

ВЕСТНИК МГПУ.

СЕРИЯ «ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ».

**MCU JOURNAL
OF NATURAL SCIENCES**

№ 3 (63)

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ / SCIENTIFIC JOURNAL

**Издается с 2008 года
Выходит 4 раза в год**

**Published since 2008
Quarterly**

**Москва
2026**

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Геворкян Е. Н. председатель	и. о. ректора ГАОУ ВО МГПУ, академик РАО, доктор экономических наук, профессор (Москва, Россия) gevorgian@mgpu.ru
Агранат Д. Л. заместитель председателя	проректор ГАОУ ВО МГПУ, доктор социологических наук, доцент (Москва, Россия) agranat@mgpu.ru
Комаров Р. В. заместитель председателя	проректор ГАОУ ВО МГПУ, кандидат психологических наук, доцент (Москва, Россия) komarovrv@mgpu.ru

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Страдзе А. Э. главный редактор	доктор социологических наук, Московский городской педагогический университет, Москва, Российская Федерация
Шульгина О. В. заместитель главного редактора	доктор исторических наук, кандидат географических наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, Московский городской педагогический университет, Москва, Российская Федерация
Агамирова Е. В. ответственный секретарь	кандидат экономических наук, доцент, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Российская Федерация
Быховская И. М.	доктор философских наук, профессор, Московский городской педагогический университет, Москва, Российская Федерация
Воронов Л. Н.	доктор биологических наук, профессор, Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова, Чебоксары, Российская Федерация
Голикова А. Н.	доктор биологических наук, профессор, Национальный медицинский научный центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Российская Федерация
Городничев Р. М.	доктор биологических наук, профессор, Великолукская государственная академия физической культуры и спорта, Великие Луки, Российская Федерация
Горская И. Ю.	доктор педагогических наук, профессор, Сибирский государственный университет физической культуры и спорта, Омск, Российская Федерация
Калуцков В. Н.	доктор географических наук, старший научный сотрудник (доцент), Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация
Капилевич Л. В.	доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент Академии наук Высшей школы, член-корреспондент Международной академии информатизации, Томский государственный национальный исследовательский университет, Томск, Российская Федерация
Коптюг А. В.	кандидат физико-математических наук, профессор, исследовательский центр спортивных технологий, Университет Центральной Швеции, Эстерсунд, Швеция
Курбанова Н. Н.	кандидат биологических наук, доцент, Ургенчский филиал Ташкентской медицинской академии, Ургенч, Узбекистан

- Лопатников Д. Л.** доктор географических наук, профессор, Институт географии Российской академии наук, Москва, Российская Федерация
- Луговской А. М.** доктор географических наук, кандидат биологических наук, доцент, Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Российская Федерация
- Максимов В. И.** доктор биологических наук, профессор, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К. И. Скрябина, Москва, Российская Федерация
- Оганджанов А. Л.** доктор педагогических наук, профессор, Московский городской педагогический университет, Москва, Российская Федерация
- Пашков С. В.** кандидат географических наук, доцент, Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева, Петропавловск, Казахстан
- Пушкина В. Н.** доктор биологических наук, профессор, Московский государственный университет спорта и туризма, Москва, Российская Федерация
- Рахимов И. И.** доктор биологических наук, профессор, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Российская Федерация
- Резанов А. Г.** доктор биологических наук, доцент, почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, Московский городской педагогический университет, Москва, Российская Федерация
- Стрижак А. П.** доктор педагогических наук, профессор, Московский городской педагогический университет, Москва, Российская Федерация
- Тамбовцева Р. В.** доктор биологических наук, профессор, академик РАЕ, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва, Российская Федерация
- Ткачев А. В.** доктор сельскохозяйственных наук, Международная ветеринарная академия, Москва, Российская Федерация
- Федорова Е. Ю.** доктор биологических наук, доцент, Московский городской педагогический университет, Москва, Российская Федерация
- Холзер А. Н.** доктор биологических наук, доцент, школа профессиональной подготовки, Реабилитационно-восстановительный центр, Глан, Швейцария
- Шевченко Т. Н.** кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры легкой атлетики, туризма и водных видов спорта, Кыргызская государственная академия физической культуры и спорта, Бишкек, Кыргызстан
- Щуров А. Г.** доктор педагогических наук, кандидат медицинских наук, профессор, заслуженный работник физической культуры Российской Федерации, Военный институт физической культуры Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

СОДЕРЖАНИЕ

Слово главного редактора	8
---------------------------------------	----------

Экология

<i>Соловьев С. А., Сорочинский М. В., Соловьев Ф. С.</i> Плотность населения и видовое богатство птиц Ишимской лесостепи и степи Северного Казахстана в первой половине лета.....	10
<i>Рахимов И. И., Басыйров А. М., Игнашев Н. Е., Латыпова Л. И.</i> Биogeографические особенности орнитофауны Татарстана	23
<i>Гичун И. А., Мирсанова А. А., Бурукина О. А., Луговской А. М.</i> Оценка влияния борщевика Сосновского на экосистемные сервисы Московского региона	39

Науки о Земле. Социально-экономические компоненты геосистем

<i>Лобжанидзе А. А., Лопатников Д. Л.</i> Устойчивое развитие: концептуальные проблемы и перспективы.....	52
<i>Яковенко Н. В., Семина И. А., Фоломейкина Л. Н.</i> Типологическая группировка субъектов Приволжского федерального округа на основе интегральной оценки напряженности рынка труда и демографического старения.....	68
<i>Архипов Р. Д.</i> Факторы и закономерности формирования территориальной организации новой возобновляемой энергетики на территории Европейского союза.....	93

Биологические науки

<i>Терехов П. А., Киндюхин Е. А., Ефременков Е. К.</i> Особенности нейронального метаболизма головного мозга спортсменов с разными типами вегетативной регуляции сердечного ритма в процессе тестирования субмаксимальной мощности	109
--	-----

**Курбанова Н. Н., Кадамбаев Б. Б., Иноятова Ф. Х.,
Рахманов А. Х., Абдурахмон Р. у. А.** Морфологические
и количественные морфометрические изменения печени
при экспериментально индуцированном метаболическом
синдроме..... 129

Чан Т. Ч., Звягина Н. В., Талеева А. И., Клыков А. В.
Пространственная организация БЭА головного мозга
при когнитивной деятельности у студентов России
и Вьетнама с разным уровнем ситуативной тревожности 144

Естественно-научные основы физического воспитания и спортивной тренировки

Оганджанов А. Л., Самойлов Г. В. Кинематические
показатели соревновательной деятельности ведущих
барьеристок мира и России в беге на 400 м..... 166

**Померанцев А. А., Шкляров В. Б., Соломенцев Р. Г.,
Цветков В. В.** Анализ динамической структуры
выполнения прыжка вверх у баскетболистов
с использованием тензодинамометрии..... 178

Здоровьесберегающие технологии

Горская И. Ю., Мартынова А. С., Клименко А. А.
Возможности применения фитнес-джампинга
для развития выносливости и улучшения
функционального состояния женщин 35–45 лет 200

Назарова К. М., Голикова А. Н., Марченкова Л. А.
Влияние реабилитации в условиях виртуальной среды
на уровень тревожности и страх повторной травмы
у пациентов после травм и хирургического лечения
нижних конечностей 212

Требования к оформлению статей..... 225

CONTENTS

Word of the Editor-in-Chief.....	8
---	----------

Ecology

<i>Soloviev S. A., Sorochinsky M. V., Soloviev F. S.</i> Density and species richness of birds in the Ishim forest-steppe and steppe of Northern Kazakhstan in the first half of summer	10
<i>Rakhimov I. I., Basyrov A. M., Ignashev N. E., Latypova L. I.</i> Features of biogeographical distribution of avifauna of Tatarstan.....	23
<i>Gichun I. A., Mirsanova A. A., Burukina O. A., Lugovskoy A. M.</i> Assessing the impact of Sosnowsky's Hogweed on ecosystem services in the Moscow region.....	39

Earth Sciences. Socio-Economic Components of Geosystems

<i>Lobzhanidze A. A., Lopatnikov D. L.</i> Sustainable development: conceptual problems and prospects	52
<i>Yakovenko N. V., Semina I. A., Folomeykina L. N.</i> Typological grouping of the regions of the Volga Federal District based on an integrated assessment of labor market intensity and demographic aging.....	68
<i>Arkhipov R. D.</i> Factors and patterns of formation of the territorial organization of new renewable energy in the European Union.....	93

Biological Sciences

<i>Terekhov P. A., Kindyukhin E. A., Efremkov E. K.</i> Features of neuronal metabolism of the brain of athletes with different types of autonomic regulation of cardiac rhythm during submaximum power testing	109
--	-----

<i>Kurbanova N. N., Qadambayev B. B., Inoyatova F. Kh., Rakhmonov A. Kh., Abduvaliyev A. R. o.</i> Morphological and quantitative morphometric changes in the liver in experimentally induced metabolic syndrome.....	129
<i>Chang T. C., Zvyagina N. V., Taleeva A. I., Klykov A. V.</i> Spatial organization of bioelectrical activity of the brain during cognitive activity in students from Russia and Vietnam with different situational anxiety.....	144

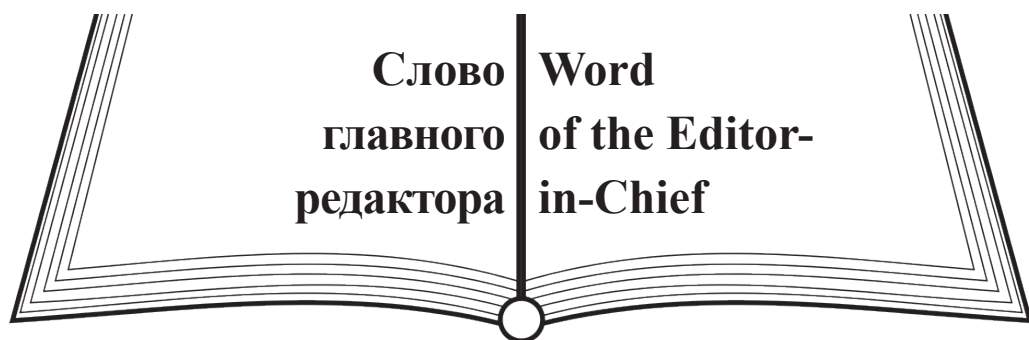
Natural Science Fundamentals of Physical Education and Sports Training

<i>Ogandganov A. L., Samoilov G. V.</i> Kinematic indicators of competitive activity of the world's and Russia's leading hurdlers in the 400 m.....	166
<i>Pomerantsev A. A., Shklyarov V. B., Solomentsev R. G., Tsvetkov V. V.</i> Force plate analysis of countermovement jump mechanics in university basketball players	178

Health-Saving Technologies

<i>Gorskaya I. Yu., Martynova A. S., Klimenko A. A.</i> The potential of fitness jumping for developing endurance and improving the functional state of women aged 35–45 years	200
<i>Nazarova K. M., Golikova A. N., Marchenkova L. A.</i> The impact of virtual rehabilitation on anxiety levels and re-injury fear in patients after lower limb injuries and surgeries.....	212

Requirements for Style of Articles	225
--	-----



Дорогие читатели!

Представляем вашему вниманию третий выпуск журнала «Вестник МГПУ. Серия «Естественные науки» за 2026 год.

За окном — самый разгар лета, время буйства жизни, период, когда природа демонстрирует все свое многообразие. Поля, луга, леса и водоемы наполняются жизнью, представляя собой сложные, взаимосвязанные экосистемы.

Летний период — это демонстрация гармоничного взаимодействия всех живых организмов. Растения производят кислород и пищу; насекомые, в свою очередь, участвуют в опылении, регулировании численности других видов. Мы прекрасно знаем, что деятельность пчел, к примеру, не только обеспечивает им пропитание, но и является залогом репродуктивного успеха многих растений. Разложение органических остатков (отмерших растений, животных) насекомыми-детритофагами возвращает питательные вещества в почву, поддерживая ее плодородие.

Без понимания всех этих процессов и их естественно-научных основ

невозможно оценить сложность, хрупкость и удивительную красоту летней природы.

Симфония лета немыслима без участия микромира. Бактерии и грибы, невидимые глазу, являются главными актерами в драме разложения. Они неустанно трудятся, перерабатывая опавшие листья, мертвых насекомых и прочие органические остатки. Этот гигантский природный конвейер обеспечивает круговорот веществ в биосфере, возвращая в почву азот, фосфор и другие жизненно важные элементы, которые вновь становятся доступны растениям. Без этой невидимой армии разрушителей жизнь на Земле замерла бы, погребенная под собственными отходами.

Водоемы летом превращаются в бурлящие котлы жизни. Водоросли, микроскопические растения, усваивают солнечную энергию и углекислый газ, насыщая воду кислородом.

Даже самые мелкие изменения в окружающей среде — колебания температуры, влажности, освещенности — оказывают значительное влияние на активность и выживание живых

организмов. Растения, благодаря своей приспособляемости, могут мгновенно реагировать на погодные условия, замедляя или ускоряя свой рост. Насекомые, будучи холоднокровными, полностью зависят от внешней температуры: жаркие солнечные дни стимулируют их активность, в то время как резкое похолодание может привести к временному замиранию.

Невидимые нити взаимосвязи тянутся между всеми элементами летней экосистемы. Птицы, питающиеся насекомыми, регулируют их численность, предотвращая массовое уничтожение растительности. Насекомоядные растения, такие как росянка или венерин мухолов, дополняют свой рацион, ловя насекомых в условиях, где почва бедна питательными веществами. Каждый вид, от бактерии до слона, является звеном в этой сложной, но удивительно гармоничной цепи жизни.

Таким образом, лето — это не просто период солнечных дней и тепла.

Это кульминация природных циклов, период максимальной биопродуктивности и яркого проявления взаимосвязей в живой природе. Понимание этих естественных процессов позволяет глубже оценить хрупкость и невероятную красоту окружающего мира, побуждая к бережному отношению к каждому его обитателю.

Материалы, размещенные в третьем выпуске, посвящены различным природным явлениям, происходящим не только в летний период; здесь вы также ознакомитесь с проблемами устойчивого развития, различными аспектами человеческой деятельности, в том числе и его физической активности, вопросами здоровьесбережения и репродуктивности, но в совокупности тема лета и демонстрации природных возможностей всего живого на Земле просматривается через все рубрики номера.

Желаем вам полезного прочтения!

С уважением, главный редактор журнала
«Вестник МГПУ. Серия «Естественные науки»
доктор социологических наук *Александр Эдуардович Страдзе*



Исследовательская статья

УДК 598.2/9+591.5

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-10-22

**Сергей Александрович Соловьев¹,
Максим Викторович Сорочинский²,
Федор Сергеевич Соловьев³**

^{1,2} Институт систематики и экологии животных СО РАН,
Новосибирск, Россия

¹ Новосибирский государственный университет экономики и управления,
Новосибирск, Россия

¹ Новосибирский государственный педагогический университет,
Новосибирск, Россия

² Северо-Казахстанский областной краеведческий музей,
Петропавловск, Казахстан

³ Министерство природных ресурсов и экологии Омской области,
Омск, Россия

ПЛОТНОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ И ВИДОВОЕ БОГАТСТВО ПТИЦ ИШИМСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ И СТЕПИ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА В ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ ЛЕТА

Аннотация. В статье проанализирована плотность населения и видовое богатство орнитокомплексов на пяти участках южной лесостепи и северной степи Ишимской лесостепи и степи Западно-Сибирско-Казахстанской степной области Северного Казахстана в первой половине лета (с 16 мая по 15 июля) в 2010, 2011, 2024 и 2025 гг. Определены тренды динамики суммарного обилия и видового богатства птиц от урбанизированных территорий естественных ландшафтов лесостепи и степи Северного Казахстана. Обсуждены аспекты природно-антропогенного воздействия на плотность населения птиц и их биоразнообразие. Максимальное суммарное обилие птиц установлено для местообитаний селитебного типа региона, в степных местообитаниях плотность населения птиц ниже в пять раз, чем в городах, и всемерно меньше, чем в лесополесных урочищах. Минимальное суммарное обилие птиц учтено в проточных

и непроточных водоемах. Видовое богатство, наоборот, уменьшается от пойменного лесолугового ландшафта реки Ишим к среднеоблесенным местообитаниям и массивам многоэтажной жилой застройки городов, а также к промышленной зоне Петропавловска. Минимальное видовое богатство птиц характерно для сухих котловин горько-соленых озер и полей пшеницы в северной степи.

Ключевые слова: птицы, население, суммарное обилие, видовое богатство, Ишимская лесостепь и степь, Западно-Сибирско-Казахстанская область

Финансирование: исследование не имело финансовой поддержки.

Research article

UDC 598.2/9+591.5

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-10-22

**Sergej Aleksandrovich Soloviev¹,
Maksim Viktorovich Sorochinsky²,
Feodor Sergeevich Soloviev³**

^{1,2} Institute of Animal Systematics and Ecology SB RAS,
Novosibirsk, Russia

¹ Novosibirsk State University of Economics and Management,
Novosibirsk, Russia

¹ Novosibirsk State Pedagogical University,
Novosibirsk, Russia

² North Kazakhstan Regional Museum of Local Lore,
Petropavlovsk, Kazakhstan

³ Ministry of Natural Resources and Environment of the Omsk Region,
Omsk, Russia

DENSITY AND SPECIES RICHNESS OF BIRDS IN THE ISHIM FOREST-STEPPE AND STEPPE OF NORTHERN KAZAKHSTAN IN THE FIRST HALF OF SUMMER

Abstract. The article analyzes the population density and species richness of ornitho-complexes in five areas of the southern forest-steppe and northern steppe of the Ishim forest-steppe and steppe of the West Siberian-Kazakhstan steppe region of Northern Kazakhstan in the first half of summer (from May 16 to July 15) in 2010, 2011, 2024 and 2025. Trends in the dynamics of the total abundance and species richness of birds from urbanized areas to natural landscapes of the forest-steppe and steppe of Northern Kazakhstan are determined. Aspects of natural and anthropogenic impact on the population density of birds and their biodiversity are discussed. The maximum total bird abundance was found in residential habitats; in steppe habitats, bird population densities were five times lower than in cities and seven times lower than in forested areas. The minimum total bird abundance was found in flowing and stagnant water bodies. Species richness, on the contrary, decreases from the floodplain forest-meadow landscape of the Ishim River to moderately forested habitats and to the high-rise residential areas of cities and the industrial zone of Petropavlovsk. Minimal bird species

richness is characteristic of the dry basins of bitter-salt lakes and wheat fields in the northern steppe.

Keywords: birds, population, total abundance, species richness, Ishim forest-steppe and steppe, West Siberian-Kazakhstan region

Funding statement: no funding was received for writing this manuscript.

Введение

Исследование плотности населения птиц и их видового богатства — важнейшая проблема биологических наук. Ведение кадастра населения позвоночных животных и выявление современного состояния биоты природных и антропогенных биогеоценозов по-прежнему входит в фундаментальные направления современных экологических работ [6]. Анализ населения птиц проводят по их численности, видовому богатству, доминантам, лидерам, биомассе и другим характеристикам орнитокомплексов. В исследуемых нами орнитокомплексах Западно-Сибирско-Казахстанской степной области¹ между Костанайской областью Казахстана и Омской областью России в Ишимской лесостепи и степи Северного Казахстана происходит увеличение площади селитебных территорий. В результате внутренней миграции части населения Казахстана в более крупные города возникла потребность в создании дополнительных жилых площадей в городах и поселках. Наряду с возведением многоэтажных многоквартирных домов продолжает увеличиваться площадь микрорайонов одно- и двухэтажной коттеджной застройки. На фоне значительных колебаний температур неустойчивого климата в регионе происходит увеличение заброшенных, ранее распаханых на юге целинных и залежных полей и, наряду с этим, катастрофическое зарастание бывших низкоурожайных полей на бедных гумусом почвах мелколиственными деревьями и кустарниками на севере Ишимской лесостепи. В центральной части Ишимской лесостепи вдоль Транссибирской железнодорожной магистрали и сейчас большие черноземные площади межколочных пространств по-прежнему распаханы и засеяны пшеницей, рапсом и льном. В настоящий период находятся залежи на месте бывших моноагроценозов и выпасов.

Важнейшей задачей нашего исследования является выявление основных параметров населения для последующего сохранения биоразнообразия птиц в процессе его использования в степной зоне. При этом появившиеся в настоящий период высокопродуктивные лесостепные и степные моноагроценозы Северного Казахстана могут минимизировать нагрузку на прилегающих ландшафтах. Это позволит обеспечить экологический резерв биоты Западно-Сибирско-Казахстанской степной области для их восстановления с возможностью ограничения выпаса скота в степных биогеоценозах. Известно, что утрата

¹ Николаев В. А. Ландшафты азиатских степей. М.: Изд-во МГУ, 1999. 288 с.

степных ландшафтов становится основной причиной деградации степной зоны в Северной Евразии.

Орнитокомплексы юго-западной части Западно-Сибирской равнины и Северного Казахстана в настоящий период недостаточно исследованы на территории Ишимской лесостепи и степи Западно-Сибирско-Казахстанской степной области между Костанайской областью Казахстана и Омской областью России [4]. Известны работы по изучению населения птиц Петропавловска в лесостепи Северного Казахстана [5]. В настоящий период здесь проведены анализы по оценке влияния техногенно-селитебной трансформации ландшафтов на орнитокомплексы [2], и воздействия земледелия на население птиц.

Необходимо установить современное эколого-орнитологическое состояние населения птиц на севере Западно-Сибирско-Казахстанской степной области в Ишимской лесостепи, чтобы оценить уже происходящие и возможные здесь изменения численности и распределения птиц в биогеоценозах. Такие количественные оценки орнитокомплексов очень необходимы для Северо-евразийского орнитологического мониторинга, с целью выявления популяционных трендов обилия птиц, как круглогодично пребывающих, так и гнездящихся перелетных и пролетных. Применяемый нами ландшафтно-типологический подход в исследованиях орнитокомплексов Ишимской лесостепи направлен на решение задач экологического мониторинга и в будущем станет необходим для широкомасштабной экологической реставрации биотических компонентов ландшафтов исследуемого региона. Нами определены первоочередные задачи дальнейшего мониторинга позвоночных животных Западно-Сибирско-Казахстанской степной области Костанайской степи, что является актуальным для анализа состояния населения птиц Ишимской лесостепи и степи в современный период.

Материалы и методы исследования

Основная цель нашей работы заключается в выявлении плотности населения птиц и их видового богатства Ишимской лесостепи и степи Западно-Сибирско-Казахстанской степной области в первой половине лета.

Для этого решались следующие задачи:

- 1) установить основные тенденции пространственных изменений плотности населения птиц Ишимской лесостепи и степи Западно-Сибирско-Казахстанской степной области в первой половине лета;
- 2) установить основные тенденции пространственных изменений видового богатства птиц Ишимской лесостепи и степи Западно-Сибирско-Казахстанской степной области в первой половине лета.

Для решения этих задач в Ишимской лесостепи и степи Западно-Сибирско-Казахстанской степной области нами были выделены пять участков. Первый исследуемый нами Булаевский лесостепной участок (сельский район

Магжана Жумабаева) расположен восточнее Петропавловска; второй участок — Есильский лесостепной расположен в центральной части Ишимской лесостепи; третий — городской Петропавловский лесостепной участок выделен в Кызылжарском районе; четвертый — городской Тайыншинский степной участок находится в северной степи юга региона; пятый — Силетинский степной участок расположен на юго-востоке исследуемого региона в северной степи этой степной области.

Учеты птиц мы проводили, как правило, без ограничения ширины трансекта, с последующим пересчетом на площадь по дальностям обнаружения интервальным методом². В выделенных местообитаниях проходили с учетом птиц по 5 км за каждые две недели наблюдений. Данные учетов по половинам месяца усреднили за 1-ю половину лета (соответственно, с 16 мая по 15 июля). На открытых лесостепных и степных озерах птиц учитывали во время однократного прохождения по берегу и пересчитывали на заранее вычисленную площадь озера так же — каждую половину месяца. Редких птиц, не попавших в основной учет, учитывали дополнительно во время переходов к месту работы и обратно. Всего для характеристики этих параметров населения птиц Ишимской лесостепи и степи использованы данные исследования 28 местообитаний пяти участков на маршрутах протяженностью 562 км. Видовые названия птиц приводим по Л. С. Степаняну³. Обработка материалов учетов птиц и все основные расчеты проведены с использованием пакета программ лаборатории зоологического мониторинга Института систематики и экологии животных СО РАН (Новосибирск).

Результаты исследования

В первой половине лета максимальные показатели плотности птиц Ишимской лесостепи и степи Западно-Сибирско-Казахстанской степной области были установлены для массивов многоэтажной жилой застройки Петропавловска (1 659 особей/км²). Такое обилие птиц определяется наличием здесь кормов антропогенного происхождения на пунктах сбора коммунальных отходов и организованной подкормкой птиц на кормушках и в местах подкормки сизых голубей. В Иртышской лесостепи в массивах старой кирпичной 2–5-этажной застройки Омска с населением более одного миллиона человек этот показатель суммарного обилия выше в семь раз [3]. В поселках Тобольской лесостепи Костанайской области в этот период суммарное обилие птиц вдвое выше, чем в массивах многоэтажной жилой застройки Петропавловска [1]. В крупных

² Равкин Ю. С. К методике учета птиц лесных ландшафтов // Природа очагов клещевого энцефалита на Алтае. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1967. С. 66–75.

³ Степанян Л. С. Конспект орнитологической фауны России и сопредельных территорий (в границах СССР как исторической области). М.: Академкнига. 2003. 808 с. ISBN 5-94628-093-7.

поселках Иртышской лесостепи Омской области суммарное обилие птиц вчетверо выше [3], чем в таких же селитебных местообитаниях Ишимской лесостепи. На городских свалках Петропавловска плотность населения птиц вдвое меньше (1071), чем в многоэтажной застройке центра этого города, что объясняется более низкой кормовой продуктивностью местообитания. В таком же биотопе в Иртышской лесостепи в Омске обилие птиц выше втрое, чем на городских свалках Ишимской лесостепи [3]. В районах одноэтажной деревянной застройки степного города Тайынши плотность населения птиц вдвое меньше (897), чем в массивах многоэтажной застройки Петропавловска, а в многоэтажной застройке этого степного города обилие птиц вдвое меньше (770), чем в микрорайонах многоэтажек областного центра. В поселках Тобольской степи суммарное обилие птиц сходно (734) [1]. В районах одноэтажной деревянной застройки Петропавловска обилие птиц втрое меньше (593), чем в массивах многоэтажной жилой застройки города. В застроенных садах Петропавловска обилие птиц меньше втрое. Незначительно меньше оно и в старых парках центра города (475). Итак, в группе селитебных местообитаний в первой половине лета плотность населения птиц в Тоболо-Иртышской лесостепи и степи в ряде ландшафтов уменьшается следующим образом: городские свалки с регулярной подвозкой пищевых отходов – селитебные местообитания (многоэтажная и одноэтажная жилая застройка) – городские свалки после прекращения подвоза отходов. В Ишимской лесостепи и степи Северного Казахстана птицы, наоборот, предпочитают массивы многоэтажной застройки с их повышенной кормностью продуктами антропогенного происхождения, чем небольшие по площади и скудные на наличие кормов свалки антропогенного происхождения.

В группе лесостепных и степных местообитаний Северного Казахстана на полях с полезащитными полосами обилие птиц втрое меньше (611), чем в массивах многоэтажной жилой застройки Петропавловска.

В осиново-березовых колках с лугами и на частично облесенных местообитаниях Тобольской лесостепи суммарное обилие птиц в 1,4 раза больше [1], чем в таких же колках с лугами Ишимской лесостепи. В колках с лугами Иртышской лесостепи показатель обилия птиц вдвое меньше [3], чем в таком же местообитании Ишимской лесостепи.

В Ишимской северной степи в типчаково-ковыльных степях суммарное обилие птиц в 5,3 раза меньше (313), чем в массивах многоэтажной жилой застройки Петропавловска. В полях пшеницы с полезащитными полосами Ишимской северной степи суммарное обилие птиц в шесть раз меньше (291), чем в массивах жилой застройки Петропавловска, из-за низкой кормности таких моноагроценозов.

В новых парках Петропавловска обилие птиц вшестеро меньше (273), чем в массивах многоэтажной жилой застройки города, это можно объяснить, как и в старых парках, наличием фактора беспокойства со стороны человека. На промышленной территории Петропавловска обилие птиц в 6,2 раза

меньше (269), чем в массивах многоэтажной жилой застройки города. В окраинных районах коттеджной застройки Петропавловска показатели обилия птиц в 6,4 раза меньше (258), чем в давно освоенных птицами массивах многоэтажной жилой застройки центра города. На кладбищах окраины Петропавловска обилие птиц в 6,6 раза меньше (250), чем в массивах многоэтажной жилой застройки города.

На крупной реке Ишим показатели обилия птиц всемерно меньше (238), чем в массивах многоэтажной жилой застройки, что связано с затоплением долины с поймой. На Ишимских лугах лесостепи и степи суммарное обилие птиц втрое выше, чем на пригородных лугах с залежами и с полезащитными полосами Тобольской лесостепи [1]. На полях с мелкими колками и полезащитными полосами Ишимской лесостепи обилие птиц в девять раз меньше (194), чем в массивах многоэтажной жилой застройки Петропавловска. Это объясняется техногенным беспокойством птиц от проезжающего по Транссибирской железнодорожной магистрали транспорта. В осиново-березовых колках с сосновыми посадками и пригородными полями обилие птиц в 10,4 раза меньше (160), чем в массивах многоэтажной жилой застройки этого города.

