH
6. Пушкарева М.С. Анализ опыта использования элементов проблемного обучения на уроках биологии / М.С. Пушкарева, Е.Б. Якушевская // Инновационные технологии в технике и образовании: материалы XV Международной научно-практической конференции. Посвящается году «Педагога и наставника» (Чита, 7–8 декабря 2023 года). – Чита: Забайкальский государственный университет, 2023. – С. 129–133. EDN HFG BEN

Хуснутдинова Анна Сергеевна
студентка

Тютрина Дарья Викторовна
студентка

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
аграрный университет им. И.Т. Трубилина»
г. Краснодар, Краснодарский край

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И АКТИВНЫХ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ В ПРЕПОДАВАНИИ КЛИНИЧЕСКИХ ВЕТЕРИНАРНЫХ ДИСЦИПЛИН

Аннотация: (на русском языке): статья изучает аспекты интеграции активных методов обучения в преподавание клинических ветеринарных дисциплин с целью улучшения профессиональных навыков. В работе выполняется анализ направлений цифровых технологий, применимых в этой сфере. В итоге статьи формируется вывод по ранее проведенному опросу студентов-ветеринаров об эффективности технологических инноваций.

Ключевые слова: (на русском языке): ветеринария, методы обучения, цифровые технологии.

Общество непрерывно развивается, что отражается как на обычной жизни людей, так и на направлениях социального развития. Ключевым драйвером изменений считаются цифровые преобразования. Так, XXI век называют «периодом цифровых трансформаций», охватившим практически все аспекты жизни человека. Медицина, как структурная единица жизни человека, подвержена этим преобразованиям не меньше, чем другие ее направления. Однако наибольший интерес вызывает не столько медицина человека, сколько животных.

Животные в современном мире выполняют две ключевые функции: являются источником получения ресурсов для жизни и обеспечивают эмоциональные изменения. Именно это обуславливает такую актуальность изучения цифровых технологий в ветеринарии, особенно в ее клиническом направлении, как инновационного перспективного направления профессионального развития [2; 4].

Основной проблемой в клинической ветеринарии является ее преподавание, как не только обычной теоретической науки, но и как важного элемента будущей профессиональной деятельности. Сегодня эта трудность наиболее эффективно возможно преобразовать в положительную сторону благодаря цифровым инновациям и активным методам обучения, интеграция которых приводит к формированию нового поколения ветеринарных врачей, более подготовленного. В таблице 1 предлагается рассмотреть цифровые технологии и активные методы обучения, приводящие совершенствованию ветеринарии [3; 4].

Таблица 1

Цифровые технологии и активные методы обучения
в ветеринарном образовании [1, 5]

Комбинированный метод	Содержание	Дисциплины	Образовательный эффект
Цифровой кейс + симуляция	Студенты получают цифровой клинический кейс с симптомами, результатами анализов и визуальными данными (УЗИ, рентген). На основе анализа они выбирают тактику в симуляторе и наблюдают результат своих решений	Клиническая диагностика, терапия, хирургия	Формирование алгоритма клинического мышления; снижение риска ошибок в реальной практике

Комбинированный метод	Содержание	Дисциплины	Образовательный эффект
Виртуальный пациент + проблемно-ориентированное обучение	Разбор сложного клинического случая через цифровую платформу с этапами дифференциальной диагностики	Внутренние незаразные болезни, эпизоотология	Развитие навыков системного анализа и принятия решений
Мобильные приложения + интерактивные тесты	Использование приложений для самопроверки знаний в игровой форме (квизы, тесты с мгновенной обратной связью)	Фармакология, паразитология, анатомия	Повышение мотивации; закрепление знаний в увлекательной форме
Веб-квесты по эпизоотологии	Студенты работают с открытыми цифровыми данными о вспышках инфекций и разрабатывают противоэпизоотические мероприятия	Эпизоотология, инфекционные болезни	Умение работать с информацией, анализировать эпизоотическую ситуацию

Комбинация цифровых технологий и активных методов обучения создает синергетический эффект, позволяя студентам не просто усваивать теорию, а применять знания в смоделированных профессиональных ситуациях. Каждый из представленных методов решает конкретную образовательную задачу, а их комплексное использование в рамках учебных программ обеспечивает подготовку ветеринарных врачей, обладающих как глубокими теоретическими знаниями, так и устойчивыми практическими навыками и развитым клиническим мышлением [1; 5].