Суммарное обилие птиц на небольших реках Тобольской лесостепи [1] сходно с численностью птиц на реках Ишимской лесостепи и степи (156). На искусственном водохранилище обилие птиц в 11,5 раза меньше (144), чем в массивах многоэтажной жилой застройки Петропавловска, что объясняется беспокойством для птиц со стороны рыбаков. На полях пшеницы Ишимской лесостепи обилие птиц в 16,6 раза меньше (100), чем в массивах многоэтажной жилой застройки Петропавловска. В ивняковых зарослях долины Тобола обилие птиц в 32,5 раза меньше (51), чем в массивах многоэтажной жилой застройки Петропавловска. В таких же ивняковых зарослях с выпасами в южной лесостепи Прииртышья суммарное обилие птиц выше в 12,4 раза. На высохших горько-соленых озерах обилие птиц в 27,2 раза меньше (61), чем в массивах многоэтажной жилой застройки Петропавловска. В пригородных заброшенных полях и на выпасах обилие птиц в 18,9 раза меньше (88), чем в многоэтажках центра Петропавловска. На пригородных полях Ишимской лесостепи обилие птиц в 18,6 раза меньше (89), чем в массивах многоэтажной жилой застройки Петропавловска. Сравнение в этот период населения птиц реки Иртыш с населением птиц на бетонированной набережной и его притока реки Ишим указывает на то, что в первом речном местообитании суммарное обилие птиц в 1,5 раза выше [3].

Плотность населения птиц Тоболо-Иртышской лесостепи и степи в ряде ландшафтов уменьшается следующим образом: рудеральные местообитания с регулярной подвозкой пищевых отходов – селитебные – рудеральные после прекращения подвоза ресурса – озерные – внепойменные низинно-болотные – лесолуговые – лесополосные местообитания и лугово-полевые ландшафты – реки, что определяется снижением их продуктивности (в городах

и поселках — кормности), а также биотопической разнокачественностью и мозаичностью внутри местообитаний. Снижение суммарного обилия птиц на исследуемой территории происходит при смене лесостепи на степь, а также внутри зон с запада на восток, что определяется уменьшением продуктивности биоценозов в связи с увеличением континентальности климата и возрастанием макроурбанизации в Иртышской лесостепи и степи по сравнению с Тобольской лесостепью и степью.

Итак, в Ишимской лесостепи и степи Северного Казахстана в первой половине лета (с 16 мая по 15 июля) максимальное суммарное обилие птиц характерно для местообитаний селитебного типа — 7 752 особей/км², в надпойменном степном типе плотность населения птиц в 5,2 раза ниже (1 464), а в урочищах надпойменного лесополевого типа — ниже всемерно (1 107). Минимальное суммарное обилие птиц свойственно проточным и непроточным водоемам — 669 особей/км². В Тоболо-Иртышской лесостепи и степи в летний период суммарное обилие птиц в ряде биотопов уменьшается следующим образом: действующие городские свалки — застроенные выделы — заброшенные городские свалки — озера — низинно-болотные — лесолуговые — лесополевые и лугово-полевые биотопы — реки. Эти изменения связаны со снижением их продуктивности, а также с биотопической разнородностью и мозаичностью внутри местообитаний. Значимое снижение суммарного обилия населения птиц происходят при смене биотопов лесостепи на степные.

В селитебных местообитаниях преобладают преимущественно синантропные или полусинантропные виды. В целом обилие птиц на застроенной территории выше, чем в естественных ландшафтах и в моноагроценозах.

Видовое богатство

Максимальное видовое богатство птиц во время проведения их учетов в Ишимской лесостепи Северного Казахстана в первой половине лета установлено для долины и водотока реки Ишим — 64 вида (из них 41 вид фоновый, то есть с численностью 1 и более особей на 1 км²). Видовое богатство птиц здесь втрое выше, чем на зарегулированной гидротехническими сооружениями реке Иртыш за городом [3]. Несколько меньше видов птиц учтено на Петропавловских пригородных залежных полях с полезащитными полосами с расположенными рядом свалками — 52 вида (41 вид фоновый). В облесенных местообитаниях, таких как осиново-березовые колки с лугами, и в сосновых посадках встречено еще меньше видов птиц — 44 вида (28), а в удаленных от Петропавловска осиново-березовых колках с лугами и покосами видов птиц учтено на 2 вида меньше — 42 вида (28). На Ишимских пресных озерах с займищами встречен 41 вид птиц (27), что незначительно превышает видовое богатство озер Иртышской лесостепи [3]. На Ишимских пригородных лугах

с залежами и на полевых защитных полосах зарегистрировано 37 видов птиц (24), что в 1,5 раза превышает видовое богатство пернатых пригородных поливных полей многолетних трав и полевых защитных полос Омска [3]. Такое же видовое богатство птиц свойственно искусственным прудам-водохранилищам — 36 видов (16), что в 4,5 раза превышает биоразнообразие птиц небольшой реки Омь с обрывистыми и закустаренными берегами в Омске [3]. По 34 вида птиц отмечено на небольшой степной реке Чаглинке (24) и на полях яровой пшеницы с полевых защитными полосами (24). Несколько меньше встречено видов птиц на кладбищах Петропавловска — 31 вид птиц (25), что сходно со списком видов птиц кладбищ Омска [3]. На Ишимских полях с мелкими колками и полевых защитными полосами и в новых парках Петропавловска встречено по 30 видов птиц (21). В застроенных садах (дачах) Петропавловска и районах одноэтажной жилой застройки степного города Тайынша учтено по 27 видов (24 и 19). В старых парках Петропавловска зафиксировано 25 видов (21). В районах новой коттеджной застройки и на городских свалках Петропавловска отмечено по 24 вида (17 и 14). В новых микрорайонах 5–9-этажных домов Омска [3] и районах новой коттеджной застройки Петропавловска видовое богатство птиц вдвое больше. На пригородных полях Ишимской пригородной лесостепи отмечено 23 вида (14), что превышает видовое богатство птиц на полях подсолнечника в 1,8 раза [3]. В Ишимских типчаково-ковыльных степях учтено 22 вида птиц (15), а в крупных лесостепных поселках — 19 (12), что в 3,4 раза меньше видового богатства птиц долины и водотока реки Ишим. В придорожных ивняковых зарослях и районах одноэтажной деревянной застройки Петропавловска встречено по 18 видов птиц (11 и 13). В массивах многоэтажной жилой застройки и на промышленной территории Петропавловска зафиксировано по 17 видов (15 и 13 фоновых), что вчетверо меньше, чем в максимально богатых видами птиц долине и водотоке реки Ишим. На Ишимских пригородных заброшенных полях и выпасах отмечено 16 видов птиц (9), что вчетверо меньше видового богатства птиц долины и водотока реки Ишим. В массивах многоэтажной застройки степного города Тайынша и на дне сухих горько-соленых озер встречено по 12 видов (10 и 6), что в 5,3 раза меньше, чем в долине и водотоке реки Ишим. Минимальное видовое богатство характерно для полей пшеницы — 9 (4), что в 7 раз меньше биоразнообразия птиц долины и водотока реки Ишим.

Отличия видового богатства по типам и подтипам орнитокомплексов с различной степенью антропогенной трансформации и разнообразия местообитаний существенны (от 15 до 167 видов). Общее число встреченных летом видов в максимально удаленных от городов местообитаниях лугово-степного и лесополевого типов населения — 167 видов. Минимальное количество видов птиц характерно для городских районов, застроенных 5–9-этажными домами (15 видов).

Итак, видовое богатство населения птиц Ишимской лесостепи Северного Казахстана уменьшается в ряде местообитаний следующим образом: долина

и водоток реки Ишим – пригородные залежные поля с полевосадовыми полосами – свалки – осиново-березовые колки с лугами и сосновыми насаждениями – пресные озера с займищами – пригородные луга с залежами и полевосадовыми полосами – водоток небольшой степной реки Чаглинки – поля яровой пшеницы с полевосадовыми полосами – парки и кладбища, застроенные сады – степная одноэтажная жилая застройка – районы новой коттеджной застройки Петропавловска. Далее снижение видового богатства птиц происходит следующим образом: пригородные поля зерновых – массивы многоэтажной жилой застройки лесостепных и степных городов – промышленные зоны Петропавловска – сухие горько-соленые озера. Минимальное видовое богатство птиц характерно для полей пшеницы.

В Тоболо-Иртышской лесостепи и степи видовое богатство птиц, наоборот, уменьшается от лесопольных и лугово-степных ландшафтов к озерным, низинно-болотным, селитебным, лугово-полевым, городским свалкам и рекам. Это связано с упрощением ярусной структуры биогеоценозов и снижением разнородности групп биотопов. Количество фоновых видов птиц больше в озерных и низинно-болотных местообитаниях. Затем число их снижается к облесенным и закустаренным местообитаниям лесопольного, лесолугового и лугово-степного типов. Далее через рудеральные и селитебные урочища оно уменьшается к зарегулированным рекам и лугово-полевым выделам. Такие изменения видового богатства определяются уменьшением кормности биотопов и антропогенным влиянием на ландшафты или прямым преследованием пернатых человеком.

Заключение

Таким образом, в Ишимской лесостепи и степи Северного Казахстана с 16 мая по 15 июля максимальное суммарное обилие птиц характерно для местообитаний селитебного типа — 7 752 особей/км², в надпойменном степном типе плотность населения птиц в 5,2 раза ниже (1 464), а в урочищах надпойменного лесопольного типа — ниже всемерно (1 107). Минимальное суммарное обилие птиц свойственно проточным и непроточным водоемам — 669 особей/км². В Тоболо-Иртышской лесостепи и степи в летний период суммарное обилие птиц уменьшается в ряде биотопов: действующие городские свалки – застроенные выделы – заброшенные городские свалки – озера – низинно-болотные биотопы – лесолуговые биотопы – лесопольные и лугово-полевые биотопы – реки, — что связано со снижением их продуктивности, а также с биотопической разнородностью и мозаичностью внутри местообитаний. Значимое снижение суммарного обилия населения птиц происходит при смене биотопов лесостепи на степные.

Видовое богатство населения птиц Ишимской лесостепи Северного Казахстана также уменьшается в ряде местообитаний: от долины и водотока

реки Ишим к пригородным залежным полям с полезащитными полосами; от осиново-березовых колок с лугами с сосновыми насаждениями к пресным озерам с займищами, пригородным лугам с залежами и полезащитными полосами; от водотока реки Чаглинки к полям яровой пшеницы с полезащитными полосами через парки и кладбища, застроенные сады, степную одноэтажную жилую застройку и районы новой коттеджной застройки Петропавловска; от пригородных полей зерновых к массивам многоэтажной жилой застройки лесостепных и степных городов, промышленных зон Петропавловска; от сухих горько-соленых озер к полям пшеницы.

Список источников

1. Блинова Т. К., Блинов В. Н. Птицы Южного Зауралья: лесостепь и степь. Т. 2. Новосибирск: Наука, 1999. 288 с. EDN: WZBTYD.
2. Жетписбай Г. А. Население птиц и орнитофауна некоторых ландшафтов города Костаная / Г. А. Жетписбай, С. А. Соловьев, Г. Т. Казкенова, Г. Б. Юнусова // *Eurasian Journal of Ecology*. 2024. Т. 79. № 2. С. 90–99. ISSN: 1563-034X. <https://doi.org/10.26577/EJE.2024.v79.i2-08>
3. Соловьев С. А. Птицы Омска и его окрестностей. Новосибирск: Наука, 2005. 296 с. ISBN: 5-02-032504-X. EDN: QKPKSF.
4. Соловьев С. А. Птицы Тоболо-Иртышской лесостепи и степи: Западная Сибирь и Северный Казахстан: в 2 т. Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения Российской академии наук, 2012. ISBN 978-5-7692-1250-5. EDN: QKUWGP.
5. Пашкова Е. И., Соловьев С. А. Население птиц районов многоэтажной застройки и пригородного лесопольного ландшафта Г. Петропавловска // *Экологический мониторинг и биоразнообразие*. 2013. № 1. С. 67а–69. EDN: RBXUHB.
6. Эколого-географическая организация и структура летнего населения птиц Северной Евразии / Ю. С. Равкин, С. М. Цыбулин, А. А. Ананин и др. // *Журнал общей биологии*. 2022. Т. 83, № 4. С. 302–320. <https://doi.org/10.31857/S0044459622040066>. EDN: WRTPKK.

References

1. Blinova T. K., Blinov V. N. Birds of the Southern Trans-Urals: forest-steppe and steppe. Vol. 2. Novosibirsk: Nauka. 1999. 288 p. EDN: WZBTYD. (In Russ.).
2. Zhetpisbai G. A., Solovyev S. A., Kazkenova G. T., Yunusova G. B. Bird population and avifauna of some landscapes of Kostanay city. *Eurasian Journal of Ecology*. 2024;79(2):90–99. (In Kazakh). <https://doi.org/10.26577/EJE.2024.v79.i2-08>
3. Solovyev S. A. Birds of Omsk and its environs. Novosibirsk: Nauka; 2005. 296 p. EDN: QKPKSF. (In Russ.).
4. Solovyev S. A. Birds of the Tobol-Irtysh forest-steppe and steppe: Western Siberia and Northern Kazakhstan. In 2 vols. Novosibirsk: Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. 2012. EDN: QKUWGP. (In Russ.).
5. Pashkova E. I., Solovyev S. A. Bird population of multi-storey building areas and suburban forest-field landscape of Petropavlovsk. *Ecological Monitoring and Biodiversity*. 2013;(1):67a–69. EDN: RBXUHB. (In Russ.).
6. Ravkin Yu. S., Tsybulin S. M., Ananin A. A., et al. Ecological-geographical organization and structure of summer bird population of Northern Eurasia. *Journal of General*

Biology. 2022;83(4):302–320. <https://doi.org/10.31857/S0044459622040066>. EDN: WRTPKK. (In Russ.).

Информация об авторах / Information about the authors:

Соловьев Сергей Александрович — доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Института систематики и экологии животных СО РАН, профессор Новосибирского государственного университета экономики и управления и Новосибирского государственного педагогического университета, Новосибирск, Россия.

Soloviev Sergej Aleksandrovich — Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Leading Researcher at the Institute of Animal Systematics and Ecology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Professor at the Novosibirsk State University of Economics and Management and the Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia.

solov_sa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0725-2940>

Сорочинский Максим Викторович — аспирант Института систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия; научный сотрудник Северо-Казахстанского областного историко-краеведческого музея, Петропавловск, Казахстан.

Sorochinsky Maxim Viktorovich — Postgraduate Student at the Institute of Animal Systematics and Ecology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia; a Research Associate at the North Kazakhstan Regional Museum of History and Local Lore, Petropavlovsk, Kazakhstan.

maximus-sko@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-4742-4276>

Соловьев Федор Сергеевич — главный специалист Министерства природных ресурсов и экологии Омской области, Омск, Россия.

Soloviev Fyodor Sergeevich — Chief Specialist of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Omsk Region, Omsk, Russia.

fred_solov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-2361-7249>

Вклад авторов:

Сергей Александрович Соловьев — выбор методологии исследования, проведение исследования, редактирование и доработка текста, руководство проектом.

Максим Викторович Сорочинский — формальный анализ, проведение исследования, написание первоначального варианта рукописи.

Федор Сергеевич Соловьев — концептуализация, проведение исследования, редактирование и доработка текста, написание первоначального варианта рукописи.

Authors' contributions:

Sergej Aleksandrovich Soloviev — selection of research methodology, conducting research, editing and refining the text, and project management.

Maxim Viktorovich Sorochinsky — formal analysis, conducting research, and writing the initial version conceptualization.

Fyodor Sergeevich Soloviev — conducting research, editing and refinement of the text, and writing the initial version conceptualization.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no relevant conflict of interests.

Статья поступила в редакцию: 10.03.2026;
одобрена после доработки: 25.03.2026;
принята к публикации: 04.04.2026.

The article was submitted: 10.03.2026;
approved after reviewing: 25.03.2026;
accepted for publication: 04.04.2026.

Исследовательская статья

УДК 574.9

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-23-38

Ильгизар Ильясович Рахимов¹,
Айзат Миркасимович Басыйров²,
Никита Евгеньевич Игнашев³,
Лайсан Ильдаровна Латыпова⁴

^{1,2,3,4} Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Казань, Россия

БИОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОРНИТОФАУНЫ ТАТАРСТАНА

Аннотация. Цель работы — изучение зоогеографических особенностей современного состояния орнитофауны Республики Татарстан. Материалом для анализа послужили орнитологические исследования с использованием маршрутных учетов на территории Республики Татарстан (РТ) и Казани с 1980 г. по настоящее время. Была проведена инвентаризация современного таксономического состава орнитофауны региона. Выявлена зависимость зоогеографических особенностей орнитофауны от ландшафтно-географических условий региона. Проведен анализ распространения фауногенетических типов птиц на территории республики Татарстан. На примере Казани представлена взаимосвязь фауногенетических типов птиц и биогеографических особенностей региона.

Ключевые слова: орнитофауна, Республика Татарстан, тип происхождения фауны, фауногенетический тип, экологические комплексы птиц

Финансирование: исследование не имело финансовой поддержки.

Research article

UDC 574.9

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-23-38

Ilgizar Ilyasovich Rakhimov¹,
Aizat Mirkasimovich Basyrov²,
Nikita Evgenievich Ignashev³,
Laysan Ildarovna Latypova⁴

^{1,2,3,4} Kazan (Volga region) Federal University,
Kazan, Russia

FEATURES OF BIOGEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF AVIFAUNA OF TATARSTAN

Abstract. Study of zoogeographical features of the current state of the avifauna of the Republic of Tatarstan. The material for the analysis was ornithological studies in the Republic of Tatarstan and the city of Kazan from 1980 to the present using route censuses. An inventory of the modern taxonomic composition of the avifauna of the region and an analysis of all available literary sources on the characteristics of the fauna of birds of the Republic of Tatarstan for more than two hundred years were carried out. Zoogeographical features of the avifauna with the landscape and geographical conditions of the region were revealed. An analysis of the distribution of faunogenetic types of birds in the territory of the Republic of Tatarstan was carried out. The relationship between the faunogenetic types of birds and the nature of their stay in the territory is presented using the example of the city of Kazan.

Keywords: avifauna, Republic of Tatarstan, type of origin of fauna, faunogenetic type, ecological complexes of birds

Funding Statement: no funding was received for writing this manuscript.

Введение

Республика Татарстан расположена в восточной части Восточно-Европейской равнины, у слияния рек Волга и Кама. Регион находится на стыке двух природных зон: лесной и лесостепной [1]. В лесном плане территория республики к северу от рек Волги и Камы представлена как зона хвойно-широколиственных лесов, территории к югу от Камы и Волги — как лесостепная зона (лесостепной район европейской части Российской Федерации) (рис. 1).

Согласно ботанико-географическому районированию, по территории Татарстана проходят зональные границы подтаежных широколиственно-еловых лесов, широколиственных лесов и луговых степей [11]. Следствием этого является разнообразие орнитофауны в регионе. Отмечены как типичные лесные

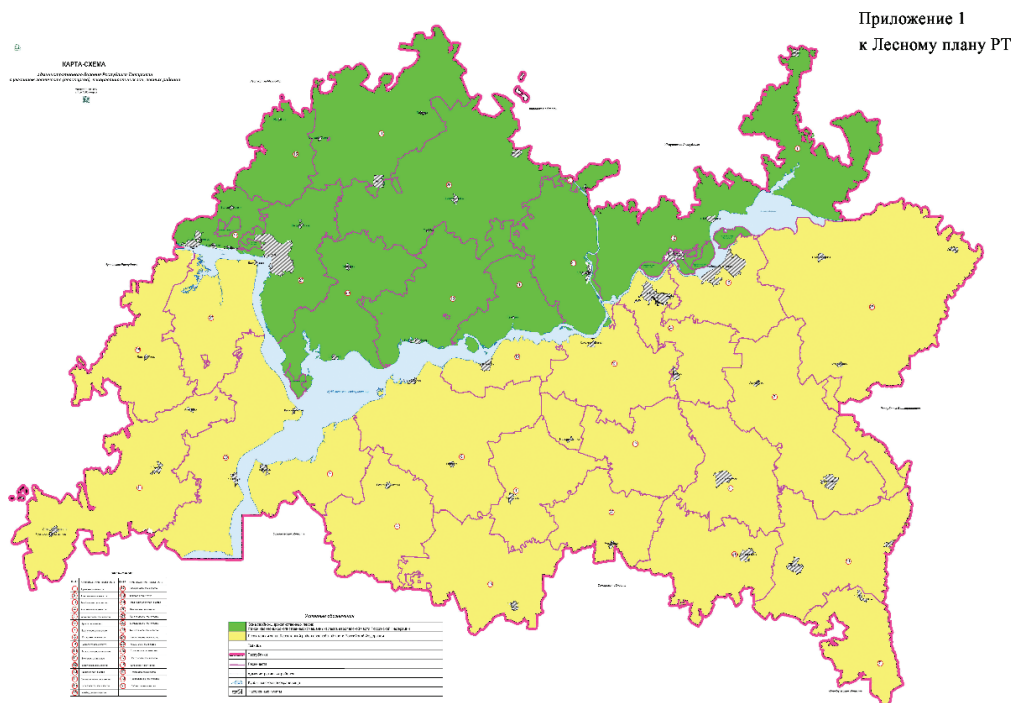


Рис. 1. Природные зоны Республики Татарстан (масштаб: 1 : 250 000)¹

птицы, так и представители степного ландшафта. Зонально-географические особенности осложняются наличием интразональных объектов, таких как водохранилища, крупные реки и озера. Последние обеспечивают биоразнообразие околородного экологического комплекса. Особенностью фауны птиц Республики Татарстан является и то, что по ее территории проходят северные и южные границы ареалов многих видов. Орнитофауна региона, представленная различными типами фауны по происхождению, по составу является сложной и характеризуется в каждой ландшафтно-географической области специфическим набором видов птиц, занимающих соответствующие экологические ниши.

Важную роль в формировании видового разнообразия современной орнитофауны региона играют зоогеографические особенности [14]. Их анализ служит основой понимания процессов, предшествовавших становлению современного орнитоценоза и доминированию экологических комплексов птиц в пределах различных ландшафтно-географических районов Республики Татарстан. Зонально-географические особенности территорий с различной степенью трансформации в результате хозяйственной деятельности человека в пределах крупных населенных пунктов, включая города [9], выступают ключевыми факторами формирования и устойчивого развития популяций птиц, освоивших урбанизированный ландшафт.

¹ Лесной план Республики Татарстан. Утвержден Указом Президента Республики Татарстан от 24 декабря 2018 года № УП-880. https://minleshoz.tatarstan.ru/file/pub/pub_2237314.pdf

Как было отмечено, орнитофауна Татарстана состоит как из представителей таежных хвойных лесов, так и из видов, характерных для лесостепной зоны. Характер региональной орнитофауны является определяющим в формировании фауны птиц Казани, расположенной так же — на стыке лесной и лесостепной зон.

Материалы и методы исследования

Материалом для статьи послужили результаты орнитологических исследований с использованием маршрутных учетов на территории Республики Татарстан (РТ) и Казани с 1980 г. по настоящее время. Целью работы являлось изучение зоогеографических особенностей современной орнитофауны РТ. Для ее достижения было поставлено несколько задач: проведена инвентаризация современного таксономического состава орнитофауны региона и анализ всех доступных литературных источников, характеризующих фауну птиц региона за более чем двухсотлетний период исследований; проведен фауногенетический анализ орнитофауны как Республики Татарстан, так и орнитоцены Казани. Теоретический и практический интерес представляет вопрос вклада разных фауногенетических группировок птиц в формирование городских орнитоценов в зависимости от удаленности центров их формообразования и местных природно-зональных условий.

Были рассмотрены взаимосвязи типов фаун по происхождению с характером пребывания птиц на территории Казани. Отдельный задачей стоял анализ распространения различных экологических комплексов птиц на изучаемой территории и их взаимосвязь с преобладающими ландшафтами.

Результаты исследования

Фауногенетический анализ орнитофауны Республики Татарстан

Зоогеографические особенности орнитофауны Татарстана определяются заселяющими территорию типами фауны и эколого-фаунистическими комплексами птиц. Существуют различные подходы к делению Палеарктики по фауногенетическим типам. При анализе типов происхождения фаун птиц республики была использована общепринятая схема деления орнитофауны Палеарктики по типам происхождения по Б. К. Штегману (1938)², который при орнитогеографическом районировании Палеарктики рассматривал 6 типов фаун: европейский, сибирский, средиземноморский, монгольский, китайский, тибетский.

² Штегман Б. К. Основы орнитогеографического деления Палеарктики // Фауна СССР. Птицы. 1938. Т. 1. 156 с.

Согласно данной классификации, Арктическая область занимает зону тундры и более северные арктические территории с суровыми климатическими условиями, с преобладанием морских и околотовных птиц. Сибирский тип фауны доминирует в зоне тайги, он является наиболее характерным для региона Сибири и отличается от Арктической области преобладанием сухопутных и дендрофильных видов птиц. Центром развития европейского типа фауны являются области европейских широколиственных лесов. Эта область по экологическим условиям и видовому составу заметно отличается от тайги. Наиболее характерные для европейского типа фауны виды также являются дендрофильными, но представлены более южными группами птиц, связанных не столько с лесом, сколько с более открытыми биотопами. Средиземноморский тип фауны представлен преимущественно пустынными, степными и кустарниковыми формами. Монгольский тип фауны представлен еще большей ксерофильной фауной, чем средиземноморский, но с преобладанием степных и пустынных форм. Тибетский тип фауны связан с территориями, расположенными выше границы произрастания древесной растительности. Китайский тип фауны также связан с лесными насаждениями, но уже со смешанными и широколиственными лесами Восточной Азии.

Согласно данной классификации, транспалеарктами являются виды, широко распространенные в Палеарктике в широтном и долготном направлениях. Они характеризуются неопределенным и размытым зоогеографическим статусом. Виды, которые не представлены в перечне птиц Б. К. Штегмана³, объединены в группу видов с неясным происхождением, их современный ареал не позволяет относить вид конкретно к какому-либо типу происхождения.

При анализе видового списка птиц РТ за основу нами был выбран перечень видов, приведенный в монографии И. И. Рахимова (2002) [12] в рамках изучения авифауны Среднего Поволжья, в котором упоминается 305 видов. В рамках современной инвентаризации фауны птиц данный список был детально проанализирован и дополнен до 317 видов⁴. В таксономическом отношении предлагаемый нами перечень видов состоит из 19 отрядов, 58 семейств и 317 видов [8].

Большинство видов орнитофауны Республики Татарстан относится к европейскому типу фауны — 92 (29 %), что является закономерным в соответствии с географическим положением региона (см. табл. 1).

Следующая по численности группа состоит из транспалеарктов — 77 (24 %) видов, которые широко распространены в Палеарктике и характеризуются широкой экологической валентностью. Сибирский тип фауны представлен 51 (16 %) видами. Это определяется тем, что на севере республики проходит южная граница зоны тайги. Арктическая фауна представлена 40 видами (13 %) —

³ Штегман Б. К. Основы орнитогеографического деления Палеарктики.

⁴ Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025621347 Российская Федерация. База данных состояния орнитофауны Республики Татарстан: заявл. 12.02.2025; опубл. 25.03.2025 / И. И. Рахимов, А. М. Басыйров; заявитель: Казанский федеральный университет.

Таблица 1

Типы фауны птиц РТ по происхождению⁵

Тип фауны по Штегману	Кол-во видов	Доля, %
Арктический	40	13
Сибирский	51	16
Европейский	92	29
Средиземноморский	17	5
Монгольский	24	8
Китайский	5	2
Транспалеаркты	77	24
Неясное происхождение	11	3
Итого	317	100

главным образом за счет пролетных околородных видов, монгольский тип — 24 видами (8 %) и средиземноморский тип — 17 видами (5 %), что обусловлено наличием в южных районах республики остепненных территорий. Минимально представлены виды китайского типа фауны — 5 (2 %), что вполне объяснимо географической отдаленностью региона от центра происхождения. Отсутствие на нашей территории тибетского типа фауны закономерно ввиду отсутствия высокогорных областей. В группу видов с неясным типом происхождения нами отнесены 11 видов (3 %).

Проведенный анализ типов происхождения орнитофауны Республики Татарстан подтверждает предположение о том, что видовой состав птиц формируется в основном из видов местной фауны⁶. В то же время эти данные соотносятся с утверждением Б. К. Штегмана (1938)⁷ о том, что «птицы на самом деле в своем распространении чрезвычайно консервативны», о чем говорит преобладание в орнитофауне региона птиц европейских широколиственных лесов, даже при современных условиях 17 % лесистости территории Татарстана.

Республика Татарстан находится на стыке двух природных зон: лесной и лесостепной. Именно поэтому мы можем встречать здесь таких типично лесных птиц, как глухарь (*Tetrao urogallus*), рябчик (*Tetrastes bonasia*), трехпалый дятел (*Picoides tridactylus*) и др. Обитают здесь и представители степей, такие как перепел (*Coturnix coturnix*), луговой чекан (*Saxicola rubetra*). Стоит отметить и птиц, характерных для широколиственных лесов, пришедших к нам с запада, таких как клинтух (*Columba oenas*), сойка (*Garrulus glandarius*). В то же время имеются и виды, проникнувшие в наш регион с востока: глухая кукушка (*Cuculus saturatus*), дубровник (*Emberiza aureola*) и др. [12].

⁵ Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025621347 Российская Федерация. База данных состояния орнитофауны Республики Татарстан: заявл. 12.02.2025: опубл. 25.03.2025 / И. И. Рахимов, А. М. Басыров; заявитель: Казанский федеральный университет.

⁶ Клауснитцер Б. Экология городской фауны. М.: Мир, 1990. 246 с. ISBN 5-03-001383-0; см. также: [3; 16]

⁷ Штегман Б. К. Основы орнитогеографического деления Палеарктики.

Из 317 видов орнитофауны республики 186 (59 %) встречаются на территории Казани. В городе представлены 16 отрядов из 19 региональных — отсутствуют только гагарообразные, пеликанообразные и фламингообразные.

Взаимосвязь фауногенетических типов орнитофауны с характером пребывания птиц на территории Казани

По характеру пребывания птиц на территории Казани и их отнесения к определенному типу происхождения выявлены следующие закономерности (табл. 2). Как видно из таблицы 2, два типа фауны являются доминирующими: европейский (35 %), ввиду географического положения города, и транспалеаркты (35 %), являющиеся широко распространенными во всей Палеарктике. Сибирский тип составляет 12 %, к арктическому типу относится 7 %. Оставшиеся 4 типа представлены небольшим количеством видов и в сумме составляют 13 %.

Таблица 2

Фауногенетический тип и характер пребывания орнитофауны Казани⁸

Тип фауны	Гнездящиеся	Залетные	Пролетные	Зимующие	Всего	Доля, %
Арктический	1	3	5	4	13	7
Сибирский	9	5	4	5	23	12
Европейский	49	15	2	—	66	35
Средиземноморский	3	—	—	—	3	2
Монгольский	4	2	1	—	7	4
Китайский	2	1	—	—	3	2
Транспалеаркты	43	17	6	—	66	35
Неясное происхождение	3	2	—	—	5	
Итого	114	45	18	9	186	100

Анализируя распределение по характеру пребывания видов на территории города, следует отметить, что абсолютное большинство — 114 (61 %) видов являются гнездящимися. Сезонность пребывания и миграционные характеристики орнитофауны распределены таким образом, что подавляющее большинство гнездящихся видов — 89 (78 %) являются перелетными и 25 (22 %) — оседлыми. В то же время за последние десятилетия оседлость приобрела крякva (*Anas platyrhynchos*), зимующая на незамерзающих водоемах Казани. Отмечены в условиях города и регулярные зимовки грача (*Corvus frugilegus*), обыкновенного скворца (*Sturnus vulgaris*), рябинника (*Turdus pilaris*) и других видов.

⁸ Басыров А. М. Зоогеографические особенности и условия формирования орнитоценоа урбанизированной территории на примере г. Казани: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Казань, 2024. 162 с.

Для двух наиболее многочисленно представленных типов характерно и наибольшее количество гнездящихся видов: в европейском типе — 49 (43 % гнездящихся видов) и у транспалеарктов — 43 (38 %). К сибирскому типу относится 9 (8 %) гнездящихся видов, далее по убывающей — к монгольскому типу — 4 (4 %), к средиземноморскому и виду с неясным происхождением также по 3 (по 3 %), к китайскому виду — 2 (2 %) и к виду арктического происхождения — 1.

Фауногенетическая структура гнездящейся орнитофауны также представлена доминированием двух типов: европейского — 49 (43%) и транспалеарктов — 43 (38 %). 9 видов (8 %) принадлежат к сибирскому типу фауны. Остальные типы фаун представлены гораздо меньшим количеством: монгольский — 4 (4 %), средиземноморский — 3 (3 %), китайский — 2 (2%) и один арктический вид (1 %). Видов с неясным происхождением в группе гнездящихся птиц — 3 (3 %).

Среди залетных видов наибольшее количество также относятся к двум преобладающим типам: транспалеарктам — 17 (38 %) и европейскому типу — 15 видов (33 %). Остальные типы представлены небольшим количеством видов: сибирский — 5 (11 %), арктический — 3 (7 %), монгольский и вид с неясным происхождением — по 2 (по 4 %), китайский — 1 (2 %).

Из 18 пролетных видов треть — 6 (33 %) относится к транспалеарктам, около трети арктических видов — 5 (28 %), к сибирскому типу относится 4 вида (22 %), 2 (11 %) европейских вида и 1 (6 %) монгольский вид.

Зимующих видов всего 9, из них 5 (56 %) относятся к сибирскому типу происхождения и 4 (44 %) — к арктическому типу, что, с учетом географического положения города и республики, вполне закономерно.

Взаимосвязь экологических комплексов птиц с окружающей географической средой

Одним из явных показателей орнитофауны, формирующихся непосредственно под влиянием физико-географических особенностей региона, является формирование тех или иных экологических комплексов птиц, обитающих на территории⁹. Среди экологических комплексов птиц (табл. 3) наибольшее количество видов — 124 (39 %) относится к околотоводному комплексу, что объясняется обилием в регионе водных объектов разного типа, с разнообразными условиями. Этим определяется наличие в фауне широкого набора водоплавающих и околотоводных птиц [2].

⁹ Новиков Г. А. Географическая изменчивость плотности населения лесных птиц в Европейской части СССР и сопредельных странах // Зоологический журнал. 1960. Т. 39. № 3. С. 433–447; Матюшкин Е. Н. О населении птиц лесостепи Казахстана // Орнитология. 1967. Т. 8. С. 198–210; Доржиев Ц. З., Сандакова С. Л. К истории формирования синантропной авифауны Восточной Сибири // Орнитологические исследования в Северной Евразии: тезисы XII Международной орнитологической конференции Северной Евразии. Ставрополь: Изд-во СГУ, 2006. С. 184–185; см. также: [7].

Таблица 3

Экологические комплексы птиц Республики Татарстан [13]

Экологические комплексы птиц	Количество видов	Доля, %
Околоводный	124	39
Лесоопушечный	88	28
Полевой	47	15
Лесной	43	14
Синантропный	12	4
Скальный	3	1
Итого	317	100

В данной группе представлены как типичные водоплавающие птицы открытых вод: утки, гуси, чайки, — так и обитатели прибрежной зоны: цапли, кулики, камышовки, береговая ласточка (*Riparia riparia*) и другие.

К лесоопушечным относятся 88 видов (28 %). В пограничных полосах между географическими зонами число видов, как правило, больше, чем в центральных частях этих зон, за счет мозаичности экосистем, принадлежащих к соседним зонам и так называемого эффекта экотона¹⁰.

Следует отметить, что в лесном фонде Республики Татарстан преобладают еловые и пихтовые виды, вытесняющие широколиственные, такие как липа и дуб. Подлесок в основном представлен бересклетом бородавчатым и лещиной. Лесистость на территории РТ изменилась с 1800 по 2020 год более чем на 60 % (см. рис. 2, 3). На представленных картах видно, как изменился в целом ландшафт Татарстана.

Лесопокрываемая территория уменьшилась значительно. В настоящее время она составляет 17,4 %. Значительная часть территории представлены различными открытыми ландшафтами — от естественных лугов до больших площадей обрабатываемых полей с различными сельскохозяйственными культурами.

Г. А. Новиков (1960)¹¹, анализируя закономерности распространения птиц в европейской части СССР, подчеркивал, что особенности орнитофауны лесостепи обусловлены пограничным эффектом — преобладанием местообитаний промежуточного характера. Именно данный факт определяет высокую плотность гнездования и разнообразия птиц так называемых опушечных видов [1; 4; 5; 15].

Таким образом, данный комплекс, будучи переходным между условными лесом и степью, вобрал в себя наибольшее число видов, соответствующих данным зонам полевого и лесного экологических комплексов, причем он является не просто формальной суммой видов, а качественно другим набором видов, занимающих соответствующие экологические ниши [6; 10; 15].

¹⁰ Реймерс Н. Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы) // Россия Молодая. М., 1994. 376 с.

¹¹ Новиков Г. А. Географическая изменчивость плотности населения лесных птиц в Европейской части СССР и сопредельных странах // Зоологический журнал. 1960. Т. 39. № 3. С. 433–447.

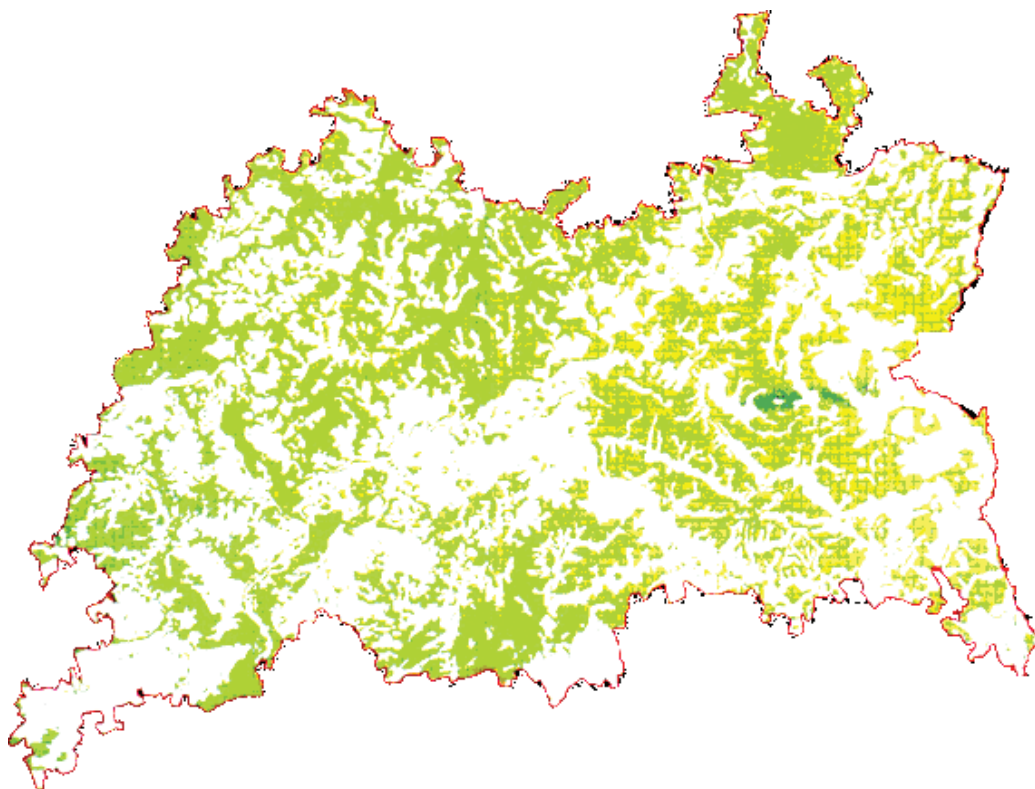


Рис. 2. Карта лесистости Республики Татарстан 1800 г. (масштаб: 1 : 250 000)¹²

Полевой комплекс представлен 47 видами (15 %), а к лесному комплексу относится 43 вида (14 %). Такое положение возможно благодаря тому, что в северной части региона расположены фрагменты южной тайги, постепенно переходящие в светлохвойный лес, и наличию лиственных лесов на западе республики. В южной же части РТ преобладающими становятся открытые ландшафты.

Наименьшее количество видов относятся к оставшимся двум экологическим комплексам. Синантропный экологический комплекс состоит из 12 видов (4 %), а на долю скального комплекса приходится всего 3 вида (1 %).

Согласно И. И. Рахимову (2002) [12], преобладающими ландшафтами Среднего Поволжья являются лесные, открытые поле-луговые, водные и антропогенные. Лесные участки [16, 17], чередующиеся с открытыми территориями, и многочисленные водоемы обеспечивают разнообразие орнитоценоза. Богатство и различные варианты сочетания соседствующих биотопов, способствующие мозаичности ландшафтов республики, в конечном счете обеспечивают видовое разнообразие орнитофауны.

¹² Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Татарстан: официальный сайт. Казань, 2026. URL: <https://agro.tatarstan.ru>

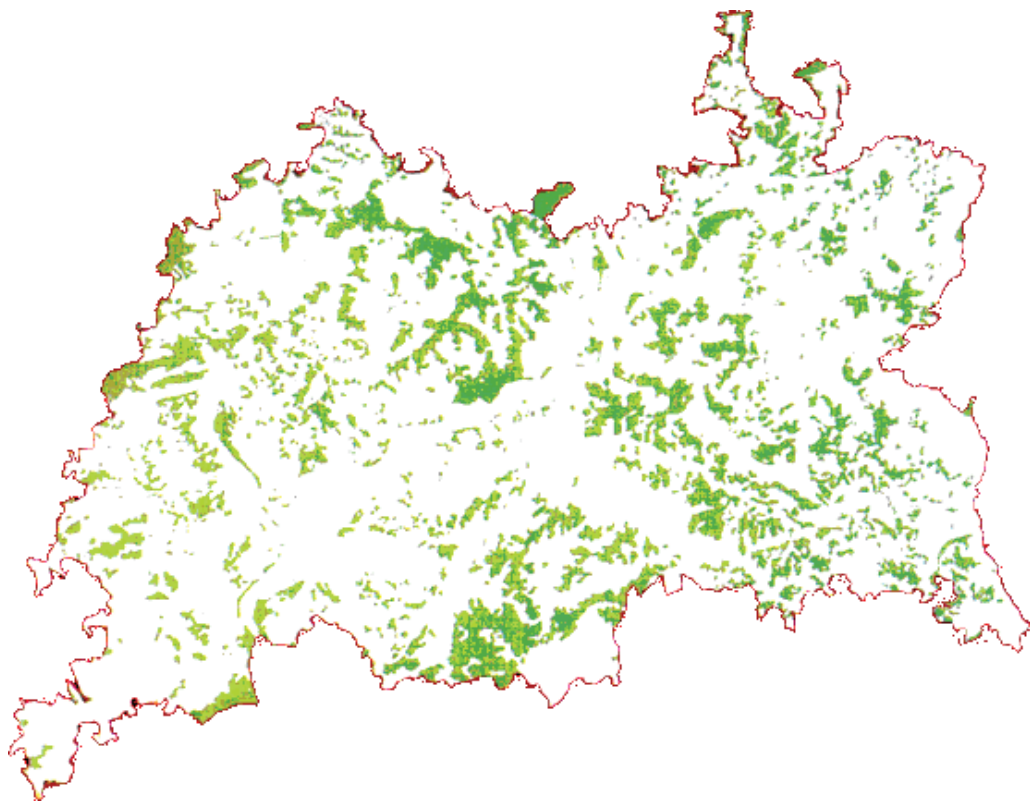


Рис. 3. Карта лесистости Республики Татарстан 2020 г. (масштаб: 1 : 250 000)¹³

Заключение

В соответствии с зонально-географическими особенностями орнитофауна Республики Татарстан представлена 317 видами. Орнитофауна Казани представлена 186 видами, что составляет 59 % региональной орнитофауны.

Фауногенетический анализ орнитофауны Республики Татарстан по Б. К. Штегману (1938) выявил преобладание европейского типа фауны — 92 вида (29 %) в соответствии с географическим положением Татарстана, и транспалеарктов, широко распространенных в Палеарктике, — 77 видов (24 %). Также, в орнитофауне региона по происхождению представлены сибирский, арктический, монгольский, средиземноморский, китайский типы. Фауногенетические типы орнитофауны Казани представлены теми же типами, что и региональная орнитофауна с преобладанием европейского (35 %) и транспалеарктов (35 %). По характеру пребывания видов на территории Казани большинство — 61 % видов являются гнездящимися, из которых 78 % — перелетные и 22 % — оседлые виды; 45 видов являются залетными, 18 — пролетными и 9 — зимующими. Среди обитающих на территории республики видов преобладают птицы околотоводного комплекса —

¹³ Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Татарстан.

124 вида (39 %). Также представлены лесопушечный (28 %), полевой (15 %), лесной (14 %), синантропный (4 %) и скальный (1 %) экологические комплексы.

Анализ участия экологических комплексов в формировании орнитофауны региона и Казани выявил преобладание в регионе дендрофильных видов, несмотря на относительно небольшую для Татарстана лесистость — около 17 %, что говорит о консервативности птиц в выборе местообитаний. Таким образом, изменения, произошедшие за последние двести лет в преобладающих ландшафтах республики, не отразились на экологической структуре орнито-логических сообществ. В то же время 59 % видов осваивают новую для себя городскую среду обитания, проявляя пластичность в выборе корма, гнездо-пригодных мест и укрытий, приобретая новые адаптивные особенности. В Татарстане ряд перелетных видов переходят к оседлости.

Представленные данные свидетельствуют о том, что распределение орнитофауны по экологическим комплексам в целом соответствует ландшафтно-географическим особенностям региона. Характер условий среды обитания птиц определяет наличие видов, принадлежащих к конкретным экологическим комплексам. Например, преобладание околородных птиц — следствие большого количества разнообразных водных объектов в регионе.

Физико-географические условия региона влияют как на формирование таксономического разнообразия орнитофауны, так и на экологические показатели орнитофауны. Распространение представителей различных фауногенетических типов, характер пребывания видов на территории и структура экологических комплексов Казани подчиняются принципу зональности и формируются из региональных видов.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в том, что проведенный анализ позволяет выявить региональные зоогеографические особенности формирования орнитофауны Татарстана, и в частности Казани, закономерности ее становления и спрогнозировать перспективы развития, что будет способствовать сохранению биоразнообразия региона.

Список источников

1. Ананин А. А. Птицы Северного Прибайкалья: динамика и особенности формирования населения. Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госуниверситета, 2010. 296 с. ISBN 978-5-9793-0336-9. EDN: QKTVLR.
2. Арчимаева Т. П., Карташов Н. Д., Забелин В. И. Обзор орнитофауны Центрального Саяна (Республика Тыва) // Фауна Урала и Сибири. 2017. № 1. С. 173–194. EDN: YPBVXP.
3. Аськеев А. О., Аськеев О. В., Аськеев И. В. Пространственное распределение и многолетняя динамика численности сойки и трехпалого дятла в лесах Республики Татарстан // Российский журнал прикладной экологии. 2017. № 1 (9). С. 9–13. EDN: YOCYTL.
4. Баранов А. А. Птицы Алтай-Саянского экорегиона: пространственно-временная динамика биоразнообразия. Красноярск: КГПУ, 2012. 464 с. ISBN 978-5-85981-501-2. EDN: QKUWAV.

5. Басыйров А. М., Рахимов И. И. Современное состояние орнитофауны Республики Татарстан // Материалы Международной конференции «Козыбаевские чтения, 2024. Казахстан и современные вызовы времени». Петропавловск: СКУ им. М. Козыбаева, 2024. Т. 2. С. 426–430. EDN: VQCHCR.
6. Березовиков, Н. Н. Современное состояние орнитофауны Восточного Казахстана // Русский орнитологический журнал. 2021. Т. 30. № 2096. С. 3570–3573. EDN: DZIKUJ.
7. Велик В. П. Фауногенетическая структура авифауны Палеарктики // Зоологический журнал. 2006. Т. 85. № 3. С. 298–316. EDN: HTESVP.
8. Ивлиев В. Г. Птицы Татарстана: численность, распределение: отряд воробьинообразные. Новосибирск: СО РАН, 2020. 314 с. ISBN 978-5-6044348-6-4. EDN: BENTFV.
9. Ландшафты Республики Татарстан. Региональный ландшафтно-экологический анализ / О. П. Ермолаев, М. Е. Игонин, М. Ю. Бубнов, С. В. Павлова. Казань: Слово, 2007. 411 с. EDN: WXNMZJ.
10. Ливанов С. Г., Бочкарева Е. Н., Вартапетов Л. Г. Редкие птицы Центрального Алтая: разнообразие, запас и целесообразность их внесения в республиканскую Красную книгу // Исчезающие, редкие и слабо изученные виды животных и их отражение в Красной книге Республики Алтай прошлых и будущего изданий (критика и предложения), 2015. С. 163–168. EDN: UPQWBZ
11. Растительность европейской части СССР. Санкт-Петербург: Наука, 1980. 429 с. EDN: VLBM BX.
12. Рахимов И. И. Авифауна Среднего Поволжья в условиях антропогенной трансформации естественных природных ландшафтов: специальность 03.02.08 «Экология (по отраслям)»: диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук / Рахимов Ильгизар Ильясович. Москва, 2002. 396 с. EDN QDQDAB.
13. Basyrov A., Leonova T., Rakhimov I. Retrospective taxonomic analysis of avifauna of the Republic of Tatarstan // E3S Web of Conferences: Actual Problems of Ecology and Environmental Management (APEEM 2023), Moscow, 20–22 апреля 2023 года. Vol. 407. EDP Sciences: EDP Sciences, 2023. P. 01002. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202340701002>. EDN: SRGIDP.
14. Biogeographic factors contributing to the diversification of Euphoniinae (Aves, Passeriformes, Fringillidae): a phylogenetic and ancestral areas analysis / M. Vázquez-López, S. M. Ramírez-Barrera, A. K. Terrones-Ramírez et al. // ZooKeys. 2024. Vol. 1188. P. 169–195. <https://doi.org/10.3897/zookeys.1188.107047>. EDN: WNMOXG.
15. Chace J. F. Urban effects on native avifauna: a review / J. F. Chace et al. // Landscape and Urban Planning. 2006. Vol. 74, P. 46–69. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.08.007>.
16. González-Oreja J. A. Birds of different biogeographic origins respond in contrasting ways to urbanization / J. A. González-Oreja, C. W. Hoagstrom, J. E. Brooks, S. R. Davenport // Biological Conservation. 2011. Vol. 144. № 1. P. 234–242. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.08.021>
17. Jokimäki J. Urban core areas are important for species conservation: A European-level analysis of breeding bird species / J. Jokimäki et al. // Landscape and Urban Planning. 2018. Vol. 178. P. 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.05.020>

References

1. Ananin A. A. Birds of the Northern Baikal region: dynamics and features of population formation. Ulan-Ude: Buryat State University Publishing House; 2010. 296 p. EDN: QKTVLR. (In Russ.).
2. Archimaeva T. P., Kartashov N. D., Zabelin V. I. Review of the avifauna of the Central Sayan (Republic of Tyva). Fauna of the Urals and Siberia. 2017;(1):173–194. EDN: YPBVXP. (In Russ.).
3. Askeyev A. O., Askeyev O. V., Askeyev I. V. Spatial distribution and long-term population dynamics of the Eurasian jay and the three-toed woodpecker in the forests of the Republic of Tatarstan. Russian Journal of Applied Ecology. 2017;(9):9–13. EDN: YOCYTL. (In Russ.).
4. Baranov A. A. Birds of the Altai-Sayan ecoregion: spatiotemporal dynamics of biodiversity. Krasnoyarsk: KSPU; 2012. 464 p. EDN: QKUWAV. (In Russ.).
5. Basyrov A. M., Rakhimov I. I. Current state of avifauna of the Republic of Tatarstan. Materials of the International Conference “Kozubayev Readings, 2024. Kazakhstan and Modern Challenges”. Petropavlovsk: M. Kozybayev NKU. 2024;2:426–430. EDN: VQCHCR. (In Russ.).
6. Berezovikov N. N. Current state of avifauna of Eastern Kazakhstan. Russian Ornithological Journal. 2021;30(2096):3570–3573. EDN: DZIKUJ. (In Russ.).
7. Velik V. P. Faunogenetic structure of the Palearctic avifauna. Zoological Journal. 2006;85(3):298–316. EDN: HTESVP. (In Russ.).
8. Ivliev V. G. Birds of Tatarstan: abundance, distribution: Order Passeriformes. Novosibirsk: SB RAS; 2020. 314 p. EDN: BENTFV. (In Russ.).
9. Ermolaev O. P., Igonin M. E., Bubnov M. Yu., Pavlova S. V. Landscapes of the Republic of Tatarstan. Regional landscape-ecological analysis. Kazan: Slovo. 2007. 411 p. EDN: WXNMZJ. (In Russ.).
10. Livanov S. G., Bochkareva E. N., Vartapetov L. G. Rare birds of the Central Altai: diversity, reserve and expediency of their inclusion in the republican Red Book. Endangered, rare and poorly studied animal species and their reflection in the Red Book of the Altai Republic of past and future editions (criticism and proposals). 2015:163–168. EDN: UPQWBZ. (In Russ.).
11. Vegetation of the European part of the USSR. Saint Petersburg: Nauka; 1980. 429 p. EDN: VLBMBX. (In Russ.).
12. Rakhimov I. I. Avifauna of the Middle Volga region under conditions of anthropogenic transformation of natural landscapes: dissertation for the degree of Doctor of Biological Sciences. Moscow; 2002. 396 p. EDN: QDQDAB. (In Russ.).
13. Basyrov A., Leonova T., Rakhimov I. Retrospective taxonomic analysis of avifauna of the Republic of Tatarstan. E3S Web of Conferences. 2023;407:01002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340701002>. EDN: SRGIDP.
14. Vázquez-López M., Ramírez-Barrera S. M., Terrones-Ramírez A. K. et al. Biogeographic factors contributing to the diversification of Euphoniinae (Aves, Passeriformes, Fringillidae): a phylogenetic and ancestral areas analysis. ZooKeys. 2024;1188:169–195. <https://doi.org/10.3897/zookeys.1188.107047>. EDN: WNMOXG.
15. Chace J. F., Walsh J. J. Urban effects on native avifauna: a review. Landscape and Urban Planning. 2006;74:46–69. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.08.007>
16. González-Oreja J. A., Hoagstrom C. W., Brooks J. E., Davenport S. R. Birds of different biogeographic origins respond in contrasting ways to urbanization. Biological Conservation. 2011;144(1):234–242. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.08.021>

17. Jokimäki J., Suhonen J., Kaisanlahti-Jokimäki M. L., Carbó-Ramírez P. Urban core areas are important for species conservation: A European-level analysis of breeding bird species. *Landscape and Urban Planning*. 2018;178:73–81. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.05.020>

Информация об авторах / Information about the authors:

Рахимов Ильгизар Ильясович — доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры биоэкологии, гигиены и общественного здоровья, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия.

Rakhimov Ilgizar Ilyasovich — Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of Bioecology, Hygiene and Public Health, Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia.

rakhim56@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4016-6764>

Басыйров Айзат Миркасимович — кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры биоэкологии, гигиены и общественного здоровья, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия.

Basyrov Aizat Mirkasimovich — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Bioecology, Hygiene and Public Health, Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia.

basaizat@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7113-5880>

Игнашев Никита Евгеньевич — кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры биоэкологии, гигиены и общественного здоровья, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия.

Ignashev Nikita Evgenievich — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Bioecology, Hygiene and Public Health, Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia.

ignashev13nik@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5962-9327>

Латыпова Лайсан Ильдаровна — кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры биоэкологии, гигиены и общественного здоровья, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия.

Latipova Laysan Ildarovna — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Bioecology, Hygiene and Public Health, Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia.

leisana-2009@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0004-8217-7682>

Вклад авторов:

Ильгизар Ильясович Рахимов — разработка концепции, проведение исследования, написание общих разделов (введение, материал и методы), общее редактирование.

Айзат Миркасимович Басыйров — проведение исследования, написание разделов статьи, подготовка таблиц.

Никита Евгеньевич Игнашев — написание разделов статьи, подготовка рисунков к статье.

Лайсан Ильдаровна Латыпова — написание разделов статьи, подготовка картографического материала, составление списка литературы.

Authors' contributions:

Ilgizar Pyasovich Rakhimov — development of the concept, conducting research, writing general sections (introduction, material and methods), and general editing.

Aizat Mirkasimovich Basirov — conducting research, writing sections of the article, and preparing tables.

Nikita Evgenievich Ignashev — writing sections of the article, and preparing drawings for the article.

Laysan Ildarovna Latypova — writing sections of the article, preparing cartographic material, and compiling a list of references

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no relevant conflict of interests.

Статья поступила в редакцию: 16.03.2026;
одобрена после доработки: 10.04.2026;
принята к публикации: 11.04.2026.

The article was submitted: 16.03.2026;
approved after reviewing: 10.04.2026;
accepted for publication: 11.04.2026.

Исследовательская статья

УДК 504.5; 504.053; 504.054

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-39-51

Иван Алексеевич Гичун¹,
Анастасия Анатольевна Мирсанова²,
Ольга Алексеевна Бурукина³,
Александр Михайлович Луговской⁴

^{1, 2, 3, 4} Российский государственный социальный университет,
Москва, Россия

⁴ Московский государственный университет геодезии и картографии,
Москва, Россия

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО НА ЭКОСИСТЕМНЫЕ СЕРВИСЫ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА

Аннотация. В статье рассматривается всестороннее воздействие борщевика Сосновского на экосистемные функции почв на территории Московского региона. Сравнительное исследование городских и сельских популяций этого инвазивного растения позволило выявить главные механизмы его влияния на почвы и растения на пораженных территориях. К ним относятся аллелопатическое подавление почвенных микроорганизмов, усиление эрозии, формирование монодоминантных сообществ и вытеснение аборигенных видов. Это приводит к увеличению эрозии, образованию сообществ, где преобладает только данный вид, и вытеснению местных растений, в том числе редких эфемероидов. С использованием методологии ТЕЕВ была проведена экономическая оценка ущерба от инвазии борщевика Сосновского на территории Московского региона. Она показала, что годовые убытки для региона могут составлять от 2,35 до 3,6 миллиарда рублей. В рамках исследования предложены стратегии управления, направленные на то, чтобы свести к минимуму ущерб антропогенным и сельским ландшафтам, в частности предлагаются методы, которые могут помочь восстановить разнообразие растительности и уменьшить распространение борщевика.