Установленные интеграции предлагается внедрить в образовательную программу студентов-ветеринаров аграрного университета. Для этого было отобрано 10 студентов в возрасте от 18 до 23 лет и проведены тесты до и после внедрения инновационных методов преподавания с оценкой по 10-балльной шкале. В таблице 2 представлен результат исследования [2; 3].

Таблица 2
Результаты внедрения цифровых и активных методов обучения [4, 5]

Показатель	Традиционное обучение	С использованием цифровых и активных методов	Изменение, %
Степень вовлечённости студентов (из 10 баллов)	5,2	8,5	↑ 63
Уровень усвоения практических навыков (из 10 баллов)	6,0	8,8	↑ 47
Время на освоение сложных манипуляций (часы)	30	18	↓ 40
Доля студентов, уверенно применяющих навыки на практике, %	55	85	↑ 30
Удовлетворённость образовательным процессом (из 10 баллов)	6,5	8,7	↑ 34

Внедрение цифровых и активных методов обучения в ветеринарное образование является педагогически обоснованным и высокоэффективным. Показатели вовлечённости (увеличились на 63%), практических навыков (выросли на 47%), времени освоения манипуляций (уменьшились на 40%), уверенности в применении навыков (увеличились на 30%) и удовлетворённости (увеличились на 34%) подтверждают преимущества современных образовательных подходов [4, 5].

Таким образом, выполненный теоретический и практический анализ позволил сформировать интеграционные образовательные решения для обучающихся ветеринарных учреждений среднего и высшего образования с целью повышения их навыков в клинических дисциплинах для успешной реализации в профессиональной деятельности.

Рекомендуется системное внедрение цифровых и активных методов в учебные программы для повышения качества подготовки ветеринарных специалистов и их конкурентоспособности на рынке труда.

Список литературы

1. Евдокимова А.С. Клинический случай. Эндометрит у кошки / А.С. Евдокимова // Ветеринарное акушерство, гинекология и биотехника репродукции животных. – 2019. – С. 152–153.
2. Круглый стол на тему «Интерактивные методы обучения и активизация познавательной деятельности студентов: проблемы и решения»: материалы (Омский ГАУ, факультет ветеринарной медицины, 11 марта 2026 г.) / под ред. Т. В. Бойко // Омский ГАУ. – URL: clck.ru/3UHFLM (дата обращения 22.06.2026).
3. Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия. Цифровые технологии в ветеринарии: новый этап обучения // Новости НГТУ. – 2026. – 22 апреля. – URL: <https://news.nnsaa.ru/cifroviinehnologii-v-vtterenarii/> (дата обращения 22.06.2026).
4. Сектор-ЦД – образовательная платформа с VR и цифровыми двойниками. – URL: <https://workspace.ru/cases/sektor-cd-obrazovatel'naya-platforma-s-vr-i-cifrovymi-dvoynnikami/> (дата обращения 22.06.2026).
5. ФГБОУ ВО «Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В. Р. Филиппова». Рабочая программа дисциплины «Цифровые технологии (в отрасли) и управление данными»: специальность 36.03.01 Ветеринарно-санитарная экспертиза. – Улан-Удэ, 2025. – 24 с.

Шалимов Владислав Юрьевич

студент

Якубень Захар Алексеевич

студент

Филиппская Анастасия Вадимовна

старший преподаватель

ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»

г. Москва

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ АНГЛОЯЗЫЧНЫХ ТЕРМИНОВ-НЕОЛОГИЗМОВ В РУССКОЯЗЫЧНОМ ДИСКУРСЕ БИОТЕХНОЛОГИИ

Аннотация: в статье исследуются пути проникновения и адаптации англоязычных терминов-неологизмов сферы редактирования генома в русскоязычном научном и научно-популярном дискурсе. На материале публикаций о CRISPR-системах, prime editing и base editing выделены три модели заимствования: материальное, структурное и семантическое калькирование, а также гибридные формы. Рассмотрены семантические сдвиги, прагматический аспект функционирования неологизмов и проблема терминологической дублетности. Отмечается, что высокая метафоричность базовых концептов способствует активному калькированию, тогда как уникальные компоненты терминосистемы осваиваются транскрипцией.