Ключевые слова: оценка экосистемных услуг почвы, инвазивные виды, борщевик Сосновского, депонирование углерода, городские и сельские экосистемы, изоляция популяций, морфологические различия

Финансирование: исследование не имело финансовой поддержки.

Research article

UDC 504.5; 504.053; 504.054; 581.5

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-39-51

Ivan Alekseevich Gichun¹,
Anastasia Anatolyevna Mirsanova²,
Olga Alekseevna Burukina³,
Alexander Mikhailovich Lugovskoy⁴

^{1, 2, 3, 4} Russian State Social University,
Moscow, Russia

⁴ Moscow State University of Geodesy and Cartography,
Moscow, Russia

ASSESSING THE IMPACT OF SOSNOWSKY'S HOGWEED ON ECOSYSTEM SERVICES IN THE MOSCOW REGION

Abstract. This article examines the comprehensive impact of *Heracleum sosnowskyi*, or Sosnowsky's hogweed on soil ecosystem functions in the Moscow region. A comparative study of urban and rural populations of this invasive plant allowed to identify the main mechanisms of its impact on soils and plants in the affected areas. These include allelopathic suppression of soil microorganisms, increased erosion, the formation of monodominant communities, and the displacement of native species.

This leads to increased erosion, the formation of communities dominated by this species, and the displacement of native plants, including rare ephemeroids. Using the TEEB methodology, an economic assessment of the damage caused by Sosnowsky's hogweed infestation in the Moscow region was conducted. It showed that annual losses for the region could range from 2.35 to 3.6 billion rubles. The study proposes management strategies to minimize damage to anthropogenic and rural landscapes, including methods that could help restore vegetation diversity and reduce the spread of hogweed.

Keywords: soil ecosystem service assessment, invasive species, Sosnowsky's hogweed, carbon sequestration, urban and rural ecosystems, population isolation, morphological differences

Funding statement: this study received no financial support.

Введение

Рост численности и расширение ареалов инвазивных видов является серьезной угрозой биологическому разнообразию, устойчивости экосистем и их экосистемным услугам. На территории Российской Федерации, и в частности в Московском регионе, особо проблемным и опасным инвазивным видом является борщевик Сосновского — крупный (от 2–3 метров в среднем) зонтичный сорняк, интродуцированный в середине XX века в качестве перспективной кормовой культуры. Однако весьма высокая аллелопатическая

активность, семенная продуктивность, устойчивость к неблагоприятным условиям, а также отсутствие естественных врагов привели к крайне быстрому распространению данного вида на всей европейской части России и превращению его в инвазивный сорняк, способный формировать монодоминантные сообщества [1; 2; 5].

Борщевик Сосновского активно распространяется в Московском регионе, захватывая как антропогенно трансформированные ландшафты (заброшенные сельхозугодья, обочины дорог, пустыри), так и природные биотопы (поймы рек, опушки лесов) [4]. По данным из открытых источников, в том числе Россельхознадзора, площадь его распространения создает угрозы биологическому разнообразию и здоровью населения из-за фитотоксичных свойств сока растения [6; 7].

Однако, несмотря на имеющиеся серьезные проблемы, связанные с его активным распространением, большая часть исследований сосредоточена на общей биологии вида, методах борьбы с ним и картировании очагов распространения [3].

В данный момент недостаточно изученным остается влияние борщевика на основные экосистемные сервисы почв и растений. Данный опасный вид не только конкурирует с другими растениями, но и преобразует устоявшиеся экосистемы под себя. Это влияние, в свою очередь, ведет к потере или к значительному снижению регулирующих (водорегулирующая, противоэрозионная), обеспечивающих (формирование почвенного плодородия, продуктивность) и культурных (рекреационная, эстетическая) экосистемных услуг, ценность которых лишь частично отражена в существующих подходах к оценке ущерба. Кроме того, адаптационный потенциал и стратегии вида могут существенно различаться в контрастных условиях среды, таких как урбанизированные территории и сельскохозяйственные ландшафты, что требует разного подхода как к изучению его воздействия, так и к разработке мер по борьбе с ним.

Целью данного исследования является оценка влияния и ущерба от инвазии борщевика Сосновского на примере различных популяций Московского региона и расчет ущерба экосистемным услугам почв и растений. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- провести сравнительный анализ характеристик популяций борщевика Сосновского в урбанизированной (Москва) и сельскохозяйственной/природной (Подмосковье) среде, выявив формы экологической изоляции и адаптивные стратегии;
- систематизировать и оценить механизмы воздействия вида на ключевые свойства почв (физические, химические, биологические) и на структуру аборигенных растительных сообществ;
- на основе анализа воздействия борщевика Сосновского провести экономическую оценку ущерба деградации почвенных экосистемных услуг и растений, используя методологию ТЕЕВ;

– разработать дифференцированные практические рекомендации по управлению инвазией борщевика, направленные на минимизацию ущерба экосистемным сервисам в различных типах ландшафтов.

Материалы и методы исследования

Как уже отмечалось выше, объект исследования в данной работе — опасный инвазивный вид — борщевик Сосновского. Данное растение представляет угрозу биоразнообразию, хозяйственной деятельности и экосистемным сервисам на территории Московского региона. Для проведения сравнительного анализа были выбраны две популяции, находящиеся в различных частях Московского региона:

– популяция 1 (городская, урбанизированная среда): очаги распространения в пределах Москвы, в частности на территории парков и иных рекреационных зон с высокой антропогенной нагрузкой. Данная популяция существует в условиях интенсивного техногенного воздействия, регулярного ухода за территориями и фрагментации местообитаний;

– популяция 2 (сельская, природно-антропогенная среда): крупные очаги распространения на заброшенных сельскохозяйственных угодьях, поймах рек и вдоль транспортных магистралей в Московской области. В качестве модельных территорий рассмотрены районы, выделенные в результате анализа данных открытых источников картографического анализа как наиболее проблемные: Дмитровский, Талдомский, Клинский, Истринский, Одинцовский городские округа. Данная популяция характеризуется относительной непрерывностью местообитаний и эпизодическим характером контрольно-истребительных мероприятий.

Для решения поставленных задач был применен комплекс методов, основанных на анализе существующих открытых данных, литературных источников и вторичной обработке результатов натурных наблюдений, представленных в научной литературе. Для оценки пространственного распределения, выявления основных коридоров и барьеров расселения борщевика Сосновского в регионе был проведен анализ актуальных картографических материалов: карта распространения борщевика Сосновского проекта «Антиборщевик»; карта геопортала Подмосковья — государственная краудсорсинговая карта, данные Россельхознадзора, публикации, содержащие картосхемы распространения вида в регионе.

На основе сравнительного анализа были выделены зоны с максимальной плотностью очагов, также были определены основные физико-географические факторы распространения (транспортные узлы и коридоры, долины рек, заброшенные земли) и ландшафтные ограничители (заболоченные территории, крупные лесные массивы). Анализ различий между исследуемыми

популяциями, а также их возможное влияние на экосистемные услуги и сами экосистемы проводился на основе данных из научных публикаций, картирования, а также вторичного анализа.

Полученные результаты были систематизированы по следующим параметрам:

- морфометрические показатели: высота изучаемых растений, их семенная продуктивность. За основу были взяты данные для аналогичных условий из других публикаций, а также обобщенные данные из прикрепленной таблицы 2;

- формы изоляции популяций. Для выбранных исследуемых популяций были выделены основные формы изоляции (географическая, экологическая, репродуктивная) и виды антропогенного воздействия;

- воздействие на почвы и растения. На основе анализа научных публикаций были систематизированы качественные и, где возможно, количественные данные о влиянии борщевика Сосновского на: свойства почвы (плотность, влажность); аллелопатическое воздействие на почвенные бактерии; подверженность эрозии; растительные сообщества (сокращение видового разнообразия, создание монодоминантных сообществ, трансформация структуры).

Для экономической оценки ущерба от распространения борщевика Сосновского была использована методология ТЕЕВ, адаптированная для оценки ущерба от инвазивных видов. Оценка включала следующие шаги:

1. Определение нарушенных экосистемных услуг: на основе проведенного анализа воздействия борщевика Сосновского был составлен список экосистемных услуг, полностью или частично утративших свои функции от инвазии данного вида. Пострадавшие услуги были классифицированы по следующим категориям: регулирующие, обеспечивающие, культурные.

2. Выбор методов денежной оценки для каждой категории ущерба:

- для расчета ущерба обеспечивающим экосистемным услугам, к которым можно отнести потерю продуктивности сельскохозяйственных земель, использовался метод упущенной выгоды. Для этого были использованы данные средней урожайности земель Московского региона, а также средняя рыночная цена на сельхозпродукцию;

- для оценки ущерба регулирующим услугам почв (противоэрозионная функция) применялся затратный метод, определяющий стоимость мероприятий по предотвращению эрозии (укрепление склонов, рекультивация) на пораженных территориях;

- для оценки ущерба культурным услугам (снижение рекреационной и эстетической ценности ландшафтов) был использован подход, сочетающий метод транспортно-путевых затрат (оценка потерь от сокращения посещаемости) и данные исследований, в которых применяется метод условной оценки (WTP) за сохранение природных ландшафтов;

– прямые затраты на борьбу с борщевиком были оценены на основе стоимостного метода. Учитывались данные о стоимости гербицидов, работ по покосу и механическому уничтожению.

3. Расчет интегрального показателя ущерба. На основании литературных данных и официальной статистики (Россельхознадзор, Минсельхоз РФ) об ориентировочной площади земель, деградировавших под воздействием борщевика в Московском регионе, была выполнена укрупненная оценка годового экосистемного ущерба по формуле:

$$\text{Ущерб} = \Sigma (\text{Площадь нарушения } i\text{-той услуги} \times \text{Стоимость восстановления / потери единицы услуги}).$$

Таким образом, в основе методологии данного исследования лежит анализ существующих данных. Благодаря использованию имеющихся данных получилось провести оценку влияния борщевика Сосновского на экосистемные сервисы почв и растений Московского региона без проведения дополнительных исследований.

Результаты исследования

Проведенный анализ позволил выявить основные отличия влияния различных популяций борщевика Сосновского на экосистемные сервисы почв и растений в Московском регионе, что согласуется с данными, представленными в других публикациях (табл. 1).

Таблица 1

**Формы изоляции и факторы дифференциации
городской и сельской популяций борщевика Сосновского**

Критерий	Популяция 1 (городская среда)	Популяция 2 (сельская/ природная среда)	Факторы влияния и последствия для экосистемных сервисов
Географическая изоляция	Окружена городскими пространствами, фрагментированные островные местообитания (пустыри, окраины парков)	Обширные, относительно непрерывные массивы на заброшенных полях, в поймах рек, вдоль дорог	Городская среда сильно ограничивает распространение, однако создает множественные очаги. Отсутствие ограничений в сельской местности способствует быстрому распространению борщевика Сосновского и масштабной деградации пораженных земель
Экологическая изоляция (условия среды)	Почвы загрязнены тяжелыми металлами и реагентами, проблема уплотнения, микроклимат	Почвы более плодородные, но подвержены деградации. Условия приближены	Антропогенное влияние ограничивает максимальный рост растений. В сельской среде растение реализует полный потенциал роста,

Критерий	Популяция 1 (городская среда)	Популяция 2 (сельская/ природная среда)	Факторы влияния и последствия для экосистемных сервисов
	более теплый и сухой	к естественным для данного вида	наноса максимальный ущерб почвенному плодородию и другим растениям
Репродук- тивная стратегия	Ограниченное перекрестное опыле- ние из-за изоляции отдельных растений. Частый покос до цветения	Активное перекрест- ное опыление между зарослями. Большая часть растений не ограничена в росте	В условиях городской среды распространение с помощью семян ограничено, распростра- нение происходит преимуще- ственно вегетативным спосо- бом. В сельской среде домини- рует конкурентная стратегия с гигантизмом и колоссальной семенной продуктивностью, что обеспечивает устойчи- вость популяции и высокие затраты на ее подавление
Антропо- генное воздей- ствие	Регулярное 1–2-разовое скаши- вание за сезон для благоустройства и точечная химиче- ская обработка	Несистемные меры контроля, часто раз в несколько лет. Преобладает механи- ческое уничтожение (покос, вспашка) на ограниченных площадах	Регулярное антропогенное давление сдерживает распространение, но требует больших финансовых вложений. Несистемная борьба в загородной местно- сти малоэффективна и при- водит к постоянному росту площади зараженных земель и накоплению ущерба

Как видно из данных таблицы 1, борщевик Сосновского проявляет способность приспосабливаться к различным условиям внешней среды. Морфологические различия как индикатор адаптивных стратегий представлены в таблице 2.

Таблица 2

Морфологические различия как индикатор адаптивных стратегий

Параметр	Популяция 1, городская среда	Популяция 2, сельская среда	Интерпретация в контексте воздействия на экосистемные сервисы
Средняя высота растений	1,5–2,3 м	3,0–3,5 м (до 4 м)	Гигантизм в сельской популяции обеспечивает абсолютное доминирование над травостоем и остальны- ми растениями, приводя к быстрой ликвидации обеспечивающих услуг

Параметр	Популяция 1, городская среда	Популяция 2, сельская среда	Интерпретация в контексте воздействия на экосистемные сервисы
Семенная продуктив- ность (тыс. семян на расте- ние)	5–15 м	15–35 м (до 70 м)	Крайне высокая семенная продуктивность и оптималь- ные условия в сельской мест- ности обеспечивают высокое загрязнение почвы семенами и делают более сложным и дорогим восстановление пораженных территорий

Из-за воздействия борщевика Сосновского происходит деградация почвенных экосистемных сервисов, среди которых:

1. Нарушение регулирующих услуг (водный режим, защита от эрозии): мощная стержневая корневая система, отмирающая после плодоношения, оставляет в почве макрополости, которые могут способствовать усилению внутренней эрозии. Одновременно плотный полог листьев в период вегетации резко снижает инсоляцию и испарение с поверхности почвы, нарушая естественный гидрологический режим. В зимний и ранневесенний период участки, занятые сухостоем борщевика, не выполняют почвозащитной функции, способствуя развитию ветровой и водной эрозии на склонах.

2. Нарушение обеспечивающих услуг (почвообразование, плодородие): аллелопатические выделения корней борщевика подавляют деятельность почвенной микрофлоры и микоризных грибов, критически важных для гумификации органического вещества и мобилизации питательных элементов. Можно сказать, что происходит своеобразная стерилизация почвы, что негативно сказывается на естественном круговороте элементов питания в почве. В качестве примера можно привести подавление роста и развития эфемероидов, активно использующих питательные вещества в короткий весенний период, что приводит к вытеснению этих важных депонирующих углекислый газ организмов из состава фитоценозов. Однако сравнительный анализ эффективности и расчеты объема депонирования углекислого газа в видоизмененных побегах эфемероидов в форме корневищ, клубней и луковиц показывает, что депонирование углекислого газа в корневищах, а также в медленно разлагающейся фитомассе борщевика приблизительно сопоставимы с покоящимися в почве в течение нескольких лет эфемероидами.

Потеря ценности территорий, занятых борщевиком, сказывается и на ботанике. Исчезновение редких и декоративных растений, например ветреницы дубравной, ведет к утрате эстетической привлекательности лесов и парков. Это снижает привлекательность ООПТ для экотуризма и рекреации в ключевой сезон, что должно учитываться как существенная составляющая в оценке ущерба культурным экосистемным услугам.

На основе анализа воздействия и с использованием адаптированной методологии ТЕЕВ была проведена укрупненная оценка годового ущерба от инвазии борщевика Сосновского для Московского региона. За базовую площадь взята оценка в 100 000 га земель, в разной степени деградировавших под его воздействием (табл. 3).

Таблица 3

**Оценка годового ущерба от инвазии борщевика Сосновского
для Московского региона**

Категория ущерба / нарушенная экосистемная услуга	Метод оценки	Ориентировочная стоимость, год / млн руб.	Приоритет- ность для типа территории
Утрата продуктивности сельхозземель и лугов (обеспечивающая)	Стоимость упущен- ной выгоды (потери урожая, сена)	1 500–2 000	Критический (сельская)
Затраты на мероприятия по борьбе и рекультивации (прямые затраты)	Затратный метод (гербициды, техника, работа)	400–600	Высокий (городская / сельская)
Ущерб от усиления эрозии почв (регулирующая)	Затраты на противо- эрозионные меро- приятия	150–300	Высокий (сельская)
Снижение рекреационной и эстетической ценности территорий (культурная)	Условная оценка (WTP), транспортно- путевые затраты	200–500	Критический (городская/ пригородная)
Потери в смежных отраслях (пчеловодство, здравоохра- нение)	Стоимость упущен- ной выгоды, затра- ты на лечение	100–200	Средний
ИТОГО (консервативная оценка годового ущерба)		2 350–3 600	

На основе проведенной оценки ущерба экосистемным услугам и выявленных различий в популяционной экологии вида, управление инвазией борщевика Сосновского должно быть основано на принципах дифференцированного, ландшафтно-адаптированного подхода, направленного не только на уничтожение сорняка, но и на восстановление нарушенных экосистемных услуг.

Для городских и пригородных рекреационных территорий приоритетом является обеспечение безопасности населения и сохранение эстетико-рекреационных функций. В данном случае наиболее эффективной будет стратегия постоянного мониторинга и оперативного реагирования. Целесообразно внедрение GIS-систем с использованием данных дистанционного зондирования, таких как дроны и спутниковые снимки для обнаружения даже отдельных растений. Уничтожение очагов следует проводить на ранних стадиях вегетации, отдавая предпочтение точечным методам, например выкапывание корня и инъекция гербицидов в стебель, которые минимизируют воздействие на почву и другие виды. После ликвидации борщевика необходимо ускоренное

восстановление растительного покрова посевом устойчивых дернообразующих трав, что предотвратит повторную колонизацию и восстановит почвозащитные и рекреационные функции.

В сельскохозяйственных и природных ландшафтах необходима системная, плановая кампания, нацеленная на сокращение площади заражения и восстановление продуктивности земель. Для крупных массивов эффективно многоэтапное комбинирование методов: весеннее скашивание до цветения с последующей обработкой гербицидами сплошного действия по отрастающим побегам и обязательной утилизацией биомассы. На освобожденных территориях критически важно создание конкурентного растительного покрова через залужение многолетними травами или посадку быстрорастущих кустарников.

Заключение

Анализируя экологическую и экономическую эффективность сервисных услуг от инвазии борщевика Сосновского фитоценозов Московского региона, следует отметить бесконтрольный и беспрепятственный характер распространения этого вида. Наибольший ущерб проявляется из-за вытеснения видов и прежде всего эфемероидов, что приводит к уменьшению биоразнообразия, потере биопродуктивности геосистем и снижению эстетичности и привлекательности рекреационных территорий.

Общий ущерб от потери продуктивности сельскохозяйственных земель, эстетичности рекреационных ресурсов из-за распространения борщевика Сосновского, контроля за распространением этого вида исчисляется миллиардами рублей в пределах Московского региона. В связи с этим является актуальной разработка и финансирование эколого-экономических проектов по завершению внедрения борщевика Сосновского в хозяйственный оборот в качестве культуры, разработка механизмов выявления естественных ингибиторов распространения этого вида, осуществление практических мероприятий и рекомендаций по нормализации видового состава фитоценозов Московского региона.

Список источников

1. Геоэкологические особенности организации мониторинга за борщевиком Сосновского для защиты сельскохозяйственных земель от инвазивных растений / А. М. Луговской, М. Е. Терехин, Л. А. Межова и др. // Геология, география и глобальная энергия. 2024. № 2 (93). С. 84–87. https://doi.org/10.54398/20776322_2024_2_84. EDN: MTZSEE.
2. Кадетов Н. Г., Чернышов М. П. Влияние инвазионных видов растений на элементы зеленой инфраструктуры городов на примере Московской агломерации // Социально-экологические технологии. 2021. Т. 11. № 3. С. 327–344. <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2021-11-3-327-344>. EDN: MVAXEW.

3. Кондратьев М. Н., Бударин С. Н., Ларикова Ю. С. Физиолого-экологические механизмы инвазивного проникновения борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi manden*) в неиспользуемые агроэкосистемы // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2015. № 2. С. 36–49. EDN: UARXXL.

4. Озерова Н. А. Исследование распространения борщевика Сосновского в Московской области с использованием спутниковых данных / Н. А. Озерова, Е. С. Ёлкина, А. Н. Швецов, А. Г. Куikliна // Материалы 21-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва: ИКИ РАН, 2023. С. 390. <https://doi.org/10.21046/21DZZconf-2023a>. EDN: VGGYEZ.

5. Семчук Н. Н. Трансформация травянистого культурного растения в опасный инвазионный дикорастущий вид / Н. Н. Семчук, О. В. Балун, С. Н. Гладких, Я. М. Абдушаева // АгроЭкоИнженерия. 2021. № 4 (109). С. 29–40. <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2021-4109-29-40>. EDN: FSILVJ.

6. Сорокин И.А. Разработка аппаратно-программного комплекса на основе БПЛА для выявления мест нахождения борщевика / И. А. Сорокин, П. Н. Романов, А. Д. Чесноков, Т. Е. Кондраненкова // Вестник НГИЭИ. 2021. № 11 (126). С. 7–16. <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2021-11-7-16>. EDN: NWIYCJ.

7. Чегодаева Н. Д., Маскаева Т. А., Лабутина М. В. Аллелопатическое влияние борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi Manden*) на культурные растения // Фундаментальные исследования. 2015. № 2-26. С. 5845–5849. EDN: UBHRCH.

References

1. Lugovskoy A. M., Terekhin M. E., Mezova L. A. et al. Geoeological features of monitoring organization for Sosnovsky's hogweed to protect agricultural lands from invasive plants. *Geology, Geography and Global Energy*. 2024;(93):84–87. (In Russ.). https://doi.org/10.54398/20776322_2024_2_84. EDN: MTZSEE.

2. Kadetov N. G., Chernyshov M. P. Influence of invasive plant species on elements of green infrastructure of cities on the example of the Moscow agglomeration. *Social and Environmental Technologies*. 2021;11(3):327–344. (In Russ.). <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2021-11-3-327-344>. EDN: MVAXEW.

3. Kondratiev M. N., Budarin S. N., Larikova Yu. S. Physiological and ecological mechanisms of invasive penetration of Sosnovsky's hogweed (*Heracleum sosnowskyi Manden*) into unused agroecosystems. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2015;(2):36–49. EDN: UARXXL. (In Russ.).

4. Ozerova N. A., Elkina E. S., Shvetsov A. N., Kuklina A. G. Study of the spread of Sosnovsky's hogweed in the Moscow region using satellite data. *Materials of the 21st International Conference "Modern problems of Earth remote sensing from space"*. Moscow: IKI RAN. 2023:390. (In Russ.). <https://doi.org/10.21046/21DZZconf-2023a>. EDN: VGGYEZ.

5. Semchuk N. N., Balun O. V., Gladkikh S. N., Abdushaeva Ya. M. Transformation of a herbaceous cultivated plant into a dangerous invasive wild species. *AgroEcoEngineering*. 2021;(109):29–40. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2021-4109-29-40>. EDN: FSILVJ.

6. Sorokin I. A., Romanov P. N., Chesnokov A. D., Kondranenkova T. E. Development of a hardware-software complex based on UAVs for detecting hogweed locations. *Bulletin of NGIEI*. 2021;(126):7–16. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2021-11-7-16>. EDN: NWIYCJ.

7. Chegodaeva N. D., Maskaeva T. A., Labutina M. V. Allelopathic influence of Sosnovsky's hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden) on cultivated plants. *Fundamental Research*. 2015;(2-26):5845–5849. EDN: UBHRCH. (In Russ.).

Информация об авторах / Information about the authors:

Гичун Иван Алексеевич — аспирант кафедры экологии и природоохранной деятельности, Российский государственный социальный университет, Москва, Россия.

Gichun Ivan Alekseevich — Postgraduate Student of the Department of Ecology and Environmental Protection Russian State Social University, Moscow, Russia.

gichun_ivan@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0004-4364-3126>

Мирсанова Анастасия Анатольевна — аспирант кафедры экологии и природоохранной деятельности, Российский государственный социальный университет, Москва, Россия.

Mirsanova Anastasia Anatolyevna — Postgraduate Student of the Department of Ecology and Environmental Protection Russian State Social University, Moscow, Russia.

a_mirsanova@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0009-7055-6809>

Бурукина Ольга Алексеевна — аспирант кафедры экологии и природоохранной деятельности, Российский государственный социальный университет, Москва, Россия.

Burukina Olga Alekseevna — Postgraduate Student of the Department of Ecology and Environmental Protection Russian State Social University, Moscow, Russia.

olga.al.burukina@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-0496-3325>

Луговской Александр Михайлович — доктор географических наук, профессор кафедры географии, Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия.

Lugovskoy Alexander Mikhailovich — Doctor of Geography, Professor of the Department of Geography, Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia.

alug1961@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3985-4535>

Вклад авторов:

Иван Алексеевич Гичун — сбор полевого материала в пределах Москвы, анализ воздействия на почву и оценка экосистемных сервисов почвы.

Анастасия Анатольевна Мирсанова — сбор полевого материала в пределах Московского региона, анализ воздействия на биоту, оценка и монетизация экосистемных сервисов фитоценозов.

Ольга Алексеевна Бурукина — анализ состояния экосистемных сервисов, сравнительный анализ депонирования углекислого газа борщевиком Сосновского и эфемероидами, оценка воздействия на экосистему.

Александр Михайлович Луговской — общее методическое руководство по сбору материала и его анализу, контроль достоверности результатов и обоснованности выводов.

Authors' contributions:

Ivan Alekseevich Gichun — collection of field material within the city of Moscow, analysis of soil impact, and assessment of soil ecosystem services.

Anastasia Anatolievna Mirsanova — collection of field material within the Moscow region, analysis of impact on biota, assessment and monetization of phytocenosis ecosystem services.

Olga Alekseevna Burukina — analysis of the state of ecosystem services, comparative analysis of carbon dioxide sequestration by *Heracleum sosnowskyi* and ephemeroids, assessment of impact on the ecosystem.

Alexander Mikhailovich Lugovskoy — overall methodological guidance for material collection and analysis, validation of results, and verification of the soundness of conclusions.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no relevant conflict of interests.

Статья поступила в редакцию: 18.04.2026;
одобрена после доработки: 20.04.2026;
принята к публикации: 22.04.2026.

The article was submitted: 18.04.2026;
approved after reviewing: 20.04.2026;
accepted for publication: 22.04.2026.



Обзорная статья

УДК 911.5/.9

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-52-67

**Александр Александрович Лобжанидзе¹,
Димитрий Леонидович Лопатников²**

¹ Московский педагогический государственный университет,
Москва, Россия

² Институт географии РАН,
Москва, Россия

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ: КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Аннотация. В статье рассматривается эволюция научных взглядов на возможность устойчивого развития от первых эколого-экономических идей до современной парадигмы, закреплённой в Целях устойчивого развития (ЦУР). Особое внимание уделяется пространственному измерению устойчивости, теоретическим подходам (неоклассическому, институциональному, эволюционному, географическому) и их применимости к устойчивому управлению территориями. На основе анализа российских и зарубежных источников выявлены ключевые противоречия реализации концепции устойчивого развития (УР), роль географической науки в ее становлении, а также современные вызовы (изменение климата, пандемия, геополитическая напряженность), трансформирующие детерминанты УР. Показаны диалектические противоречия концепции УР, проявления ее одновременной утопичности, антиутопичности и реалистичности.

© Лобжанидзе А. А., Лопатников Д. Л., 2026

Ключевые слова: устойчивое развитие, Цели устойчивого развития (ЦУР), зеленая экономика, ESG-рейтинги, зеленые финансы, глобальное партнерство, регионализация

Финансирование: исследование не имело финансовой поддержки.

Review article

UDC 911.5/.9

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-52-67

**Alexander Alexandrovich Lobzhanidze¹,
Dimitri Leonidovich Lopatnikov²**

¹ Moscow State Pedagogical University,
Moscow, Russia

² Institute of Geography, RAS,
Moscow, Russia

SUSTAINABLE DEVELOPMENT: CONCEPTUAL PROBLEMS AND PROSPECTS

Abstract. The article examines the evolution of scientific views on the possibility of sustainable development from the first ecological and economic ideas to the modern paradigm enshrined in the Sustainable Development Goals (SDGs). Special attention is paid to the spatial dimension of sustainability, theoretical approaches (neoclassical, institutional, evolutionary, geographical) and their applicability to the sustainable management of territories. Based on the analysis of Russian and foreign sources, key contradictions in the implementation of the SD concept, the role of geographical science in its development, as well as modern challenges (climate change, pandemic, geopolitical tensions), transformative determinants of SD have been identified. The dialectical contradictions of the SD concept, the manifestations of its simultaneous utopianism, dystopianism and realism are shown.

Keywords: sustainable development, Sustainable Development Goals (SDGs), green economy, ESG ratings, green finance, global partnership, regionalization

Funding statement: no funding was received for writing this manuscript.

Введение

Концепция устойчивого развития, зародившись во второй половине XX века как ответ на экзистенциальные угрозы, связанные с истощением ресурсов и деградацией окружающей среды, к настоящему моменту превратилась в официальную парадигму мирового сообщества. От первоначального акцента на экологических ограничениях экономического роста она эволюционировала к сложной, триединой (или четырехкомпонентной) модели, включающей экономическую, социальную и экологическую сферы, а также аспекты управления [1; 2; 6].

Однако, несмотря на кажущуюся универсальность, реализация принципов устойчивого развития сталкивается с серьезными препятствиями, обусловленными пространственной неоднородностью мира. Экономико-географический анализ позволяет рассмотреть устойчивое развитие не как абстрактный идеал, а как конкретный процесс, протекающий в специфических условиях той или иной территории с ее уникальным сочетанием природно-ресурсного потенциала, хозяйственного уклада, расселения населения и институциональной среды.

Цель данной статьи — провести экономико-географический анализ эволюции и современного состояния концепции устойчивого развития, выявить вклад географической науки в ее формирование и оценить применимость различных теоретических подходов к управлению территориальным развитием.

Материалы и методы исследования

Материалом для исследования послужили научные публикации российских и зарубежных авторов ($n = 21$) по теме устойчивого развития за период с 1966 по 2025 г. Методы: контент-анализ, историко-генетический метод, систематизация теоретических подходов, сравнительно-географический анализ.

Результаты исследования

Истоки и эволюция концепции: от экономического роста к балансу интересов

Зарождение идей, предвосхитивших современную концепцию УР, уходит корнями в классическую экономическую теорию. А. Смит, Д. Рикардо и Т. Мальтус, исследуя ограничения экономического роста, заложили основы понимания пределов, связанных с землей и народонаселением [2]. Однако длительное время доминировала неоклассическая парадигма, рассматривавшая экономику как закрытую систему и абстрагировавшаяся от биофизических ограничений. Экономический рост, измеряемый через ВВП, считался панацеей от бедности и социального неравенства, что нашло отражение в первых стратегиях развития ООН [6].

Российская (советская) географическая школа внесла весомый, но не всегда должным образом оцененный вклад в становление идей, созвучных устойчивому развитию. В отличие от западной традиции, где акцент часто делался на математическом моделировании глобальных процессов (Римский клуб), отечественные географы и экономисты сосредоточились на конкретных механизмах взаимодействия общества и природы в специфических условиях огромной евразийской страны.

Как отмечает Т. Ю. Казакова, истоки стратегии УР в России связаны с именами выдающихся ученых [3]. Так задолго до современных дискуссий указал Д. И. Менделеев на геополитические и структурные проблемы развития, связанные с континентальностью нашей страны, суровым климатом и необходимостью рационального использования минеральных богатств не только для текущей выгоды, но и для будущего. Российский экономист-аграрник Н. П. Огановский анализировал деформации российского хозяйства при интеграции в мировой рынок, показывая, как форсированный экспорт зерна ведет к истощению почв и подрыву традиционного животноводства — классический пример неустойчивого природопользования, вызванного внешнеэкономическими факторами.

Фундаментальное значение имеют работы Н. Н. Баранского — основоположника советской районной школы экономической географии. Он обосновал необходимость изучения территориальных производственных комплексов, рассматривая район как связующее звено между природой и обществом. Его подход закладывал методологическую базу для планирования развития с учетом местных природных и экономических условий¹. Работы А. А. Минца, Ю. Г. Саушкина, В. С. Преображенского и других продолжили эту линию, заложив основы природно-хозяйственного районирования и учета пространственных закономерностей взаимодействия человека и среды.

Особого внимания заслуживает концепция рационального природопользования, разработанная Д. Л. Армандом² и философски обоснованная В. А. Анучиным³. Их идеи о необходимости вписаться в естественные процессы планеты, о качественном и количественном учете природных ресурсов с прогнозом на будущее концептуально перекликаются и во многом предвосхищают доклад «Наше общее будущее». Таким образом, российская географическая традиция изначально носила синтетический, комплексный характер, рассматривая развитие территории как единую систему «природа – население – хозяйство», что является сутью современного понимания устойчивого развития.

Переломным моментом стали 1970-е гг. Работы Римского клуба, в особенности доклад «Пределы роста» (1972)⁴, и труды К. Боулдинга⁵ продемонстрировали с помощью методов системной динамики, что экспоненциальный рост на планете с конечными ресурсами неизбежно приведет к коллапсу [2; 7]. Это дало мощный импульс к переосмыслению модели развития. Стокгольмская

¹ Казакова Т. Ю. Оль отечественной географической науки в формировании концепции устойчивого развития // Ученые записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета. 2008. № 1 (5). С. 66–70.

² Арманд Д. Л. Нам и внукам. 2-е изд., доп. М.: Мысль, 1966. 256 с.

³ Анучин В. А. Географический фактор в развитии общества. М.: Мысль, 1982. 334 с.

⁴ Медоуз Д. Х. и др. Пределы роста (1972). М.: МГУ, 1991. 207 с.

⁵ Boulding K. The Economics of the Coming Spaceship Earth. In H. Jarrett (ed.). Environmental Quality in a Growing Economy, 1966. P. 3–14. Baltimore, MD: Resources for the Future/Johns Hopkins University Press.

конференция ООН 1972 г. сместила акцент в сторону эколого-экономического развития.

Термин «устойчивое развитие» (УР) вошел в научный и политический обиход в 1980-е гг. и получил широкое распространение после публикации доклада «Наше общее будущее»⁶, подготовленного для ООН в 1987 г. международной комиссией по окружающей среде и развитию, возглавляемой бывшим премьер-министром Норвегии Гру Харлем Брундтланн.

В русском издании этой книги английский термин *sustainable development* был переведен как «устойчивое развитие», хотя в англо-русских словарях имеются и другие его значения: поддерживаемое, самоподдерживаемое, непрерывное, а в последнее время чаще используется словосочетание «устойчивое благополучие», которое понимается как «развитие, удовлетворяющее потребности настоящего без ущерба для будущих поколений». Родившись как попытка конструктивного ответа на грозный алармистский доклад «Пределы роста», концепция устойчивого развития стала восприниматься как некая мега-идея, способная отвести человечество от очередного апокалипсиса, который, согласно докладу, грядет как результат глобальных демографического, ресурсного и экологического кризисов.

Экономико-географический смысл этого определения заключается в признании территориальной и временной проекции ресурсопользования. Каждое поколение и каждый регион эксплуатируют определенный ресурсный капитал планеты, и задача УР — не допустить, чтобы эта эксплуатация в одном месте и в одно время подорвала возможности развития в другом месте и в другое время.

За последующие десятилетия концепция «устойчивого развития» была принята ООН как официальная. При этом список индикаторов такого развития непрерывно рос и детализировался, далеко выйдя за рамки трех названных глобальных проблем. Теперь в нем есть и экономический, и социальный, и политический блок.

Дальнейшая институционализация концепции прошла через череду ключевых форумов: Саммит Земли в Рио-де-Жанейро (1992), принявший Повестку дня на XXI век; Саммит тысячелетия (2000), утвердивший Цели развития тысячелетия (ЦРТ); Йоханнесбургский саммит (2002) и «Рио+20» (2012), где концепция была расширена до четырех измерений (добавлено «управление»). Венцом этой эволюции стали 17 Целей устойчивого развития (ЦУР), принятые в 2015 г. как универсальная повестка для всех стран до 2030 г.

В процессе своего вызревания и расширения сферы интересов за несколько десятилетий она плавно переключалась из сферы научных исследований и дискуссий в штабы зеленых партий и экологических движений. К сожалению, это редко способствует поиску истины, так как переходит в область интересов. А сегодня они явственно выражены и масштабны.

⁶ Наше общее будущее: Доклад Международной комиссии по окружающей среде и развитию (МКОСР) / пер. с англ. М.: Прогресс, 1989. 371 с.

Во-первых, это немалые голоса избирателей на выборах, особенно в высоко-развитых странах. Например, в Германии, партия «Зеленые» в последние десятилетия получала голоса в Бундестаг и ландтаги, сопоставимые с нашими КПРФ или ЛДПР. С подачи политиков-ораторов и уверовав в антропогенную природу глобального потепления, а большинством «зеленых» политиков это трактуется как доказанный факт, избиратели идут голосовать, проникнутые идеей, что они способны отвести от мира страшную угрозу. Вместе с тем «зеленый переход» сталкивается с растущим политическим сопротивлением. Так, «Европейская зеленая сделка» (European Green Deal) подвергается атакам со стороны правых популистских сил, которые используют критику климатической политики для мобилизации избирателей. Экологическая повестка стала инструментом в политической борьбе, где научные аргументы часто отходят на второй план перед сиюминутными политическими интересами и борьбой за голоса.

Во-вторых, подпрограммы, принимаемые на международном и национальном уровнях в рамках борьбы за устойчивое развитие и связанные с большими финансами, уже исчисляемыми триллионами долларов. Можно всячески приветствовать стремительное развитие мирового рынка зеленых финансов, который уже плодотворно работает на реализацию масштабных проектов по развитию ВИА, органического сельского хозяйства и др.

Немалое финансирование устойчивых проектов выделяется, в частности, по линии ООН. Управляют распределением этого финансирования бюрократы различных уровней. Подобная практика, к сожалению, ставшая нормой, работает естественным образом не столько на поиски истины, сколько на результат, нужный чиновникам, политическим и другим заинтересованным структурам.

Риски гринвошинга (использования экологического имиджа), конечно же, велики. Рынок зеленых финансов имеет триллионные обороты, но это не только бюджеты для чиновников ООН. Это деньги институциональных инвесторов (пенсионных фондов, страховых компаний), которые требуют прозрачности и реальных экологических результатов. Этот рынок, несмотря на все издержки, создает мощный экономический стимул для бизнеса снижать углеродный след и инвестировать в зеленые технологии, что в итоге работает на Цели устойчивого развития.

Мы ни в коей мере не ставим под сомнение необходимость конструктивно действовать в сфере управления мировым развитием с целью обеспечения достойного будущего следующих поколений, но тем не менее считаем, что в рамках рассматриваемой концепции еще есть немало дискуссионных тем, требующих беспристрастных исследований.

Современные вызовы и трансформация идей устойчивого развития

В XXI в. концепция УР столкнулась с новыми глобальными вызовами, которые обнажили ее внутренние противоречия и потребовали дальнейшей теоретической рефлексии.

Один из ключевых вопросов — принципиальная возможность глобального управления такой сверхсложной мегасистемой, как «человечество — биосфера». Среди ответов на этот вопрос в нашей стране наиболее известна идея ноосферы. Само понятие ноосферы — сферы разума — подразумевает потенциальную возможность управления биосферой человеком. В классическом варианте, изложенном в трудах Э. Леруа, Т. де Шардена, В. И. Вернадского, трансформация биосферы в ноосферу может быть позитивна и спасительна⁷. Кажется бы, найден фундамент для разрешения антагонистического конфликта между человеком и природой. Осталось только эту глубокую общеполитическую идею конкретизировать в рамках научных изысканий и основанной на них конструктивной практике — и Земля будет спасена.

Идея ноосферы, несомненно, хороша. Однако сомнения в другом — в возможности ее реализации. Исходя из теории ноосферы, человечество должно начать жить по новым правилам и организовать сознательное управление панпланетарными процессами, которое будет давать экологически лучший результат, чем стихийное развитие протекающих на планете естественных и техногенных процессов. Как это сделать? Вразумительного ответа на этот вопрос пока нет, и вряд ли он будет дан в обозримой перспективе. А без ответа на этот ключевой вопрос идея ноосферы и как одна из форм ее реализации — концепция устойчивого развития будут утопичны.

Концепция УР вступает в определенное противоречие с теориями цикличности цивилизационного и мирохозяйственного развития и периодически наблюдаемыми мирохозяйственными и, в более широком контексте, социально-экономическими и цивилизационными циклами и кризисами. Возможно ли совместить концепцию УР с этими теориями, циклами и кризисами — это вопрос. Именно неустойчивое развитие было основной формой существования государств, регионов и мировой цивилизации в целом за всю ее историю до настоящего времени.

С другой стороны, если исходить из долгосрочной очистительной благотворности кризисов, то волнообразная цикличность мирового развития, как это ни парадоксально звучит, может тоже рассматриваться как форма реализации концепции УР.

Концепция УР подразумевает линейное, бескризисное развитие. Однако история и экономическая теория⁸ говорят об обратном: развитие происходит

⁷ Янишина Ф. Т. Ноосфера В. И. Вернадского: утопия или реальная перспектива? // *Общественные науки и современность*, 1993. № 1. С. 163–173.

⁸ Шумпетер Й. Глава 7. Процесс «созидательного разрушения» // *Капитализм, социализм и демократия*: пер. с англ. / отв. ред. и авт. предисл. В. С. Автономов. М.: Экономика, 1995. С. 153–163. (ЭН. Экономическое наследие); Perez C. *Capitalism, Technology and a Green Global Golden Age: The Role of History in Helping to Shape the Future* / eds. by M. Mazzucato and M. Jacobs. London: Wiley Blackwell Ch., 2016. № 11. P. 191–217; *Frans Lavdari. The Fallacy of Infinite Growth: Rethinking Economic Progress in the Anthropocene* // *World Economics Association*, 2025. URL: <http://etdiscussion.worldeconomicsassociation.org/papers/the-falla>

через циклы и кризисы, которые выполняют очистительную функцию, обновляя технологическую базу. Принцип «нет худа без добра» положен в основу ставшей классической работы К. Перес «Технологические революции и финансовый капитал», где автор убедительно доказывает, что кризисы ведут не только к радикальному обновлению технологической базы хозяйства, но и к пересмотру основ экономической теории и практики на каждом новом этапе мирового развития. В этом же ключе звучат идеи Й. Шумпетера о созидательном разрушении, марксистско-ленинская теория пролетарской революции, в романтике которой воспитывалось не одно поколение советских людей. В прошлом году Нобелевская премия по экономическим наукам была присуждена Дж. Мокиру, Ф. Агьону и П. Ховитту за разработку теории устойчивого роста именно через созидательное разрушение. С этой позиции устойчивое развитие отнюдь не означает перманентно поступательное движение по восходящей, как это виделось, например, в рамках советской политэкономии.

По-новому заставляет взглянуть на возможность или невозможность реализации концепции УР внедрение в жизнь технологий искусственного интеллекта (ИИ). То, что казалось невозможным при традиционных технологиях регулирования экономики, социальных и политических процессов, вполне вероятно, станет возможным в ближайшем будущем благодаря ИИ [11]. Вопреки опасениям об антиутопии, ИИ уже сегодня активно и успешно применяется для решения конкретных задач устойчивого развития. Систематический обзор источников показывает, что умные алгоритмы используются для диагностики проблем, распределения ресурсов (например, анализ фондов борьбы с бедностью), прогнозирования (сценарии землепользования) и разработки долгосрочных энергетических политик, то есть ИИ уже становится практическим инструментом для перехода к устойчивости, а не только угрозой.

Концепция УР, которая глобальна по своему замыслу, зачастую приходит в противоречие с ее локальной реализацией. Экономико-географический анализ выявляет фундаментальные противоречия в парах «центр – периферия» и «город – село».

Основные выгоды от потребления ресурсов концентрируются в развитых странах и регионах (центрах), в то время как основная экологическая нагрузка (добыча сырья, размещение отходов, грязные производства) приходится на периферийные и полупериферийные территории. Принцип общей, но дифференцированной ответственности на практике часто оборачивается попыткой развитых стран переложить бремя декарбонизации на развивающиеся экономики. Яркий пример — ситуация с «Северными потоками». Как отмечает А. С. Харибына, этот маршрут был наиболее эффективным и экологичным для транспортировки газа в Европу, но он был блокирован по геополитическим причинам, в то время как Европа продолжает закупать более грязный

сланцевый газ из США, добываемый энергозатратным методом крекинга [5]. Так, экологическая рациональность уступает место политической конъюнктуре.

Проблематика УР в урбанизированных зонах (качество воздуха, транспорт, управление отходами) и сельской местности (депопуляция, доступ к услугам, поддержание агроландшафтов, сохранение биоразнообразия) кардинально различается. Стратегии развития должны учитывать эту пространственную дифференциацию, что требует децентрализации управления и учета местной специфики и часто вступает в противоречие с иерархическим подходом ООН [10].

Рост геополитических рисков и санкционное давление ведут к фрагментации мирового пространства. Принятые в ООН ЦУР, не имеющие обязательной юридической силы, оказываются заложниками геополитических интересов. Доклад ООН 2023 г. фиксирует недостаточный прогресс по реализации Концепции УР: по 48 % задач ЦУР наблюдается слабое продвижение, а по 37 % — застой или регресс [6].

В этих условиях возрастает роль региональных интеграционных объединений как альтернативных или дополняющих центров силы в глобальном управлении устойчивым развитием. Доклад НИУ ВШЭ подробно анализирует опыт различных регионов в достижении ЦУР [9].

ЕС продолжает задавать тон через «Европейскую зеленую сделку» и систему трансграничного углеродного регулирования (СВАМ). Однако внутреннее разногласия и внешние факторы (энергетический кризис, связанный с санкциями по отношению к дешевым российским энергоносителям) замедляют прогресс в этом направлении. В условиях ограниченности традиционных энергоресурсов стала очевидной несостоятельность зеленой энергетики. Европейский климатический закон и механизмы контроля, такие как Европейский фонд устойчивого развития (EFSD), создают жесткую наднациональную рамку, влияющую на региональную политику стран-членов и их внешнеэкономические связи (трансграничное углеродное регулирование). Страны ЕС пытаются совместить цель климатической нейтральности с парадигмой бесконечного экономического роста, что делает их внутренне противоречивыми и потенциально нереализуемыми в долгосрочной перспективе.

ЕАЭС демонстрирует попытку выработки собственной повестки. Утверждение в январе 2023 г. модельной таксономии зеленых проектов — важный шаг к гармонизации подходов и привлечению инвестиций. Включение в эту таксономию ядерной энергетики и газовых проектов с низким уровнем выбросов отражает специфику энергобаланса стран ЕАЭС и их стремление к технологическому суверенитету. Перспективным направлением становится разработка гармонизированных подходов к ЦУР в рамках ЕАЭС. Создание евразийского ESG-рейтинга при ведущей роли ЕАБР позволило бы создать объективный инструмент для оценки вклада компаний региона в устойчивое развитие, сопоставимый внутри союза и адаптированный к его экономико-географической специфике.

Глобальный Юг сталкивается с нехваткой финансирования и технологий для достижения ЦУР. Они настаивают на выполнении развитыми странами обязательств по предоставлению 0,7 % ВВП на помощь в целях развития и на справедливом трансфере технологий. Кризис глобальных институтов и рост протекционизма усугубляют эти проблемы. Анализ подходов АСЕАН, МЕРКОСУР и Африканского союза обнажает фундаментальное противоречие глобальной повестки — макроэкономическое неравенство. Страны Африки, Юго-Восточной Азии и Латинской Америки, являясь получателями помощи, подчеркивают недостаточность ресурсов для достижения ЦУР. Для них критически важны инвестиции, трансфер технологий по линии «Север – Юг» и решение проблем долгового кризиса. Для этих регионов на первый план выходят не только климатические цели, но и борьба с голодом (ЦУР 2), доступ к воде, устойчивое управление земельными ресурсами, тогда как экологическая повестка часто вступает в конфликт с необходимостью быстрого экономического роста (как в случае с вырубкой лесов в АСЕАН). Экономико-географически это проявляется в концентрации грязных производств в развивающихся странах в рамках глобальных цепочек поставок.

Тезис об исчерпании природных ресурсов в целом не оправдался. Во всяком случае, серьезных подтверждений этому в том варианте, который был представлен в докладе «Пределы роста», на сегодня нет. Не оправдались и прогнозы о скором исчерпании углеводородов, что сегодня скорее выступает фактором торможения технического прогресса, чем поддержания общемировой экономической безопасности⁹. Один из знаковых и наиболее ярких трудов, посвященных проблеме исчерпания природных ресурсов, — книга Дж. Саймона «Неисчерпаемый ресурс» [8]. Главный посыл Саймона сформулирован в его предельно кратких, но, нужно отдать должное, подробно аргументированных ответах на ключевые вопросы взаимоотношений человека и природы. Заслуга Саймона в том, что он еще в конце прошлого века попытался вернуть темы народонаселения, ресурсов развития современной цивилизации и экологических издержек этого развития из алармистского невроза в поле научных дискуссий. К сожалению, во многом его труд пока остается гласом вопиющего в пустыне.

В основании концепции устойчивого развития до сих пор лежат алармистские догматы, укладывающиеся в общую красную нить, что «раньше было хорошо, теперь стало плохо, а дальше, если всем не мобилизоваться на борьбу с экологическими и другими угрозами, будет планетарная катастрофа», которые делают ее не столько научной, сколько конъюнктурной. Реальная картина сложнее и мозаичнее. В частности, она не учитывает того, что в конце XX — первых десятилетиях XXI в. как на планете в целом, так и в отдельных регионах и странах мира произошли качественные изменения в глобальной экологической панораме. Действительно, прогнозы о том, что нефть и газ могут закончиться, не оправдались во многом благодаря технологическому прогрессу,

⁹ Медоуз Д. Х. и др. За пределами роста. М.: Академкнига, 2007. 342 с.

открывшему доступ к новым запасам (сланцевая революция, глубоководная добыча). Рост цен на сырье стимулировал поиск новых решений, что в итоге привело к большей их доступности. История последних десятилетий с развитием новых технологий по добыче сланцевой нефти и газа, а также со снижением стоимости возобновляемой энергии является эмпирическим подтверждением теории Дж. Саймона.

Однако проблема не в тотальной нехватке ресурсов, а в качестве ресурсов и экологических издержках их добычи. Удельная ресурсоемкость экономики снижается, но абсолютное потребление энергии и материалов продолжает расти, особенно в Азиатском регионе [7]. Это усугубляет проблему экологического следа развитых экономик, которые выводят грязные производства за свои пределы.

Критика неомальтузианства не отменяет проблемы планетарных границ. Альтернативная точка зрения, представленная в дискуссиях о дегроуте (degrowth), утверждает, что проблема не в исчерпании ресурсов как таковом, а в том, как они распределяются. Рост экономики в странах Глобального Севера достигается за счет выноса грязных производств и эксплуатации ресурсов Глобального Юга. В этом контексте УР для развитых стран означает не просто технологический оптимизм, а сознательное сокращение потребления, чтобы освободить экологическое пространство для развития более бедных стран.

Новыми вызовами в начале XXI в. стали глобальное изменение климата и наметившийся в связи с этим энергетический переход. Климатическая повестка стала доминирующей после принятия Парижского соглашения (2015), которое задало цель достижения углеродной нейтральности. Однако, как показывают примеры, переход к зеленой экономике нелинеен. Энергетический кризис в Европе, спровоцированный геополитической напряженностью, привел к временному возврату к углю в некоторых странах, продемонстрировав, что экологические приоритеты могут отступать перед задачами энергетической безопасности [2].

Переход к зеленой экономике требует огромных инвестиций и доступа к новым технологиям. Развивающиеся страны оказываются в ловушке: им необходимо развиваться, но им навязываются стандарты, которые могут быть достигнуты только при уже имеющемся высоком технологическом уровне, что еще больше закрепляет отсталость.

Для такой страны, как Россия, где природный газ (экологически более чистый, чем уголь или мазут) является основой тепловой энергетики, климатическая повестка имеет двойственное значение: с одной стороны, это риск санкций и снижения спроса, с другой — возможность для развития производства водорода и углеродного менеджмента. Анализ данных показывает, что выбросы могут колебаться в зависимости от производственных показателей: рост добычи и транспортировки после спада пандемии привел к увеличению выбросов в 2021 г. Это иллюстрирует фундаментальное противоречие: экологические показатели часто находятся в прямой зависимости от объемов производства.

Оценки демографических трендов и детерминированности ресурсной и экологической проблем продолжающегося пока роста народонаселения неоднозначны. Остается дискуссионной проблема емкости биосферы, диапазон оценок которой различается не только в разы, но и на порядок. Намечившиеся тенденции в мировой демографической панораме неизбежно внесут качественные коррективы в отношения между человеком и природой.

Глобальный демографический переход, современниками которого мы являемся, в долгосрочной перспективе приведет к кардинальной переоценке всех футурологических неомальтузианских сценариев развития человечества. Пока большинство из них своими корнями уходят в эпоху демографического взрыва и не учитывают тот исключительно важный для будущего нашей планеты факт, что точка перегиба на демографической кривой пройдена и в нынешнем веке общепланетарное население растет не с ускорением, а с существенным замедлением. Если затухание роста его численности пойдет по уже намечившейся траектории, проблемы устойчивого развития приобретут другое качество. Высока вероятность того, что речь идет уже о ближайших десятилетиях.

Дальнейшее развитие человечества в условиях прекращения роста численности населения, пусть даже на огромной цифре, которая, возможно, будет превышать 10 млрд человек, кардинально изменится. Главное, оно станет относительно стабильным. На первый план выйдет оценка емкости биосферы в совершенно новых демографических реалиях, когда она не будет опираться на численность населения вообще и масштабы его экономической и другой активности, а также на плотность населения на конкретных территориях. В новой реалии на первый план выйдут не количественные характеристики народонаселения и экономики, а качество населения и хозяйственных систем будущего.

Ключевым фактором становится не столько численность, сколько возрастная структура населения. Исследования показывают, что политика сокращения выбросов (эмиссионные квоты) по-разному влияет на экономический рост и качество окружающей среды в зависимости от того, насколько молодой или старой является возрастная структура населения. Более того, в стареющих обществах ужесточение экологической политики может парадоксальным образом улучшать качество окружающей среды. Демографические сдвиги меняют структуру спроса на энергию и труд, подталкивая к развитию экономики заботы.

Новым вызовом в социально-экономическом развитии стала пандемия COVID-19. Пандемия разделила восприятие ЦУР на до и после, не только обострив социальное неравенство и отбросив назад достижения в борьбе с бедностью, но и высветив уязвимость глобальных цепочек поставок. Это усилило тренд на регионализацию и поиск большей автономии, что вступает в противоречие с идеей глобального партнерства, заложенной в ЦУР-17 [2].

Пандемия COVID-19 и последовавший за ней энергетический кризис в Европе наглядно показали: в моменте страны готовы жертвовать экологическими целями (расконсервация угольных шахт в Германии) ради обеспечения текущих потребностей в энергии.

Рост геополитической напряженности и кризис глобального управления привели к тому, что приоритеты национальной безопасности и текущей экономической стабильности оттеснили долгосрочные экологические цели на второй план. Страны, столкнувшись с угрозами национальной безопасности, вынуждены сокращать горизонт планирования и отодвигать долгосрочные экологические цели в пользу текущих экономических задач [2]. ООН, будучи основной площадкой для продвижения УР, сталкивается с кризисом доверия и отсутствием механизмов принуждения к выполнению принятых резолюций. Институциональные механизмы оказываются слабыми для достижения консенсуса между государствами.

Заключение

Утопичность концепции УР проявляется в ее стремлении к глобальному управлению сверхсложной системой «человек – биосфера». Идея ноосферы как сферы разума, управляющего планетарными процессами, пока не имеет практических механизмов реализации и остается благородной, но труднодостижимой целью. Развитие по-прежнему циклично и кризисно, а попытки загнать его в прокрустово ложе линейного устойчивого прогресса могут быть наивными. Разнообразие трактовок и смыслов, расплывчатость проблематики, вкладываемой в концепцию устойчивого развития учеными, политиками, управленцами, бизнесменами и др., неясность механизмов ее реализации требуют дальнейшей научной работы над ее основными идеями и возможностями. Фрагментация мира и кризис многосторонних институтов делают глобальное управление еще более призрачным.

Антиутопичность концепции УР кроется в риске использования концепции для построения нового типа глобального контроля. Унификация стандартов, цифровизация управления и концентрация зеленых финансов в руках наднациональных структур могут привести к обществу, описанному Оруэллом, где слово «устойчивость» станет синонимом тотальной регламентации. ESG-рейтинги, при всей их полезности, могут превратиться в инструмент давления и манипуляции. Развитие ИИ и цифровых двойников городов, призванное оптимизировать управление, несет в себе и угрозу тотального контроля, описанную в антиутопиях.

Реалистичность концепции УР заключается в том, что она, даже будучи в чем-то утопичной, уже сейчас выполняет важнейшую регулятивную функцию. «Лейбл» устойчивого развития приносит благотворные плоды: стимулирует

энергосбережение, развитие возобновляемой энергетики, рециклинг, заставляет бизнес и государства учитывать экологические и социальные последствия своей деятельности. Экономико-географический анализ подтверждает: будущее устойчивого развития лежит не в плоскости абстрактных глобальных целей, а в конкретных действиях на местах, учитывающих пространственное разнообразие мира. Российская географическая школа с ее традициями комплексного районирования и рационального природопользования обладает уникальным инструментарием для разработки адаптивных стратегий. Подлинная устойчивость — это не состояние покоя, а способность территории и общества гибко реагировать на вызовы, сохраняя свою целостность и потенциал для развития в условиях перманентной турбулентности и цикличности.