Ключевые слова: неологизм, заимствование, редактирование генома, CRISPR, биотехнология, термин, калька, дискурс, вариантность.

Развитие технологий направленного редактирования генома – CRISPR-Cas9, base editing, prime editing – породило мощный корпус англоязычной терминологии, стремительно осваиваемой русскоязычным научным сообществом. Абсолютное доминирование английского языка в международной научной коммуникации предопределило интенсивный характер заимствования, которое часто носит стихийный характер. Это порождает проблему терминологической вариативности, способной затруднять взаимопонимание внутри

профессионального сообщества. Цель работы – выявить и систематизировать основные модели передачи англоязычных неологизмов в русскоязычных текстах по редактированию генома.

Анализ материала позволил выделить три модели адаптации, которые, как правило, сосуществуют и конкурируют друг с другом. Материальное заимствование, осуществляемое путём транскрипции либо транслитерации, характерно для акронимов и терминов с непрозрачной внутренней формой. Данная модель обеспечивает максимально быстрое вхождение лексемы в оборот и сохраняет узнаваемую связь с международным обозначением. Центральный пример – акроним CRISPR, последовательно передаваемый как КРИСПР. Расшифровка акронима, звучащая как «короткие палиндромные повторы, регулярно расположенные группами», воспроизводится лишь при первом упоминании, после чего термин функционирует как немотивированная единица, что подтверждается появлением дериватов: прилагательного «криспровский» и окказионального глагола «криспировать» в профессиональном жаргоне. По той же модели осваиваются лексемы «спейсер», «праймер», «нокаут», «нокин» и «никаза». Пример с никазой особенно показателен в словообразовательном отношении: английский суффикс *-ase*, служащий маркером ферментов, последовательно передаётся русским *-аза*, что немедленно включает термин в существующую словообразовательную парадигму – ср. ДНК-аза, РНК-аза, полимераза – и способствует утрате иноязычной маркированности уже на раннем этапе освоения.

Структурное и семантическое калькирование широко распространено благодаря глубинной метафоричности многих базовых концептов редактирования генома. Две ключевые метафоры – «текст» и «инструмент» – во многом определили облик русскоязычной терминологии. Центральный пример – сам термин «редактирование генома», представляющий собой кальку с английского *genome editing*. Глагол «редактировать» на протяжении столетий относился исключительно к работе с текстом, на что указывает и словарная фиксация: английское *edit* означает «редактировать, готовить к печати». Под влиянием англоязычного научного дискурса лексема приобрела принципиально новое значение – «направленно изменять нуклеотидную последовательность ДНК». Сегодня эта семантическая калька полностью ассимилирована, о чём свидетельствует широкая сочетаемость: редактировать ген, геномный редактор, редактирование оснований. В число других структурных калек входят «направляющая РНК» – молекула, комплементарно узнающая целевой участок ДНК, «генетические ножницы» – устойчивая метафора, функционирующая как полноценный научно-популярный термин, а также «редактирование оснований». Семантическое калькирование расширяет значения исконных русских слов, не изменяя их материальной оболочки. Лексема «мишень», соответствующая английскому *target* в его общеязыковом значении «цель, мишень», приобрела терминологический смысл «участок ДНК, комплементарный направляющей последовательности» – отсюда образования «ген-мишень», «мишеный участок», «нецелевое редактирование», калькированное с английского *off-target editing*. Сходный процесс наблюдается у лексемы «доставка»: английское *delivery*, словарные значения которого включают «доставку, вручение, роды, произнесение речи», в биотехнологическом контексте терминологизируется в значении «доставка генетической конструкции в клетку-мишень», порождая словосочетания «вектор доставки», «система доставки», «липидные наночастицы для доставки».

Гибридные образования составляют значительный пласт современной терминологии редактирования генома. Термин «прайм-редактирование» совмещает транслитерацию первого компонента и перевод второго. Аббревиатура «крРНК», образованная от CRISPR-РНК по образцу мРНК и тРНК, демонстрирует высокую степень русификации: в английском языке аналогичное сокращение отсутствует, используется *crRNA*. Профессиональный жаргон даёт такие формы, как «гид-РНК» – усечённый вариант от «направляющая РНК», мотивированный английским *guide*, а также «нокаутированный ген», «нокиновые мышцы», «отредактированная

линия клеток». Заимствованная основа в подобных случаях свободно обрастает русскими аффиксами и флексиями, что свидетельствует о полноценной морфологической ассимиляции.