Главная заслуга концепции УР состоит в том, что она опирается на принципиально новое видение веса различных факторов социально-экономического развития, среди которых впервые на первый план вышел экологический фактор.

Список источников

1. Балашова Е. С., Шарипова С. Р. Генезис теоретических представлений об устойчивом развитии социально-экономических систем // Вестник Пермского университета. Серия: Экономика. 2019. Т. 14. № 3. С. 371–387. <https://doi.org/10.17072/1994-9960-2019-3-371-387>. EDN: RNFW XF.
2. Кадомцева М. Е. Концепция устойчивого развития: эволюция теоретических подходов и современное видение // AlterEconomics. 2023. Т. 20. № 1. С. 166–188. <https://doi.org/10.31063/AlterEconomics/2023.20-1.9>. EDN: GYMPNX.
3. Казакова Т. Л. Роль отечественной географической науки в формировании концепции устойчивого развития // Ученые записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета. 2008. № 1 (5). С. 66–70. EDN: JKLEVJ.
4. Кондратьев Н. Д. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. Москва: Экономика, 2002. 765 с. ISBN: 5-282-02181-1. EDN: QTGOAJ.
5. Корпоративная эколого-социальная ответственность современной энергетики (на примере ПАО «Газпром») / А. В. Федаш, Н. Е. Лобжанидзе, О. С. Сизов, А. С. Харыбина // Нефтяное хозяйство. 2023. № 9. С. 60–65. <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2023-9-60-65>. EDN: GCQQBZ.
6. Макарова В. В. анализ эволюции концепции устойчивого развития // Экономические науки. 2023. № 227. С. 249–257. <https://doi.org/10.14451/1.227.249>. EDN: QCGBZF.
7. Ножнин И. Н., Сараквашин Д. А., Шукина А. Я. Влияние устойчивого развития на формирование экономики новейшего типа // Вестник Волжского университета им. В. Н. Татищева. 2020. Т. 2. № 1. С. 194–201. EDN: MVMVTM.
8. Саймон Дж. Неисчерпаемый ресурс; пер. с англ. Б. С. Пинскера. Челябинск: Социум, 2005. 796 с. ISBN: 5-901901-42-8. EDN: QQVNJT.
9. Устойчивое развитие в неустойчивом мире: объединяя усилия регионов, городов и компаний: Доклад к XXIV Ясинской (апрельской) международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества, Москва, 2023 г. / М. Э. Аким, В. А. Варнавина, Е. А. Гавенко и др. Москва: Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2023. 162 с. ISBN 978-5-7598-2783-2. EDN: KGZDAI.

10. Юденко М. Н., Бачуринская И. А., Дмитриева Т. А. Теоретические подходы к устойчивому развитию как основа государственного управления устойчивым развитием территорий // Вестник экономики, права и социологии. 2024. № 1. С. 97–104. EDN: CEOBVY.

11. Anggunia S. D., Sowell J., Pérez-Ortiz M. Decoding development: the AI frontier in policy crafting: A systematic review // Data & Policy. 2025. Vol. 7. P. e31. <https://doi.org/10.1017/dap.2025.10>. EDN: PPYOKU.

References

1. Balashova E. S., Sharipova S. R. Genesis of theoretical concepts of sustainable development of socio-economic systems. Perm University Herald. Series: Economics. 2019;14(3):371–387. (In Russ.). <https://doi.org/10.17072/1994-9960-2019-3-371-387>. EDN: RNFW XF.

2. Kadomtseva M. E. The concept of sustainable development: evolution of theoretical approaches and modern vision. AlterEconomics. 2023;20(1):166–188. (In Russ.). <https://doi.org/10.31063/AlterEconomics/2023.20-1.9>. EDN: GYMPNX.

3. Kazakova T. L. The role of domestic geographical science in the formation of the concept of sustainable development. Scientific Notes. Electronic Scientific Journal of Kursk State University. 2008;(5):66–70. EDN: JKLEVJ. (In Russ.).

4. Kondratiev N. D. Large cycles of market conditions and the theory of foresight. Moscow: Ekonomika. 2002. 765 p. EDN: QTGOAJ. (In Russ.).

5. Makarova V. V. Analysis of the evolution of the concept of sustainable development. Economic Sciences. 2023;(227):249–257. (In Russ.). <https://doi.org/10.14451/1.227.249>. EDN: QCGBZF.

6. Fedash A. V., Lobzhanidze N. E., Sizov O. S., Kharybina A. S. Corporate environmental and social responsibility of modern energy industry (on the example of Gazprom PJSC). Oil Industry. 2023;(9):60–65. (In Russ.). <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2023-9-60-65>. EDN: GCQQBZ.

7. Nozhnin I. N., Sarakvashin D. A., Shchukina A. Ya. The impact of sustainable development on the formation of a new type of economy. Bulletin of Volga University named after V. N. Tatishchev. 2020;2(1):194–201. EDN: MVMVTM. (In Russ.).

8. Simon J. The Ultimate Resource. Chelyabinsk: Sotsium; 2005. 796 p. (Translated from English by B. S. Pinsker). EDN: QQVNJT. (In Russ.).

9. Akim M. E., Varnavina V. A., Gavenko E. A. et al. Sustainable development in an unstable world: uniting the efforts of regions, cities and companies. Report for the XXIV Yasin-skaya (April) International Scientific Conference on Problems of Economic and Social Development, Moscow, 2023. Moscow: National Research University “Higher School of Economics”; 2023. 162 p. EDN: KGZDAI. (In Russ.).

10. Yudenko M. N., Bachurinskaya I. A., Dmitrieva T. A. Theoretical approaches to sustainable development as a basis for state management of sustainable development of territories. Bulletin of Economics, Law and Sociology. 2024;(1):97–104. EDN: CEOBVY. (In Russ.).

11. Anggunia S. D., Sowell J., Pérez-Ortiz M. Decoding development: the AI frontier in policy crafting: A systematic review. Data & Policy. 2025;7:e31. <https://doi.org/10.1017/dap.2025.10>. EDN: PPYOKU.

Информация об авторах / Information about the authors:

Лобжанидзе Александр Александрович — доктор педагогических наук, профессор, заведующий кафедрой экономической и социальной географии имени академика РАО В. П. Максаковского, профессор кафедры, географический факультет, Московский педагогический государственный университет, Москва, Россия.

Lobzhanidze Alexander Alexandrovich — Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Head of the Department of Economic and Social Geography named after Academician of the Russian Academy of Education V. P. Maksakovsky, Professor of the Department, the Faculty of Geography, Moscow State Pedagogical University, Moscow, Russia.

alobjanidze@yandex.ru, <http://orcid.org/0009-0006-9603-066X>

Лопатников Димитрий Леонидович — доктор географических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории географии мирового развития, Институт географии Российской академии наук, Москва, Россия.

Lopatnikov Dimitri Leonidovich — Doctor of Geographical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, Laboratory of Geography of World Development, Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

imartos@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8873-6140>

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no relevant conflict of interests.

Статья поступила в редакцию: 27.03.2026;
одобрена после доработки: 31.03.2026;
принята к публикации: 04.04.2026.

The article was submitted: 27.03.2026;
approved after reviewing: 31.03.2026;
accepted for publication: 04.04.2026.

Исследовательская статья

УДК 331.5:332.1:314.1-053.88

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-68-92

Наталья Владимировна Яковенко¹,**Ирина Анатольевна Семина²,****Лариса Николаевна Фоломейкина³**

^{1, 2, 3} Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет,
Саранск, Россия

¹ Воронежский государственный лесотехнический
университет им. Г. Ф. Морозова,
Воронеж, Россия

ТИПОЛОГИЧЕСКАЯ ГРУППИРОВКА СУБЪЕКТОВ ПРИВОЛЖСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННОСТИ РЫНКА ТРУДА И ДЕМОГРАФИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ

Аннотация. Демографическое старение формирует структурные дисбалансы на региональных рынках труда, проявляющиеся наиболее остро в Приволжском федеральном округе (ПФО), сочетающем развитые индустриальные центры и депрессивные территории. В связи с этим разработка и апробация методики типологической группировки субъектов ПФО на основе интегрального индекса, синтезирующего параметры напряженности рынка труда и глубины демографического старения, обусловлена необходимостью перехода от констатации различий к выработке дифференцированных управленческих стратегий. Ведущим методом исследования являлась многомерная статистическая типологизация, позволившая выделить однородные группы регионов ПФО на основе синтеза демографических показателей и параметров рынка труда. Были применены min-max нормализация, расчет частных (индексы демографического старения и напряженности рынка труда) и интегрального (индекс демографо-экономического напряжения) индексов, методы статистических группировок и двумерной типологизации. Выявлена существенная дифференциация субъектов ПФО: значения интегрального индекса варьируются от 0,217 (Нижегородская область) до 0,644 (Республика Мордовия, Пензенская область) при среднем 0,428 ($CV = 34,8\%$). Выделены три группы: 1) «зона кризиса» (Мордовия, Пензенская, Кировская, Ульяновская области) — критические параметры старения и высокая безработица; 2) «переходная зона» (8 регионов) с подгруппами «скрытого риска» и «адаптирующихся» территорий; 3) «полюса благополучия» (Татарстан, Нижегородская область), компенсирующие возрастную структуру агломерационными эффектами. Корреляционный анализ подтвердил негативное влияние старения на занятость ($r = -0,64$) и ключевую роль низкой рождаемости как фактора напряжения ($r = -0,72$). Представленные в статье результаты позволяют заключить, что предложенная методика способствует

обоснованию дифференцированных мер региональной политики: в регионах «зоны кризиса» целесообразна реализация комплекса мер по стимулированию рождаемости, закреплению молодежи и адаптации рабочих мест для старших возрастных групп; в регионах «переходной зоны» — организация системного мониторинга и превентивное регулирование.

Ключевые слова: демографическое старение, рынок труда, интегральная оценка, типологическая группировка, Приволжский федеральный округ

Финансирование: исследование не имело финансовой поддержки.

Research article

UDC 331.5:332.1:314.1-053.88

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-68-92

Yakovenko Nataliya Vladimirovna¹,

Semina Irina Anatolyevna²,

Folomeykina Larisa Nikolaevna³

^{1, 2, 3} National Research Mordovia State University,
Saransk, Russia,

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G. F. Morozov,
Voronezh, Russia

TYPOLOGICAL GROUPING OF THE REGIONS OF THE VOLGA FEDERAL DISTRICT BASED ON AN INTEGRATED ASSESSMENT OF LABOR MARKET INTENSITY AND DEMOGRAPHIC AGING

Abstract. Demographic aging forms structural imbalances in regional labour markets, most pronounced in the Volga Federal District, which combines developed industrial centers and depressed areas. In this regard, the development and testing of a methodology for the typological grouping of the regions of the Volga Federal District based on an integral index that synthesizes the parameters of labour market intensity and the depth of demographic aging is due to the need to move from stating differences to developing differentiated management strategies. The leading research method was the multidimensional statistical typology, which allowed for the identification of homogeneous groups of the regions of the Volga Federal District based on the synthesis of demographic indicators and labour market parameters. Min-max normalization, calculation of partial (demographic aging and labour market intensity indices) and integral (demographic-economic tension index) indices, methods of statistical grouping and two-dimensional typologization were used. Significant differentiation of the regions of the Volga Federal District was revealed: the values of the integral index varied from 0.217 (Nizhny Novgorod Region) to 0.644 (Republic of Mordovia, Penza Region) with an average of 0.428 (CV = 34.8 %). Three groups were identified: 1) “crisis zone” (Republic of Mordovia, Penza, Kirov, Ulyanovsk Regions) — critical parameters of aging and high unemployment; 2) “transition zone” (8 regions) with subgroups of “hidden risk” and “adapted” territories; 3) “well-being poles” (Republic

of Tatarstan, Nizhny Novgorod Region), compensating the age structure with agglomeration effects. Correlation analysis confirmed the negative impact of aging on employment ($r = -0.64$) and the key role of low birth rates as a stress factor ($r = -0.72$). The results presented in the article allow us to conclude that the proposed methodology contributes to the justification of differentiated measures of regional policy: in the regions of the “crisis zone,” it is advisable to implement a set of measures to stimulate birth rates, retain young people, and adapt jobs for older age groups; in the regions of the “transition zone,” it is advisable to organize systematic monitoring and preventive regulation.

Keywords: demographic aging, labour market, integral assessment, typological grouping, Volga Federal District

Funding statement: no funding was received for writing this manuscript.

Введение

Демографическое старение формирует структурные дисбалансы на региональных рынках труда, наиболее остро проявляющиеся в промышленно развитых регионах с высокой долей обрабатывающих производств. Приволжский федеральный округ (ПФО), сочетающий высокоразвитые индустриальные центры (Республика Татарстан, Самарская, Нижегородская области) и депрессивные территории с депопуляцией и застойной безработицей, испытывает наложение двух фундаментальных вызовов: прогрессирующего старения населения и усиления напряженности на рынке труда. Актуальность исследования обусловлена необходимостью перехода от констатации межрегиональных различий к выработке дифференцированных управленческих стратегий на основе интегральной оценки сопряженности данных процессов применительно к субъектам ПФО.

Теоретико-методологические основания исследования представлены тремя научными направлениями, непосредственно связанными с проблематикой типологической группировки регионов по параметрам демографического старения и напряженности рынка труда.

В области демографического старения в региональном разрезе фундаментальные разработки, значимые для типологизации территорий, выполнены научной школой Л. Л. Рыбаковского. Ю. Ф. Аношина и С. Ю. Симонова [1], которые анализируя неравномерность демографических процессов в 2015–2024 гг., акцентируют внимание на сохранении глубоких региональных диспропорций и обосновывают необходимость дифференцированного подхода к реализации национальных проектов. О. Г. Аркадьева [2] на основе кластерного анализа выделила три устойчивые группы регионов по параметрам участия в рабочей силе и уровня безработицы, доказав роль демографических структур в дифференциации, что подтверждает продуктивность классификационных процедур для типологизации субъектов ПФО. О. Д. Воробьева, А. В. Топилин, Г. В. Ниорадзе и Т. С. Хроленко [3] доказали первичность естественного воспроизводства перед миграцией как фактора омоложения возрастной структуры,

что определяет приоритет демографических детерминант старения в предлагаемой методике. Т. К. Ростовская, С. В. Рязанцев и др. представили эволюцию научной школы Л. Л. Рыбаковского в коллективной монографии [16]. Т. К. Ростовская, А. А. Шабунова и др. осуществили системный анализ региональной дифференциации процессов старения и их социально-экономических последствий в Национальном демографическом докладе – 2024 [17]. В. Г. Доброхлеб [6] представила сравнительный анализ динамики старения по федеральным округам РФ, зафиксировав усиление межокружной дифференциации. Ключевое значение для настоящего исследования имеет работа В. Г. Доброхлеб и Н. А. Кондаковой [7], в которой впервые применен кластерный анализ для типологизации регионов РФ по параметрам доли населения старше трудоспособного возраста, ожидаемой продолжительности жизни и глубины старения. Авторами доказано отсутствие детерминированности демографического сходства географической близостью, что обосновывает необходимость многомерной классификации субъектов ПФО. Ю. Е. Гавриленко [5] обосновала применение коэффициента Кронбаха и метода главных компонент для конструирования интегральных индексов, выделив срединный пояс индустриально развитых субъектов Центрального и Приволжского округов, что непосредственно значимо для верификации весовых коэффициентов в настоящем исследовании. А. В. Кашепов [8] предложил типологию регионов РФ по отраслевой структуре занятости, рассчитав индексы качества структурных сдвигов. Его выводы о взаимосвязи отраслевой специализации и занятости учитываются при введении корректирующего коэффициента на отраслевую специфику. Н. В. Чугунова, Ф. Н. Лисецкий, А. Г. Нарожная, Т. А. Полякова и Д. Н. Морковская [24] на примере регионов Центрально-Черноземного района исследовали процессы метрополизации в системе расселения, что имеет методическое значение для понимания агломерационных эффектов, компенсирующих демографическое старение в крупных городских центрах, включая нижегородскую и казанскую агломерации в ПФО. Н. В. Яковенко и Ю. В. Поросятков [23] разработали теоретико-методологические подходы к исследованию депрессивных регионов России, что имеет значение для идентификации и классификации проблемных территорий в составе ПФО.

В области региональной дифференциации рынков труда исследования, релевантные задачи типологической группировки представлены следующими работами. О. С. Кошевой предложена методика прогнозирования ситуации на рынке труда региона [9] и оценки коэффициента напряженности с учетом региональной специфики [10]. М. Н. Кузнецовой и А. С. Васильевой [11] разработаны методологические подходы к интегральной оценке региональных рынков труда, значимые для конструирования интегрального индекса напряженности, применительно к Арктической зоне РФ. Н. А. Куликова [12] выявила усиление структурных дисбалансов в 2020–2024 гг., что обосновывает необходимость диагностики напряженности на региональных рынках труда. Г. Л. Купряшин и Е. С. Дробышева [13] рассмотрели депрессивные территории

как объекты стратегического планирования; их подход релевантен для разработки дифференцированных управленческих стратегий в отношении регионов зоны кризиса и скрытого риска. В. В. Локосов, Е. В. Рюмина и В. В. Ульянов [14] осуществили кластеризацию регионов России по показателям качества жизни и качества населения, что подтверждает продуктивность многомерных классификационных процедур для типологизации региональных ситуаций.

В области взаимосвязи демографического старения и напряженности рынка труда, составляющей концептуальную основу настоящего исследования, получены следующие результаты. Л. В. Овешникова и Е. В. Сибирская [15] установили, что старение населения выступает фактором усиления напряженности на рынке труда, что обосновывает правомерность рассмотрения данных процессов в единой методической конструкции. Т. С. Соловьева [18] установила взаимосвязь демографического старения и сокращения трудовых ресурсов на примере Северо-Западного федерального округа, что подтверждает целесообразность сопряженного анализа двух процессов. М. С. Сюпова и С. С. Халикова [19] обосновали показатель напряженности на рынке труда как индикатор экономической безопасности региона, что определяет его диагностическую ценность. О. Д. Воробьева, А. В. Топилин, Г. В. Ниорадзе и Т. С. Хроленко [4] установили сокращение занятости пенсионеров неквалифицированным трудом и обосновали целесообразность снижения пенсионного возраста для мужчин; данные выводы значимы для интерпретации доли занятых в возрасте 50+ как индикатора адаптации рынка труда к старению. А. В. Топилин и О. Д. Воробьева [20] выявили разноскоростную динамику восстановления региональных рынков труда, что актуализирует учет статического среза для межрегиональных сопоставлений. Е. С. Узякова [21] исследовала неформальную занятость как адаптационную стратегию населения старших возрастов, что позволяет оценить скрытые механизмы регулирования напряженности. Е. М. Щербакова [22] установила существенную вариацию доли старших возрастов (от 9,4 до 29,2 %) и демографической нагрузки, отметив, что в 69 из 85 регионов нагрузка старшими превышает нагрузку младшими; данные выводы обосновывают включение показателя демографической нагрузки в интегральную оценку.

В научном дискурсе отчетливо прослеживаются две самостоятельные траектории: исследование демографического старения как процесса и анализ региональной дифференциации рынков труда. Применительно к Приволжскому федеральному округу типологические построения либо ограничиваются демографическими параметрами, либо осуществляются исключительно в контексте рынка труда. Работы, интегрирующие оба подхода в единый методический конструкт и непосредственно посвященные типологической группировке субъектов ПФО на основе синтеза параметров напряженности рынка труда и демографического старения с использованием интегрального индекса, в доступной литературе не представлены.

Сложившееся противоречие заключается в том, что, с одной стороны, демографическое старение и напряженность рынка труда объективно взаимосвязаны и совместно определяют траектории регионального развития субъектов ПФО, а с другой стороны, существующий методический инструментарий не позволяет осуществить их интегральную оценку и типологизацию регионов на основе синтеза данных параметров. Авторская позиция состоит в необходимости преодоления фрагментарности исследований посредством разработки двухкомпонентной системы показателей и интегрального индекса демографо-экономического напряжения, обеспечивающего содержательную типологическую группировку субъектов ПФО и обоснование дифференцированных управленческих стратегий.

Материалы и методы исследования

Цель исследования — разработка методики интегральной оценки влияния демографического старения на региональный рынок труда и ее апробация на материалах субъектов ПФО с последующей типологизацией регионов по уровню демографо-экономического напряжения.

Информационная база исследования

Информационной основой исследования послужили официальные статистические данные Федеральной службы государственной статистики (Росстат), представленные в сборниках «Регионы России. Социально-экономические показатели» и Единой межведомственной информационно-статистической системе (ЕМИСС). Эмпирическая база охватывает период 2019–2024 гг. по 14 субъектам Российской Федерации, входящим в состав ПФО: Республика Башкортостан, Республика Марий Эл, Республика Мордовия, Республика Татарстан, Удмуртская Республика, Чувашская Республика, Пермский край, Кировская, Нижегородская, Оренбургская, Пензенская, Самарская, Саратовская, Ульяновская области.

Выбор ПФО в качестве полигона исследования обусловлен следующими обстоятельствами: 1) округ является крупнейшим промышленным макрорегионом России с высокой долей обрабатывающих производств в структуре экономики; 2) для большинства регионов ПФО характерны депопуляция, низкая рождаемость и прогрессирующее старение населения; 3) регионы ПФО демонстрируют значительную вариацию показателей демографического развития и состояния рынка труда, что обеспечивает репрезентативность выборки.

Система показателей и операционализация переменных

Система показателей. Методологическая конструкция исследования базируется на двухкомпонентной структуре, объединяющей демографические детерминанты старения и индикаторы реакции рынка труда. Отбор показателей осуществлялся на основе следующих критериев: 1) релевантность цели исследования; 2) доступность данных в официальных статистических сборниках Росстата; 3) сопоставимость для межрегионального анализа; 4) чувствительность к изменению демографической ситуации.

Первый блок (А) включает показатели, характеризующие глубину и структурные особенности демографического старения. Второй блок (Б) представлен индикаторами, отражающими адаптационные возможности регионального рынка труда и уровень его напряженности в условиях сокращения предложения рабочей силы. Совокупность отобранных показателей с указанием их содержательной характеристики, единиц измерения и источников данных представлена в таблице 1.

В соответствии с целью исследования была сформирована двухкомпонентная система показателей, включающая блок демографических детерминант старения (факторные признаки) и блок индикаторов состояния и напряженности рынка труда (результативные признаки). Отбор показателей осуществлялся на основе следующих критериев: а) релевантность цели исследования; б) доступность данных в официальных статистических источниках; в) сопоставимость для межрегионального анализа; г) чувствительность к изменению демографической ситуации.

Операционализация переменных производилась следующим образом. Интегральный показатель демографической нагрузки был рассчитан как отношение численности населения старше трудоспособного возраста к 1 000 лиц трудоспособного возраста. Показатель численности безработных в расчете на 1 000 занятых был получен как соотношение данных таблиц 2.7 и 2.3. Показатель доли занятых в возрасте 50 лет и старше требует обращения к ведомственной статистике и выборочным обследованиям рабочей силы (в настоящем исследовании используется как факультативный). Подробная характеристика переменных с указанием кодов, единиц измерения, направления влияния и источников данных представлена в таблице 1.

Метод нормирования разнородных показателей. Для обеспечения сопоставимости показателей, измеряемых в различных единицах и имеющих различные диапазоны варьирования, была применена процедура линейного масштабирования (min-max нормализация). Выбор данного метода обусловлен его устойчивостью к выбросам и сохранением пропорций исходных различий между объектами после трансформации.

Нормирование показателей-стимуляторов (рост значения которых усиливает негативное влияние демографического старения) осуществлялось по формуле (1):

Таблица 1

Система показателей интегральной оценки влияния демографического старения на региональный рынок труда

Код	Показатель	Единица измерения	Характеристика	Направление влияния	Источник данных
Блок А. Демографическое старение (факторные признаки)					
A1	Доля населения старше трудоспособного возраста	%	Отражает глубину старения возрастной структуры	▲ стимулятор	Росстат, табл. 1.6.3
A2	Коэффициент демографической нагрузки старше трудоспособного возраста	‰	Показывает интенсивность экономической нагрузки на занятое население	▲ стимулятор	Росстат, табл. 1.7.3
A3	Соотношение мужчин и женщин в возрасте 60 лет и старше	коэффициент	Косвенно характеризует сверхсмертность мужчин и гендерный дисбаланс	▲ стимулятор	Росстат, табл. 1.5
A4	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	лет	Детерминанта старения «сверху» (увеличение длительности жизни)	▲ стимулятор	Росстат, табл. 1.16.1
A5	Суммарный коэффициент рождаемости	число детей на 1 женщину	Детерминанта старения «снизу» (суженное воспроизводство)	▼ дестимулятор	Росстат, табл. 1.15
Блок Б. Состояние и напряженность рынка труда (результативные признаки)					
B1	Уровень занятости населения в трудоспособном возрасте	%	Индикатор вовлеченности трудоспособного населения в экономику	▼ дестимулятор	Росстат, табл. 2.6
B2	Уровень безработицы (по методологии МОТ)	%	Обобщающий показатель макроэкономической нестабильности	▲ стимулятор	Росстат, табл. 2.10.1
B3	Уровень зарегистрированной безработицы	%	Характеризует институционализированную часть безработицы	▲ стимулятор	Росстат, табл. 2.10.3

Продолжение Таблицы 1

Код	Показатель	Единица измерения	Характеристика	Направление влияния	Источник данных
Б4	Численность безработных в расчете на 1000 занятых	‰	Интергральный показатель структурных диспропорций	▲ стимулятор	Рассчитывается (табл. 2.7 / 2.3)
Б5	Нагрузка незанятого населения на одну заявленную вакансию	чел.	Отражает уровень конкуренции за рабочие места и емкость спроса	▲ стимулятор	Росстат, табл. 2.12
Б6	Доля занятых в возрасте 50 лет и старше в общей численности занятых	%	Показывает степень замещения молодых кадров старшими возрастными группами	▲ стимулятор	Ведомственная статистика / обследования Росстат
Б7	Темп прироста (сокращения) среднегодовой численности занятых	%	Динамический индикатор сжатия/расширения рынка труда	▼ дестимулятор	Росстат, табл. 2.4

Примечание: ▲ — стимулятор (рост значения показателя усиливает негативное влияние демографического старения на рынок труда); ▼ — дестимулятор (рост значения показателя свидетельствует о снижении напряженности и адаптации рынка труда к демографическим изменениям).

$$X_{norm} = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}. \quad (1)$$

Нормирование показателей-дестимуляторов (рост значения которых свидетельствует о снижении напряженности) производилось по формуле (2):

$$X_{norm} = \frac{X_{\max} - X_i}{X_{\max} - X_{\min}}, \quad (2)$$

где X_i — фактическое значение показателя в i -м регионе; $X_{\max}$ и $X_{\min}$ — минимальное и максимальное значения показателя по анализируемой совокупности регионов (в качестве реперных точек целесообразно использовать фактические экстремумы за исследуемый период).

Методы агрегирования и построения интегральных индексов. На основе нормированных значений рассчитываются частные индексы по каждому блоку показателей. Индекс демографического старения (ИДС) и индекс напряженности рынка труда (ИНРТ) определяются как средние арифметические взвешенные соответствующих показателей (формулы 3, 4):

$$\text{ИДС} = \frac{\sum_{j=1}^5 w_j^{(a)} \cdot A_j^{norm}}{\sum_{j=1}^5 w_j^{(a)}}, \quad (3)$$

где A_j^{norm} — нормированное значение j -го показателя, включённого в блок «Демографическое старение». Всего в блоке 5 показателей, поэтому индекс j принимает значения от 1 до 5. Нормировка выполнена по единой методике (например, методом минимакса или стандартизации) для приведения разнородных показателей к сопоставимому виду; $w_j^{(a)}$ — весовой коэффициент, отражающий вклад j -го показателя в итоговый индекс.

$$\text{ИНРТ} = \frac{\sum_{k=1}^7 w_k^{(b)} \cdot B_k^{norm}}{\sum_{k=1}^7 w_k^{(b)}}, \quad (4)$$

где B_k^{norm} — нормированное значение k -го показателя, включённого в блок «Напряжённость рынка труда». Всего в блоке 7 показателей, поэтому индекс k принимает значения от 1 до 7. Нормировка выполнена по единой методике (например, методом минимакса или стандартизации) для приведения разнородных показателей к сопоставимому виду; $w_k^{(b)}$ — весовой коэффициент, отражающий вклад k -го показателя в итоговый индекс.

Результат (ИНРТ) — интегральная оценка остроты ситуации на региональном рынке труда: чем выше значение, тем выше напряжённость (безработица, конкуренция и т. п.).

Интегральный индекс демографо-экономического напряжения (ИДЭН).

Обобщающий индекс, позволяющий ранжировать регионы по степени совокупного воздействия демографического старения на рынок труда, рассчитывается как средняя геометрическая взвешенная частных индексов (5):

$$\text{ИДЭН} = \sqrt{\text{ИДС} \cdot \text{ИНРТ}} \cdot k_{\text{отр}}. \quad (5)$$

где $k_{\text{отр}}$ — корректирующий коэффициент, учитывающий отраслевую специфику региональной экономики.

Для регионов с высокой долей обрабатывающих производств, добычи полезных ископаемых и энергетики (отраслей, предъявляющих повышенные требования к физическим возможностям работников) применяется повышающий коэффициент в диапазоне 1,1–1,2. Значение коэффициента определяется экспертным путем на основе удельного веса занятых в промышленном производстве.

Методы классификации и типологизации. В ходе исследования для выделения однородных групп регионов по уровню демографо-экономического напряжения была применена система взаимодополняющих классификационных процедур, позволившая перейти от количественных характеристик к качественной типологизации региональных ситуаций. На первом этапе, посредством метода статистических группировок на основе величины интегрального индекса демографо-экономического напряжения, вся совокупность регионов была разделена на четыре интервальные группы с использованием принципа равных интервалов. Данная процедура позволила зафиксировать переходы между состояниями разной степени остроты: от низкого уровня напряжения через умеренный и высокий вплоть до критического, — что дало возможность упорядочить региональное пространство по нарастанию интегральной проблемности.

На втором этапе с целью содержательного углубления классификации была реализована двумерная типологизация, основанная на сочетании частных индексов демографической сложности и напряженности на рынке труда. Критерием разделения выступило медианное значение каждого из индексов по совокупности: превышение медианы интерпретировалось как высокий уровень выраженности признака; нахождение ниже медианного уровня — как низкий. Комбинаторное cross-сечение двух бинарных переменных позволило сформировать четыре качественно различных типа региональных ситуаций, каждый из которых отражает уникальное сочетание демографических вызовов и проблем в сфере занятости. Такой подход обеспечил не просто ранжирование, но и содержательную диагностику региональных диспропорций, позволяя дифференцировать управленческие стратегии в зависимости от характера доминирующих ограничений.

Статистические методы обработки данных. Обработка исходных массивов данных, расчет нормированных значений, частных и интегральных индексов осуществлялись в среде Microsoft Excel 2019 с использованием надстройки

«Пакет анализа». Для оценки устойчивости полученных классификаций был проведен кластерный анализ методом k -средних в программной среде Statistica 12. Верификация весовых коэффициентов была выполнена методом экспортных оценок с привлечением трех независимых экспертов — специалистов в области региональной экономики и демографии (коэффициент конкордации Кендалла $W = 0,87$; $p < 0,01$).

Этапы исследования:

1. Теоретико-методологический этап. Был осуществлен анализ отечественной и зарубежной литературы по проблемам демографического старения, региональной дифференциации рынков труда и их взаимосвязи; определены концептуальные основы исследования; обоснована двухкомпонентная структура системы показателей; сформулированы цель и задачи работы.

2. Формирование информационной базы и системы показателей. Был произведен сбор и систематизация официальных статистических данных Росстата по 14 субъектам ПФО за период 2019–2024 гг.; сформирована двухкомпонентная система показателей, включающая блок демографических детерминант старения (5 показателей) и блок индикаторов напряженности рынка труда (7 показателей); проведена операционализация переменных, определены показатели-стимуляторы и дестимуляторы.

3. Методический этап — разработка алгоритма интегральной оценки. Был осуществлен выбор и обоснование методов нормирования разнородных показателей (min-max нормализация); разработана методика расчета частных индексов: индекса демографического старения (ИДС) и индекса напряженности рынка труда (ИНРТ); предложена формула расчета интегрального индекса демографо-экономического напряжения (ИДЭН) как средней геометрической взвешенной частных индексов с корректировкой на отраслевую специфику.

4. Расчетно-аналитический этап. Была выполнена процедура нормирования исходных статистических показателей; рассчитаны частные и интегральный индексы для каждого из 14 субъектов ПФО; проведено ранжирование регионов по величине ИДЭН; осуществлен корреляционный анализ Пирсона для выявления статистически значимых взаимосвязей между демографическими показателями и индикаторами рынка труда.

5. Этап типологизации и классификации. Была реализована система классификационных процедур: а) метод статистических группировок на основе величины ИДЭН с выделением трех групп регионов; б) двумерная типологизация на основе сочетания частных индексов ИДС и ИНРТ с использованием медианного критерия, позволившая дифференцировать переходную зону на подгруппы скрытого риска и адаптирующихся территорий; осуществлена верификация полученной классификации методом кластерного анализа (k -средние) в среде Statistica 12.

6. Интерпретационный этап. Была проведена содержательная интерпретация выделенных типологических групп; дана развернутая характеристика

социально-экономического профиля каждой группы и подгруппы; выявлены факторы, определяющие положение регионов в типологической структуре; обоснованы направления дифференцированной региональной политики для различных типов регионов.

7. Заключительный этап. Были сформулированы основные выводы и результаты исследования, определены научная и практическая значимость работы, обозначены ограничения применяемой методики и перспективные направления дальнейших исследований (включение миграционной составляющей, переход к динамической модели, углубление анализа на муниципальный уровень).

Ограничения исследования. При интерпретации полученных результатов необходимо учитывать следующие ограничения: 1) предложенная методика ориентирована на межрегиональные сравнения и не учитывает внутрирегиональную пространственную дифференциацию; 2) отдельные показатели (доля занятых в возрасте 50+ требуют уточнения по данным выборочных обследований, что может вносить элемент статистической погрешности; 3) динамический аспект проблемы раскрыт недостаточно полно ввиду ограниченности временного ряда (6 лет). Перспективным направлением развития методики является включение миграционной составляющей и переход к анализу трендов интегрального индекса за более длительный период.

Результаты исследования

Проведенный статистический анализ выявил существенную дифференциацию регионов Приволжского федерального округа по ключевым индикаторам демографического развития и состояния рынка труда. В таблице 2 представлена характеристика базовых показателей, формирующих интегральную оценку.

Наибольший разброс значений наблюдается по показателю нагрузки на вакансию (коэффициент вариации — 33,3 %) и уровню безработицы (20,8 %), что свидетельствует о высокой пространственной неоднородности ситуации на региональных рынках труда. Демографические показатели варьируют в меньшей степени, однако размах между регионами-лидерами и аутсайдерами достигает 5,6 п. п. по доле пожилого населения и 126 % по нагрузке на трудоспособных (рис. 1).

Четко выделяются четыре региона с долей пожилого населения выше 27 % — Кировская, Пензенская, Ульяновская области и Республика Мордовия. В данных субъектах каждый четвертый-пятый житель находится за пределами трудоспособного возраста, что формирует критическую нагрузку на экономически активное население и бюджетную систему. На противоположном полюсе — Республики Татарстан и Башкортостан с минимальными значениями показателя (23,0–23,3 %), что обусловлено более молодой возрастной структурой и миграционным притоком.

Таблица 2

Дескриптивная статистика базовых показателей
по регионам ПФО, 2023 г.¹

Показатель	Единица измерения	Среднее	Минимум	Максимум	Размах	Коэффициент вариации, %
Демографическое старение						
Доля населения старше трудового возраста	%	24,9	23,0	28,6	5,6	8,2
Коэффициент демографической нагрузки	‰	437	401	527	126	9,1
Суммарный коэффициент рождаемости	—	1,37	1,05	1,53	0,48	11,3
Ожидаемая продолжительность жизни	лет	72,8	70,9	75,2	4,3	1,9
Рынок труда						
Уровень занятости в трудовом возрасте	%	81,2	76,6	85,9	9,3	3,5
Уровень безработицы (МОТ)	%	2,4	1,9	3,4	1,5	20,8
Нагрузка на вакансию	чел.	0,2	0,1	0,3	0,2	33,3

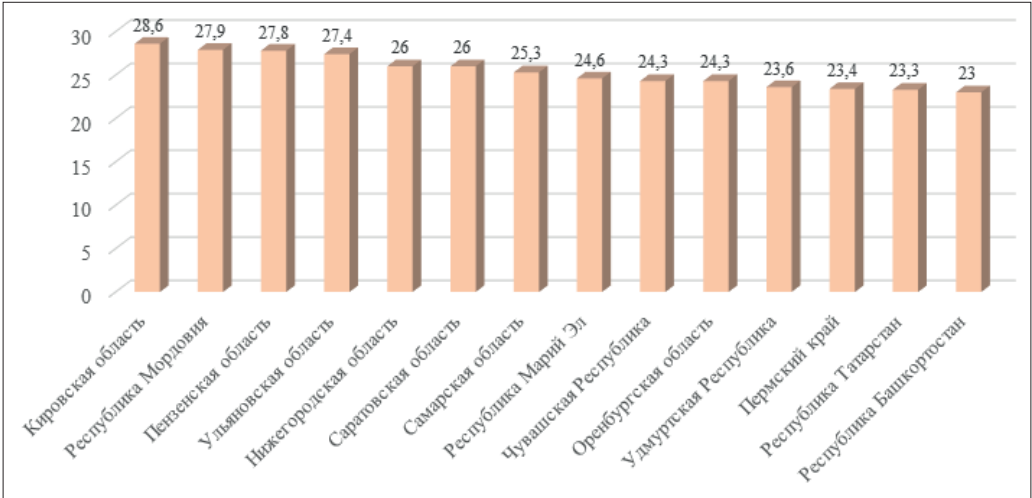


Рис. 1. Ранжирование регионов ПФО по доле населения старше трудоспособного возраста, 2023 г.

¹ Рассчитано на основе данных: Регионы России. Социально-экономические показатели. Приложение: статистический сборник // Федеральная служба государственной статистики. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Pril_Region_Pokaz_2025.rar

Наибольшая напряженность на рынке труда фиксируется в Республике Марий Эл, Кировской и Пензенской областях, где уровень безработицы превышает 3 % при высокой нагрузке на вакансии. Минимальные значения обоих показателей демонстрируют Нижегородская область и Республика Татарстан (уровень безработицы — ниже 2 %; нагрузка на вакансию — 0,1 чел.), что свидетельствует о сбалансированности спроса и предложения рабочей силы в крупнейших агломерациях округа.

Соотношение уровня безработицы и нагрузки на вакансию в регионах ПФО по данным за 2023 г. представлено на рисунке 2.

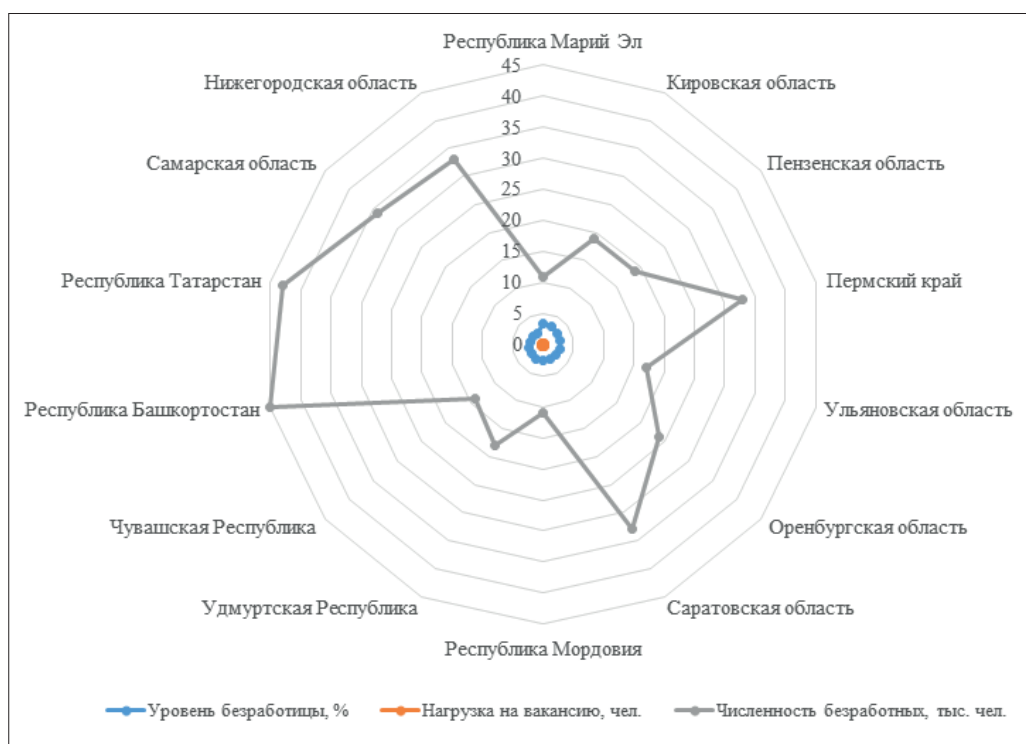


Рис. 2. Соотношение уровня безработицы и нагрузки на вакансию в регионах ПФО, 2023 г.

На основе разработанной методики был произведен расчет интегрального индекса демографо-экономического напряжения (ИДЭН), позволивший ранжировать регионы Приволжского федерального округа и выделить качественно однородные группы. Значения индекса варьируются в диапазоне от 0,217 (Нижегородская область) до 0,644 (Республика Мордовия, Пензенская область) при среднем по округу значении 0,428. Коэффициент вариации (34,8 %) подтверждает высокую степень межрегиональной дифференциации по исследуемому признаку.

В соответствии с разработанной шкалой оценки все субъекты ПФО были распределены по трем группам в зависимости от величины интегрального индекса ИДЭН (рис. 3).



Рис. 3. Интегральный индекс демографо-экономического напряжения (ИДЭН) в регионах Приволжского федерального округа, 2023 г.

Первая группа — регионы с высоким уровнем демографо-экономического напряжения (ИДЭН = 0,51–1,00). В данную группу вошли Республика Мордовия (0,644), Пензенская (0,644), Кировская (0,620) и Ульяновская (0,542) области. Совокупная доля группы составляет 28,6 % от общего числа субъектов ПФО.

Регионы данной группы образуют зону кризиса и характеризуются наиболее неблагоприятным сочетанием демографических и рыночных факторов. Средняя доля населения старше трудоспособного возраста здесь достигает 27,9 %, что на 3,0 п. п. выше среднеокружного показателя (24,9 %). В Кировской области данный параметр составляет 28,6 % — это максимальное значение по ПФО. Коэффициент демографической нагрузки в среднем по группе равен 498 %, что превышает средний по округу уровень на 14 %. Критически низкая рождаемость фиксируется в Республике Мордовия (1,047) и Пензенской области (1,198) — значения, соответствующие суженному режиму воспроизводства и не обеспечивающие даже простого замещения поколений. Рынок труда характеризуется повышенным уровнем безработицы (2,9 % в среднем по группе при среднем по ПФО 2,4 %) и высокой напряженностью. Данные субъекты требуют первоочередной разработки и реализации комплекса мер демографической и социально-экономической политики, направленных на смягчение последствий старения и адаптацию рынка труда.

Вторая группа — регионы с умеренным уровнем демографо-экономического напряжения (ИДЭН = 0,26–0,50). Данная группа является самой многочисленной и включает 8 регионов (57,1 % субъектов ПФО): Саратовскую область (0,481), Республику Марий Эл (0,439), Чувашскую Республику (0,421), Самарскую область (0,405), Удмуртскую Республику (0,380), Оренбургскую область (0,353), Республику Башкортостан (0,313) и Пермский край (0,306).

Регионы второй группы образуют переходную зону и демонстрируют средние или близкие к средним значения большинства показателей, однако внутренне они неоднородны. На основе соотношения частных индексов

демографического старения (ИДС) и напряженности рынка труда (ИНРТ) внутри группы выделяются две подгруппы.

Подгруппу скрытого риска формируют Саратовская область, Республика Марий Эл, Удмуртская Республика и Оренбургская область. Данные регионы характеризуются повышенными показателями демографического старения (средняя доля населения старше трудоспособного возраста — 24,6 %) и низкой рождаемостью (в Саратовской области СКР составляет 1,103 — второй минимальный показатель в ПФО после Мордовии) при сохранении относительной стабильности на рынке труда за счет инерционных эффектов и миграционного притока. Эти регионы находятся в состоянии демографической ловушки: накопленный потенциал старения при сохранении текущих тенденций в среднесрочной перспективе приведет к их переходу в группу высокого напряжения.

Подгруппу адаптирующихся регионов составляют Чувашская Республика и Самарская область. При умеренном уровне старения (средняя доля населения старше трудоспособного возраста — 24,8 %) они демонстрируют отдельные проблемы на рынке труда: в Чувашской Республике фиксируется повышенная нагрузка на вакансии (0,3 чел.), в Самарской области — высокая доля занятых в промышленности, предъявляющая повышенные требования к физическим возможностям работников старших возрастов.

Республика Башкортостан и Пермский край занимают пограничное положение между второй и третьей группами (ИДЭН = 0,313 и 0,306 соответственно); по своим характеристикам они приближаются к демографически благополучным регионам, но в них сохраняются отдельные проблемы на рынке труда.

Третья группа — регионы с низким уровнем демографо-экономического напряжения (ИДЭН = 0,00–0,25). В данную группу вошли Республика Татарстан (0,278) и Нижегородская область (0,217), что составляет 14,3 % субъектов ПФО.

Примечание: значение ИДЭН Республики Татарстан (0,278) формально соответствует интервалу умеренного уровня, однако с учетом высокой доли промышленности в структуре экономики, устойчивого миграционного прироста, максимальной продолжительности жизни (75,2 года — выше среднероссийского показателя) и сбалансированных показателей рынка труда регион классифицирован как демографически благополучный и отнесен к группе с низким уровнем напряжения.

Регионы третьей группы образуют благополучную зону и выступают полюсами роста и центрами притяжения трудовых ресурсов в масштабах всего Приволжского федерального округа. Республика Татарстан демонстрирует наиболее сбалансированную возрастную структуру (доля населения старше трудоспособного возраста — 23,3 %), максимальную ожидаемую продолжительность жизни и относительно высокий для ПФО суммарный коэффициент рождаемости (1,454). Нижегородская область, несмотря на высокую долю населения старше трудоспособного возраста (26,0 %), благодаря агломерационному эффекту, диверсифицированной экономике и развитому рынку труда имеет минимальные в ПФО показатели безработицы (1,9 %) и нагрузки

на вакансии (0,1 чел.). Данный феномен может быть охарактеризован как демографический дивиденд агломерации: крупные городские центры компенсируют естественную убыль и старение населения интенсивным миграционным притоком молодежи и лиц трудоспособного возраста, что позволяет сохранять сбалансированность рынка труда даже при неблагоприятных структурных характеристиках населения.

Таким образом, проведенная типологизация свидетельствует о наличии устойчивой пространственной дифференциации регионов ПФО по степени демографо-экономического напряжения. Четыре региона идентифицированы как зона кризиса, требующая первоочередных мер адаптации к процессам демографического старения; восемь регионов находятся в переходной зоне, при этом часть из них (подгруппа скрытого риска) имеет высокие риски ухудшения ситуации в среднесрочной перспективе; два региона формируют полюса благополучия, выступая центрами притяжения населения и инвестиций. Полученные результаты могут служить основой для дифференциации региональной политики в сфере демографии и рынка труда.

Для выявления степени влияния демографического старения на состояние региональных рынков труда был проведен корреляционный анализ Пирсона. Важно подчеркнуть, что корреляционный анализ фиксирует статистическую сопряженность признаков, но не доказывает наличия причинно-следственных связей. Выявленные взаимосвязи интерпретируются на основе теоретических положений, изложенных во введении: старение населения объективно сокращает предложение рабочей силы, увеличивает нагрузку на занятых и снижает экономическую активность. Ниже приведены коэффициенты Пирсона, значимые на уровне $p < 0,05$ и $p < 0,01$ (табл. 3).

Таблица 3

Матрица коэффициентов корреляции между демографическими показателями и индикаторами рынка труда

Показатель	Уровень занятости в трудовом возрасте (Б1)	Уровень безработицы (Б2)	Нагрузка на вакансию (Б5)	ИДЭН
Доля населения 60+ (А1)	-0,64	0,42	0,38	0,81
Коэффициент демографической нагрузки (А2)	-0,62	0,44	0,35	0,79
Суммарный коэффициент рождаемости (А5)	0,48	-0,58	-0,31	-0,72
Ожидаемая продолжительность жизни (А4)	0,33	-0,29	-0,40	-0,31

Примечание: уровень значимости: $p < 0,01$; $p < 0,05$.

Корреляционный анализ подтвердил негативное влияние демографического старения на занятость трудоспособного населения ($r = -0,64$) и выявил ключевую роль низкой рождаемости как фактора формирования долгосрочного

демографо-экономического напряжения ($r = -0,72$ с ИДЭН). Полученные результаты могут служить основой для корректировки региональных стратегий социально-экономического развития в части мер, направленных на адаптацию рынков труда к процессам демографического старения.

Заключение

Проведенное исследование, посвященное разработке методики интегральной оценки влияния демографического старения на региональный рынок труда и ее апробации на материалах субъектов Приволжского федерального округа, позволяет сформулировать следующие выводы и обобщения.

1. В работе разработана и обоснована авторская методика количественной оценки влияния демографического старения на состояние региональных рынков труда, базирующаяся на двухкомпонентной системе показателей, включающей блок демографических детерминант старения (факторные признаки) и блок индикаторов напряженности рынка труда (результативные признаки). Применение процедуры линейного масштабирования (min-max нормализация) обеспечило сопоставимость разнородных показателей, а расчет частных (ИДС, ИНРТ) и интегрального (ИДЭН) индексов позволил перейти от качественного описания к строгой количественной оценке исследуемого явления.

2. Апробация методики на данных 14 субъектов ПФО за 2023 г. выявила существенную межрегиональную дифференциацию по степени демографо-экономического напряжения. Значения интегрального индекса ИДЭН варьируются в диапазоне от 0,217 (Нижегородская область) до 0,644 (Республика Мордовия, Пензенская область) при среднем по округу значении 0,428. Коэффициент вариации (34,8 %) подтверждает высокую степень неоднородности исследуемой совокупности.

3. Корреляционный анализ выявил статистически значимые взаимосвязи между демографическими показателями и индикаторами рынка труда. Поскольку корреляция не тождественна причинно-следственной связи, интерпретация результатов основывается на теоретических моделях, описанных во введении. Установлена умеренная отрицательная корреляция между долей населения старше трудоспособного возраста и уровнем занятости в трудоспособном возрасте ($r = -0,64$; $p < 0,05$). Это согласуется с логикой эффекта вытеснения: высокая доля пожилых увеличивает нагрузку на систему здравоохранения и социальные трансферты, что при прочих равных показателях снижает экономическую активность лиц трудоспособного возраста. Выявлена сильная отрицательная связь суммарного коэффициента рождаемости с интегральным индексом ИДЭН ($r = -0,72$; $p < 0,01$). Данный результат отражает долгосрочный характер демографических волн: низкая рождаемость два десятилетия спустя транслируется в сокращение численности потенциальных работников и рост демографической нагрузки. Коэффициент демографической нагрузки

старше трудоспособного возраста продемонстрировал сильную положительную корреляцию с ИДЭН ($r = 0,79$; $p < 0,01$), что подтверждает его диагностическую ценность как интегрального предиктора напряженности: чем больше неработающих пожилых приходится на 1 000 занятых, тем выше объективные ограничения для сбалансированного функционирования рынка труда.

4. Полученные результаты могут быть использованы при разработке и корректировке региональных стратегий социально-экономического развития, программ содействия занятости населения и демографической политики. Выделение групп регионов с различным уровнем демографо-экономического напряжения позволяет дифференцировать управленческие воздействия, концентрируя ресурсы на наиболее проблемных территориях. Для регионов зоны кризиса приоритетными направлениями должны стать: 1) усиление региональных программ стимулирования рождаемости, включая дополнительные выплаты при рождении второго и третьего ребенка; 2) создание механизмов закрепления молодежи (целевое обучение, жилищные сертификаты, программы профессиональной мобильности); 3) адаптация рабочих мест и условий труда для работников старших возрастных групп; 4) привлечение инвестиций в диверсификацию экономики и создание высокопроизводительных рабочих мест. Для регионов скрытого риска необходим мониторинг ситуации и реализация превентивных мер, направленных на недопущение перехода в кризисное состояние.

Перспективы развития разработанной методики связаны с: 1) включением в систему показателей миграционной составляющей, способной компенсировать естественную убыль трудоспособного населения; 2) переходом от статической модели к динамической, основанной на анализе трендов изменения интегрального индекса за длительный период (10–15 лет); 3) углублением анализа на муниципальном уровне для учета внутрирегиональной пространственной дифференциации; 4) верификацией весовых коэффициентов методом анализа иерархий с привлечением экспертного сообщества; 5) прогнозированием значений ИДЭН на среднесрочную перспективу с использованием методов математического моделирования.

Таким образом, предложенная методика интегральной оценки влияния демографического старения на региональный рынок труда продемонстрировала свою диагностическую ценность и может быть рекомендована для использования в научных исследованиях и практической деятельности органов государственной власти при разработке мер адаптации социально-экономических систем к процессам демографического старения.

Список источников

1. Аношина Ю. Ф., Симонов С. Ю. Неравномерность демографических процессов в России: региональные диспропорции и их влияние на социально-экономическое развитие // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. 2025. Т. 15, № 5. С. 95–114. <https://doi.org/10.21869/2223-1552-2025-15-5-95-114>. EDN: ADLYEU.

2. Аркадьева О. Г. Структурные дисбалансы в занятости и безработице на региональных рынках труда // *Oeconomia et Jus*. 2025. № 4. С. 1–16. <https://doi.org/10.47026/2499-9636-2025-4-1-16>. EDN: LCHJCY.
3. Воробьева О. Д., Топилин А. В., Ниорадзе Г. В., Хроленко Т. С. Взаимосвязь миграции и демографического старения населения регионов России: анализ на уровне возрастных групп // *Народонаселение*. 2024. Т. 27, № 2. С. 149–164. <https://doi.org/10.24412/1561-7785-2024-2-149-164>. EDN: RBTPNA.
4. Воробьева О. Д., Топилин А. В., Ниорадзе Г. В., Хроленко Т. С. Тенденции трудовой занятости пенсионеров в разрезе занятий и видов экономической деятельности в 2017–2022 гг. // *Социально-трудовые исследования*. 2024. Т. 54, № 1. С. 60–72. <https://doi.org/10.34022/2658-3712-2024-54-1-60-72>. EDN: PCCBDU.
5. Гавриленко Ю. Е. Индекс условий труда и его влияние на занятость в регионах России // *Федерализм*. 2025. Т. 30, № 3. С. 171–183. <https://doi.org/10.21686/2073-1051-2025-3-171-183>. EDN: RDZXET.
6. Доброхлеб В. Г. Динамика демографического старения этнонациональных регионов РФ во втором и начале третьего десятилетия XXI века // *Проблемы развития территории*. 2024. Т. 28, № 6. С. 112–122. <https://doi.org/10.15838/ptd.2024.6.134.8>. EDN: LEYLDE.
7. Доброхлеб В. Г., Кондакова Н. А. Типологизация и социально-экономические аспекты формирования демографического старения населения регионов России // *Проблемы развития территории*. 2022. Т. 26, № 4. С. 98–110. <https://doi.org/10.15838/ptd.2022.4.120.7>. EDN: NWTBQC.
8. Кашепов А. В. Типология регионов РФ по уровню занятости населения в основных секторах экономики и социально-экономическим показателям // *Социально-трудовые исследования*. 2024. Т. 56, № 3. С. 32–41. <https://doi.org/10.34022/2658-3712-2024-56-3-32-41>. EDN: NGHMTJ.
9. Кошевой О. С. Методика прогнозирования ситуации на рынке труда региона // *Организатор производства*. 2023. Т. 31, № 1. С. 171–182. <https://doi.org/10.36622/VSTU.2023.46.61.013> EDN: QVNLTP
10. Кошевой О. С. Оценка коэффициента напряженности на рынке труда. Региональный аспект // *Статистика и экономика*. 2023. Т. 20, № 2. С. 13–20. <https://doi.org/10.21686/2500-3925-2023-2-13-20>. EDN: GTMHME.
11. Кузнецова М. Н., Васильева А. С. Мониторинг и оценка региональной дифференциации рынка труда Арктической зоны Российской Федерации // *Север и рынок: формирование экономического порядка*. 2025. № 3. С. 97–120. <https://doi.org/10.37614/2220-802X.3.2025.89.007>. EDN: KBXVRM.
12. Куликова Н. А. Анализ современного состояния рынка труда России // *Молодой ученый*. 2025. № 51 (602). С. 244–246. EDN: JRGTDR.
13. Купряшин Г. Л., Дробышева Е. С. Депрессивные территории как объекты стратегического планирования // *Государственное управление. Электронный вестник*. 2025. № 109. С. 167–184. <https://doi.org/10.55959/MSU2070-1381-109-2025-167-184>. EDN: TCNNGD.
14. Локосов В. В., Рюмина Е. В., Ульянов В. В. Кластеризация регионов России по показателям качества жизни и качества населения // *Народонаселение*. 2019. Т. 22, № 4. С. 4–17. <https://doi.org/10.24411/1561-7785-2019-00035>. EDN: GKCMLZ.
15. Овешникова Л. В., Сибирская Е. В. Анализ региональных демографических угроз в контексте обеспечения экономической безопасности // *Национальные*

интересы: приоритеты и безопасность. 2025. Т. 21, № 1. С. 37–54. <https://doi.org/10.24891/ni.21.1.37>. EDN: TQWVTB.

16. Ростовская Т. К., Рязанцев С. В. и др. Демографическое развитие России: становление и эволюция научной школы Л. Л. Рыбаковского: монография. Ярославль: Филигрань, 2025. 208 с. ISBN: 978-5-605-32838-4. EDN: PLBWSX.