Прагматический аспект функционирования неологизмов заслуживает отдельного рассмотрения. Выход терминологии редактирования генома за пределы узкопрофессиональной среды в публичное пространство порождает дополнительные коннотации. Словосочетание «дизайнерские дети», представляющее собой полную семантическую кальку с английского *designer babies*, функционирует почти исключительно в публицистическом и научно-популярном дискурсе, маркируя этически тревожную тональность обсуждения. Напротив, метафора «генетических ножниц» дедраматирует технологию, представляя её как точный и контролируемый инструмент. Выбор между этими вариантами всегда является сознательным прагматическим ходом автора. В строгом научном тексте предпочтение закономерно отдаётся нейтральному описательному обороту «генетическая модификация эмбрионов».

Проблема терминологической вариативности остаётся одной из центральных при изучении неологизмов. Сосуществование дублетов представляет собой закономерную черту периода активного терминологического освоения. В исследованном материале фиксируются орфографические дублеты, такие как CRISPR и КРИСПР, словообразовательные варианты вроде «генный нокаут» и «нокаут гена», «прайм-редактирование» и «праймовое редактирование», а также лексические дублеты, где структурная калька конкурирует с транскрипцией: «направляющая РНК» и «гид-РНК», «генный драйв» и «генный драйвер». Наблюдается следующая тенденция: на начальном этапе освоения доминирует транскрипция, сохраняющая прямую связь с англоязычным источником, а по мере вхождения термина в широкий научный обиход активизируются процессы калькирования и гибридного словообразования. Термины с прозрачной внутренней формой, такие как «направляющая РНК» или «редактирование оснований», имеют высокие шансы вытеснить транслитерированные варианты в письменной научной речи, тогда как в устной профессиональной коммуникации, по-видимому, сохраняются более краткие жаргонные формы.

Таким образом, англоязычные неологизмы сферы редактирования генома осваиваются русскоязычным дискурсом по трём основным моделям: материальное заимствование, структурное и семантическое калькирование, гибридные образования. Высокая метафоричность исходных концептов способствует активному калькированию, тогда как уникальные компоненты терминосистемы, в первую очередь акронимы и названия ферментов, последовательно транслитерируются. Процесс стандартизации далёк от завершения: конкуренция вариантов отражает динамический характер современной научной терминологии. Дальнейшее развитие терминосистемы будет определяться как собственно лингвистическими факторами – словообразовательным потенциалом, степенью системной встроенности, благозвучием, – так и экстралингвистическими, включая редакционную политику ведущих научных журналов и авторитет сложившихся научных школ. Перспективным направлением дальнейших исследований представляется количественный анализ частотности конкурирующих вариантов на материале представительного корпуса текстов, а также экспериментальное изучение восприятия неологизмов носителями языка с разным уровнем профессиональной подготовки.

Список литературы

1. Авербух К.Я. Общая теория термина / К.Я. Авербух. – Иваново: Ивановский государственный университет, 2004. – 252 с.
2. Алексеева Л.М. Метафора в научном дискурсе: когнитивный аспект / Л.М. Алексеева, С.Л. Мишланова // Вестник Пермского университета. Российская и зарубежная филология. – 2016. – №2 (34). – С. 15–24.
3. Большой англо-русский словарь / под общ. ред. В.К. Мюллера. – 24-е изд., стереотип. – М.: Русский язык, 2000. – 2106 с.

Научное электронное издание

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПО ПРИОРИТЕТНЫМ НАПРАВЛЕНИЯМ
БИОЭКОЛОГИИ И БИОТЕХНОЛОГИИ**

Материалы
IX Всероссийской научно-практической конференции
с международным участием
(Ульяновск, 22 мая 2026 г.)

Главный редактор *Е. И. Антонова*
Компьютерная вёрстка *Е. В. Кузнецова*

Подписано к использованию 10.07.2026 г.

Объем 5,25 Мб. Тираж 20 экз.

Уч. изд. л. 24,96.

ООО «Издательский дом «Среда»
428023, Чебоксары, ул. Гражданская, д.75, оф.12
+7 (8352) 655-731
info@phsreda.com
<https://phsreda.com>