17. Ростовская Т. К., Шабунова А. А. и др. Демографическое самочувствие регионов России. Национальный демографический доклад — 2024. Вологда: Вологодский научный центр РАН, 2025. 385 с. ISBN: 978-5-93299-621-8. EDN: GTPIJV.

18. Соловьева Т. С. Демографический ландшафт формирования трудовых ресурсов Северо-запада России // Вестник ТвГУ. Серия: Экономика и управление. 2025. № 1. С. 133–145. <https://doi.org/10.26456/2219-1453/2025.1.133-145>. EDN: EDWMMF.

19. Сюпова М. С., Халикова С. С. Напряженность на рынке труда как индикатор экономической безопасности региона // Власть и управление на Востоке России. 2023. № 1 (102). С. 70–78. <https://doi.org/10.22394/1818-4049-2023-102-1-70-78>. EDN: DQPWDX.

20. Топилин А. В., Воробьева О. Д. Dynamics and regional features of labour market recovery during covid-19 // Экономика региона. 2023. Т. 19, № 1. С. 85–98. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2023-1-7>. EDN: KPKUFE.

21. Узякова Е. С. Неформальная занятость и структурные дисбалансы на рынке труда // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2024. Т. 17, № 6. С. 167–183. <https://doi.org/10.15838/esc.2024.6.96.9>. EDN: OSUCAZ.

22. Щербакова Е. М. Старшие поколения россиян, 2025 год // Демоскоп Weekly. 2025. № 1079–1080. EDN: LNMCOQ

23. Яковенко Н. В., Поросенков Ю. В. Теоретико-методологические подходы к исследованию депрессивных регионов России // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2013. № 2. С. 10–21. EDN: RLMGCB

24. Chugunova N. V., Lisetskii F. N., Narozhnyaya A. G., Polyakova T. A., Morkovskaya D. N. Metropolization Process in the Rural Settlement System of the Central Chernozem Region of Russia // Geography, Environment, Sustainability. 2024. Vol. 17, № 3. P. 98–108. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2024-3168>. EDN: GGUAZD.

References

1. Anoshina Yu. F., Simonov S. Yu. Unevenness of demographic processes in Russia: regional disproportions and their impact on socio-economic development. Proceedings of the South-western State University. Series: Economics. Sociology. Management. 2025;15(5):95–114. (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1552-2025-15-5-95-114>. EDN: ADLYEU.

2. Arkadyeva O. G. Structural imbalances in employment and unemployment in regional labor markets. Oeconomia et Jus. 2025;(4):1–16. (In Russ.). <https://doi.org/10.47026/2499-9636-2025-4-1-16>. EDN: LCHJCY.

3. Vorobyeva O. D., Topilin A. V., Nioradze G. V., Khrolenko T. S. The relationship between migration and demographic aging of the population in Russian regions: an analysis by age groups. Population. 2024;27(2):149–164. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/1561-7785-2024-2-149-164>. EDN: RBTPNA.

4. Vorobyeva O. D., Topilin A. V., Nioradze G. V., Khrolenko T. S. Trends in labor employment of pensioners by occupation and type of economic activity in 2017-2022. Social and Labor Studies. 2024;54(1):60–72. (In Russ.). <https://doi.org/10.34022/2658-3712-2024-54-1-60-72>. EDN: PCCBDU.

5. Gavrilenko Yu. E. Working conditions index and its impact on employment in Russian regions. *Federalism*. 2025;30(3):171–183. (In Russ.). <https://doi.org/10.21686/2073-1051-2025-3-171-183>. EDN: RDZXET.
6. Dobrokhleb V. G. Dynamics of demographic aging of ethno-national regions of the Russian Federation in the second and early third decade of the XXI century. *Problems of Territory Development*. 2024;28(6):112–122. (In Russ.). <https://doi.org/10.15838/ptd.2024.6.134.8>. EDN: LEYLDE.
7. Dobrokhleb V. G., Kondakova N. A. Typologization and socio-economic aspects of the formation of demographic aging of the population in Russian regions. *Problems of Territory Development*. 2022;26(4):98–110. (In Russ.). <https://doi.org/10.15838/ptd.2022.4.120.7>. EDN: NWTBQC.
8. Kashepov A. V. Typology of Russian regions by employment level in key economic sectors and socio-economic indicators. *Social and Labor Studies*. 2024;56(3):32–41. (In Russ.). <https://doi.org/10.34022/2658-3712-2024-56-3-32-41>. EDN: NGHMTJ.
9. Koshevoy O. S. Methodology for forecasting the situation on the regional labor market. *Organizer of Production*. 2023;31(1):171–182. (In Russ.). <https://doi.org/10.36622/VSTU.2023.46.61.013>. EDN: QVNLTP.
10. Koshevoy O. S. Assessment of the tension coefficient in the labor market. Regional aspect. *Statistics and Economics*. 2023;20(2):13–20. (In Russ.). <https://doi.org/10.21686/2500-3925-2023-2-13-20>. EDN: GTMHME.
11. Kuznetsova M. N., Vasilyeva A. S. Monitoring and assessment of regional differentiation of the labor market in the Arctic zone of the Russian Federation. *North and Market: Formation of Economic Order*. 2025;(3):97–120. (In Russ.). <https://doi.org/10.37614/2220-802X.3.2025.89.007>. EDN: KBXVRM.
12. Kulikova N. A. Analysis of the current state of the labor market in Russia. *Young Scientist*. 2025;(602):244–246. EDN: JRGTDR. (In Russ.).
13. Kupryashin G. L., Drobysheva E. S. Depressed territories as objects of strategic planning. *Public Administration. Electronic Bulletin*. 2025;(109):167–184. (In Russ.). <https://doi.org/10.55959/MSU2070-1381-109-2025-167-184>. EDN: TCNNGD.
14. Lokosov V. V., Ryumina E. V., Ulyanov V. V. Clustering of Russian regions by indicators of quality of life and quality of population. *Population*. 2019;22(4):4–17. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/1561-7785-2019-00035>. EDN: GKCMLZ.
15. Oveshnikova L. V., Sibirskaya E. V. Analysis of regional demographic threats in the context of ensuring economic security. *National Interests: Priorities and Security*. 2025;21(1):37–54. (In Russ.). <https://doi.org/10.24891/ni.21.1.37>. EDN: TQWVTB.
16. Rostovskaya T. K., Ryazantsev S. V. et al. Demographic development of Russia: formation and evolution of the scientific school of L. L. Rybakovsky: monograph. Yaroslavl: Filigran. 2025. 208 p. EDN: PLBWSX. (In Russ.).
17. Rostovskaya T. K., Shabunova A. A. et al. Demographic well-being of Russian regions. *National Demographic Report 2024*. Vologda: Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences. 2025. 385 p. EDN: GTPIJV. (In Russ.).
18. Solovieva T. S. Demographic landscape of labor force formation in the North-West of Russia. *Bulletin of TvSU. Series: Economics and Management*. 2025;(1):133–145. (In Russ.). <https://doi.org/10.26456/2219-1453/2025.1.133-145>. EDN: EDWMMF.
19. Syupova M. S., Khalikova S. S. Tension in the labor market as an indicator of economic security of the region. *Power and Administration in the East of Russia*. 2023;(102):70–78. (In Russ.). <https://doi.org/10.22394/1818-4049-2023-102-1-70-78>. EDN: DQPWDX.

20. Topilin A. V., Vorobyeva O. D. Dynamics and regional features of labour market recovery during covid-19. *Economy of Regions*. 2023;19(1):85–98. (In Russ.). <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2023-1-7>. EDN: KPKUFE.
21. Uzyakova E. S. Informal employment and structural imbalances in the labor market. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*. 2024;17(6):167–183. (In Russ.). <https://doi.org/10.15838/esc.2024.6.96.9>. EDN: OSUCAZ.
22. Shcherbakova E. M. Older generations of Russians, 2025. *Demoscope Weekly*. 2025:1079–1080. EDN: LNMCOQ. (In Russ.).
23. Yakovenko N. V., Porosenkov Yu. V. Theoretical and methodological approaches to the study of depressed regions of Russia. *Bulletin of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*. 2013;(2):10–21. EDN: RLMGCB. (In Russ.).
24. Chugunova N. V., Lisetskii F. N., Narozhnyaya A. G., Polyakova T. A., Morkovskaya D. N. Metropolization process in the rural settlement system of the Central Chernozem Region of Russia. *Geography, Environment, Sustainability*. 2024;17(3):98–108. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2024-3168>. EDN: GGUAZD.

Информация об авторах / Information about the authors:

Яковенко Наталия Владимировна — доктор географических наук, профессор, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет, Саранск, Россия; Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова, Воронеж, Россия.

Yakovenko Nataliya Vladimirovna — Doctor of Geography, Professor, National Research Mordovia State University, Saransk, Russia, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov, Voronezh, Russia.

n.v.yakovenko71@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4203-0040>

Семина Ирина Анатольевна — кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой физической и социально-экономической географии, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет, Саранск, Россия.

Semina Irina Anatolyevna — Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Physical and Socio-Economic Geography, National Research Mordovia State University, Saransk, Russia.

isemina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7468-3102>

Фоломейкина Лариса Николаевна — кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры физической и социально-экономической географии, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет, Саранск, Россия.

Folomeykina Larisa Nikolaevna — Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physical and Socio-Economic Geography, National Research Mordovia State University, Saransk, Russia.

folomejkina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0172-2024>

Вклад авторов:

Наталья Владимировна Яковенко — формирование идеи; формулировка и развитие ключевых целей и задач.

Ирина Анатольевна Семина — проведение исследований, в частности экспериментов и сбор данных/доказательств, анализ и интерпретация полученных данных.

Лариса Николаевна Фоломейкина — применение статистических, математических, вычислительных и других формальных методов для анализа и синтеза данных исследования.

Author contributions:

Nataliya Vladimirovna Yakovenko — conceptualization; formulation or development of key goals and objectives.

Irina Anatolyevna Semina — conducting research, specifically performing experiments or collecting data/evidence; analysis and interpretation of the obtained data.

Larisa Nikolaevna Folomeykina — application of statistical, mathematical, computational, and other formal methods for the analysis and synthesis of research data.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no relevant conflict of interests.

Статья поступила в редакцию: 03.03.2026;
одобрена после доработки: 02.04.2026;
принята к публикации: 04.04.2026.

The article was submitted: 03.03.2026;
approved after reviewing: 02.04.2026;
accepted for publication: 04.04.2026.

Исследовательская статья

УДК 911.7

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-93-108

Роман Денисович Архипов

Московский педагогический государственный университет,
Москва, Россия

ФАКТОРЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ НОВОЙ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА ТЕРРИТОРИИ ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА

Аннотация. Комплексная трансформация системы возобновляемой энергетики Европейского Союза (ЕС) на рубеже XX–XXI в. привела к выделению новой возобновляемой энергетики (НВЭ). В результате выявленной многоаспектной неоднородности самого ЕС и разного уровня влияния данных факторов на субрегионы и страны — члены ЕС было установлено, что развитие сети объектов НВЭ происходит в значительной степени неравномерно. Оно зависит в первую очередь от объема экономики, а также от географического положения и уровня обеспеченности собственными энергетическими ресурсами. Такие выводы были сделаны на основании использования статистических методов анализа и корреляционного анализа по Кендаллу. Выявленная в ходе исследования пространственная диспропорция приводит к необходимости дифференциации стран — членов ЕС по уровню производства электроэнергии в подсистеме НВЭ и развитию НВЭ в целом. Данная дифференциация демонстрирует высокий уровень корреляции между ВВП как основным макроэкономическим показателем и валовым уровнем производства электроэнергии по странам — членам ЕС, а также то, что ВВП является одним из ключевых показателей, отражающих возможности стран — членов ЕС для развития НВЭ. Это свидетельствует о серьезных комплексных проблемах в области развития НВЭ, природа которых отображает сложный комплекс проблем ЕС в целом и которые демонстрируют, что уровень зависимости ЕС от импорта углеводородов будет оставаться высоким, а уровень энергетической безопасности будет оставаться низким, несмотря на планы ЕС по преодолению сложившейся ситуации. В этой связи ЕС необходимо акцентировать внимание на способах преодоления высокой степени неоднородности НВЭ, а не на достижении общих ключевых показателей. Для этого необходимо подходить к развитию более комплексно, учитывая проблематику высокой степени дифференциации, отраженную в данной статье.

Ключевые слова: Европейский союз, новая возобновляемая энергетика, электроэнергетика, территориальная организация, пространственная диспропорция, возобновляемая энергетика, энергетическая политика

Финансирование: исследование не имело финансовой поддержки.

Research article

UDC 911.7

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-93-108

Roman Denisovich ArkhipovMoscow Pedagogical State University,
Moscow, Russia**FACTORS AND PATTERNS OF FORMATION
OF THE TERRITORIAL ORGANIZATION
OF NEW RENEWABLE ENERGY IN THE EUROPEAN UNION**

Abstract. The comprehensive transformation of the renewable energy system of the EU (European Union) at the turn of the XX–XXI century led to the allocation of the NRE (new renewable energy). As a result of the revealed multidimensional heterogeneity of the EU itself and the different levels of influence of these factors on the subregions and EU member states, it was found that the development of the network of NRE facilities is largely uneven. It depends primarily on the size of the economy, as well as the geographical location and the level of availability of its own energy resources. These conclusions were based on the use of statistical analysis methods and Kendall correlation analysis. The spatial disproportion identified in the study leads to the need to differentiate EU member states based on their level of electricity production in the NRE subsystem and the overall development of NRE. This differentiation demonstrates a high level of correlation between GDP as the main macroeconomic indicator and the gross level of electricity production in EU member states, as well as the fact that GDP is one of the key indicators that reflect the capabilities of EU member states for the development of NRE. This indicates serious complex problems in the development of NRE, the nature of which reflects the complex set of problems of the EU as a whole. These problems demonstrate that the level of dependence of the EU on hydrocarbon imports will remain high, and the level of energy security will remain low, despite the EU's plans to overcome this situation. In this regard, the EU needs to focus on ways to overcome the high degree of heterogeneity of NRE, rather than achieving general key indicators. This requires a more comprehensive approach to development, taking into account the high degree of differentiation discussed in this article.

Keywords: European Union, new renewable energy, electric power industry, territorial organization, spatial disparity, renewable energy, energy policy

Funding Statement: no funding was received for writing this manuscript.

Введение

Тема возобновляемой энергетики Европейского союза (ЕС) в достаточной степени освещена в научной литературе, однако большая часть исследований носит экономический или технический характер, в то время как количество работ географической направленности остается

относительно малым. Вместе с тем, за последние 35 лет в системе возобновляемой энергетики произошли серьезные изменения, которые привели к ее трансформации и необходимости выделения этого понятия. Новая возобновляемая энергетика (НВЭ) — подсистема возобновляемой энергетики, представляющая собой область хозяйственно-экономической деятельности человека, включающая в себя достижения науки и техники, служащая для получения, преобразования, передачи и последующего накопления электрической и тепловой энергии, получивших активное развитие на рубеже XXI в. и совершивших переход от количественных изменений к качественным, к которым относятся ветроэнергетика, солнечная энергетика и биоэнергетика. Именно НВЭ обеспечивает существенный рост доли возобновляемой энергетики в мире, в силу как высокого потенциала роста, так и исчерпания возможностей развития других направлений возобновляемой энергетики.

Необходимость введения данного понятия обусловлена качественными сдвигами, произошедшими в системе возобновляемой энергетики (рис. 1).

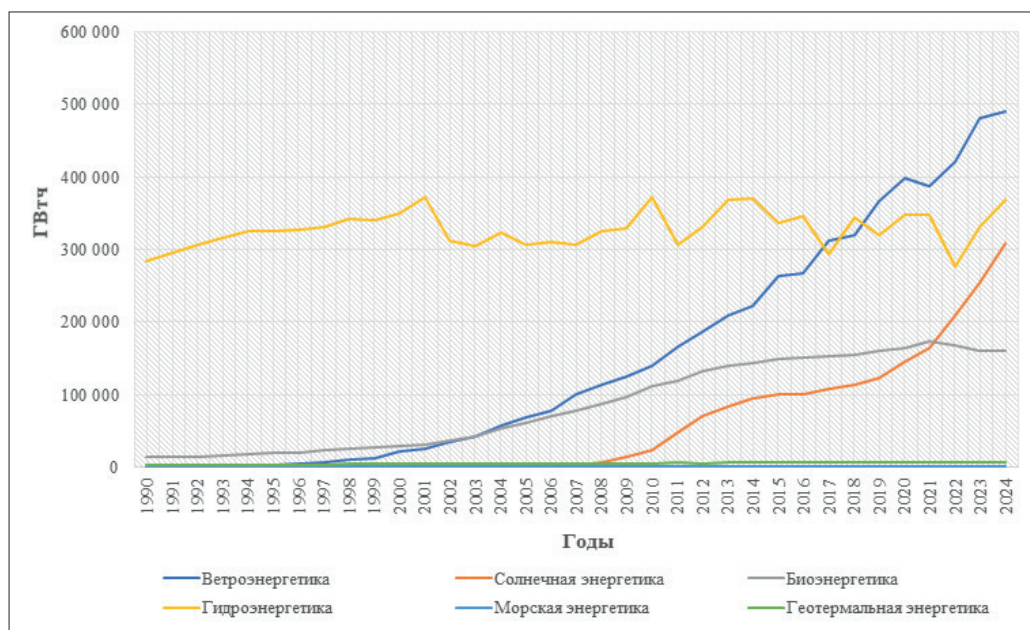


Рис. 1. Валовое производство электроэнергии в рамках возобновляемой энергетики ЕС за период с 1990 по 2024 г. (в ГВтч)¹

Существенно изменились общая картина производства электроэнергии по направлениям возобновляемой энергетики. Гидроэнергетика, занимавшая на протяжении рассмотренного периода первое место по валовому производству

¹ Составлено на основе данных: Production of electricity and derived heat by type of fuel. Eurostat. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_bal_peh/default/table?lang=en (дата обращения: 15.02.2026).

электроэнергии, к 2024 г. вышла на плато своего развития. Это обусловлено несколькими причинами: во-первых, историческим развитием, которое привело к тому, что ГЭС (гидроэлектростанции) к настоящему моменту заняли наиболее благоприятные ареалы, вследствие чего дальнейшая территориальная экспансия стала ограничена. Во-вторых, используемые в ГЭС технологии и оборудование достигли пределов своего технического развития и дальнейший рост их эффективности становится все менее вероятным. Морская энергетика всегда исторически находилась в аутсайдерах возобновляемой энергетики, что обусловлено двумя главными ее недостатками: во-первых, дополнительными затратами, связанными с введением в работу электростанций, а во-вторых, необходимостью прокладки дополнительных линий электропередач с целью доведения электроэнергии до потребителей или ее аккумулирования и последующего использования в моменты пиковых нагрузок. Для развития геотермальной энергетики главным препятствием является ее жесткая локальная привязка к вулканически активным районам. В результате этого распространение ГеоТЭС (геотермальных электростанций) на территории ЕС крайне ограничено и в ближайшие годы не получит значительного импульса для развития.

На фоне названных недостатков ГЭС по-другому смотрятся направления, входящие в понятие НВЭ. ВЭС (ветроэлектростанции), СЭС (солнечные электростанции) и ТЭС (тепловые электростанции) на биотопливе обладают возможностями для большего расширения по территории ЕС в силу распространенности используемых ими энергетических ресурсов и активного развития технологий и оборудования. Это отчасти и обуславливает такой бурный рост данных направлений на протяжении последних 30 лет. Особенно это заметно на примере ветроэнергетики, которая на 2024 г. обогнала гидроэнергетику по валовому производству электроэнергии на 32,5 %. Подобное активное развитие направлений НВЭ является важным условием для достижения цели ЕС по доведению уровня конечного энергопотребления за счет возобновляемых источников энергии до 42,5 % к 2030 г.²

При этом входящие в НВЭ направления обладают рядом общих характеристик, отличающих их от других направлений возобновляемой энергетики, которые подчеркивают необходимость их выделения:

1. Активное развитие и распространение НВЭ приходится на начало XXI в.
2. НВЭ характеризуется сокращением издержек при одновременном увеличении эффективности и одновременным снижением затрат. Таким образом, видны эффекты «обучения технологий» и «масштабов производства» («тиража»).
3. НВЭ тяготеет к экономически развитым странам, обладающим достаточно высоким уровнем общего развития экономики.
4. Для НВЭ характерно отсутствие жесткой территориальной привязки к энергетическим ресурсам, что отличает ее как от традиционной углеводородной

² Renewable Energy Directive. European Commission. URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en (дата обращения: 15.02.2026).

энергетики, так и от других направлений возобновляемой энергетики, к которым относятся гидроэнергетика, морская энергетика и геотермальная энергетика.

Необходимо пояснить, что закономерности развития НВЭ, так же как и возобновляемой энергетики, в целом обусловлены географическим положением и природными условиями, которые отражают зависимость ВИЭ (возобновляемых источников энергии) от природных факторов, таких как количество поступающей на Землю солнечной энергии, сила ветров, продуктивность биосферы, наличие гидрологических и геотермальных источников [1]. Но степень локализации распространения всех этих факторов является различной.

Активное развитие данных направлений существенным образом повлияло на их территориальную организацию. Это привело к серьезным изменениям в географии объектов НВЭ. Таким образом, исследование проведено с целью выявления изменений, происходящих на уровне стран, субрегионов и региона в целом. Особенно актуально данное исследование в контексте трансформации энергетической политики ЕС на фоне изменения мировой политической конъюнктуры и постепенном сокращении поставок российских углеводородов, а также зеленом курсе развития.

Материалы и методы исследования

Исследование было проведено на базе статистических данных Eurostat, The World Bank, IRENA по темам, связанным с возобновляемой энергетикой, экономическим развитием, патентами в области возобновляемой энергетики ЕС. Также были проанализированы нормативно-правовые документы, касающиеся развития возобновляемой энергетики на уровне ЕС. Был сделан анализ научной литературы по данной тематике, как на русском, так и на иностранных языках.

С целью анализа и последующего отображения полученных в ходе исследования результатов были отобраны следующие методы исследования: историко-географический, сравнительно-географический, картографический, математический и статистический. Уровень корреляции оценивался на основании обработки массива данных по методу Tau-b Кендалла. Данная корреляция рассчитывается по формуле:

$$\tau = \frac{C - D}{n} = 1 - \frac{2 \times D}{(n \times (n - 1)) / 2},$$

где C — число конкордантных пар, D — число дисконкордантных пар, n — общее число пар³.

С целью автоматизации и увеличения точности расчеты проводились с помощью программы обработки статистических данных IBM SPSS (Statistical Package

³ Орешков В. Корреляционный анализ данных. Loginom. URL: <https://loginom.ru/blog/correlation-analysis?ysclid=mnbnlmy0lp496592150> (дата обращения: 15.02.2026).

for the Social Sciences). Данный метод подходит для категориальных данных. На основании проведенного анализа были представлены картографические материалы, отражающие основные элементы пространственной организации НВЭ.

Результаты исследования

Как отмечали в ряде своих работ М. Ю. Березкин, К. С. Дегтярев, О. А. Сигнунгин, одним из основополагающих факторов развития возобновляемой энергетики, как и в случае с НВЭ, является общий уровень развития экономики [2]. При этом, на наш взгляд, правильнее говорить не о ее уровне, а о ее объеме. Одной из главных характеристик, позволяющих отследить данный показатель, является ВВП (внутренний валовый продукт). Достаточно большая по своим объемам экономика является необходимым условием для дополнительных финансовых мер поддержки развития НВЭ в силу ее меньшей, по сравнению с углеводородной энергетикой, рентабельности. В связи с этим НВЭ тяготеет к странам — членам ЕС с наиболее крупными по объему экономики.

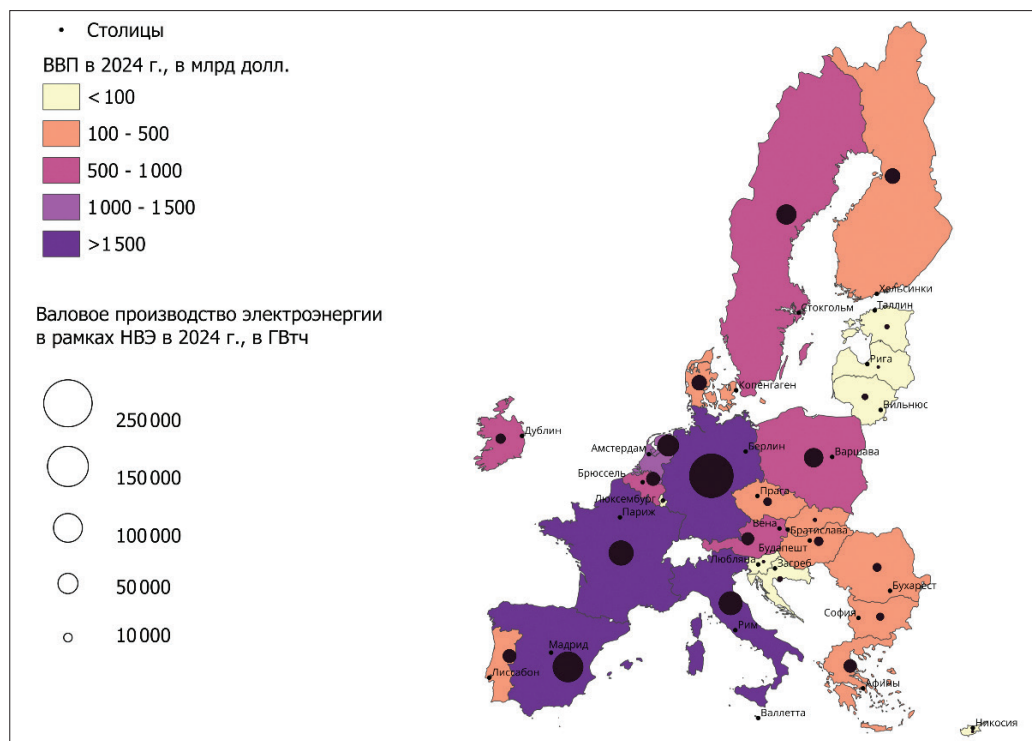


Рис. 2. Соотношение ВВП в млн долл. и валового производства электроэнергии в рамках НВЭ по странам — членам ЕС в 2024 г. (в ГВтч)⁴

⁴ Составлено на основе данных: Production of electricity and derived heat by type of fuel; GDP (current US\$) — European Union. The World Bank. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?locations=EU> (дата обращения: 15.02.2026).

Уровень производства электроэнергии в рамках НВЭ будет непосредственно коррелировать с объемом экономики стран — членов ЕС. Об этом свидетельствует уровень корреляции по Кендаллу $\approx 0,8$, что демонстрирует сильный уровень корреляции и говорит о высоком значении ВВП для развития НВЭ. При этом такая закономерность прослеживается как на уровне непосредственно стран — членов ЕС, так и на уровне субрегионов (классификация субрегионов ООН). Лидерство Западной Европы во главе с Германией ярче всего демонстрирует данную закономерность. И эта же закономерность, но уже в отрицательном аспекте, прослеживается в Восточной Европе, объем экономики которой является наименьшим среди всех субрегионов ЕС. Несмотря на это, историко-географический анализ статистических данных демонстрирует, что постепенно вклад Восточной Европы в развитие НВЭ увеличивается⁴. Это может быть частично обусловлено эффектом низкой базы в данном субрегионе, в результате чего он обладает относительно слабодействующим потенциалом для развития НВЭ.

Лидирующие позиции по валовому производству электроэнергии в рамках НВЭ будут иметь те страны, которые при этом являются локомотивами как внутри своих субрегионов, так и внутри ЕС в целом. Для Западной Европы это Германия, для Восточной Европы — Польша, для Южной Европы — Испания и Италия, а для Северной Европы — Швеция и Дания.

При этом одним из важных следствий данных территориальных закономерностей будет география инвестиций в объекты НВЭ. Поскольку возможность инвестиций напрямую зависит от объема экономики, то территориальные закономерности будут накладываться друг на друга. Так, для горизонта планирования до 2030 г. лидерство будет оставаться за Западной Европой, за ней будет следовать Южная Европа, на третьем месте — Восточная Европа, а на последнем — Северная Европа⁵. В Восточной Европе крупными инвесторами являются Польша и Румыния⁶. Во многом именно благодаря этим двум странам Восточная Европа обгоняет Северную Европу.

В зависимости от того, к каким направлениям НВЭ принадлежат инвестиционные проекты, меняются их ареалы. Особенно ярко это прослеживается на примере биоэнергетики и солнечной энергетики. Солнечная энергетика тяготеет к странам Южной Европы в силу естественных закономерностей в распределении инсоляции⁶. Биоэнергетика тяготеет к странам с развитым лесопромышленным комплексом: странам Северной Европы, прежде всего Швеции и Финляндии, а также к странам с развитым сельскохозяйственным комплексом — государствам Восточной и Южной Европы, прежде всего к Польше, Италии и Испании⁶. В ветроэнергетике эти закономерности также присутствуют, но не являются столь детерминированными.

Еще одним следствием экономического фактора выступает неравномерность в географии занятости в рамках НВЭ (см. рис. 3).

⁵ Renewable Energy Finance Flows. IRENA. URL: <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Finance-and-Investment/Renewable-Energy-Finance-Flows> (дата обращения: 15.02.2026).

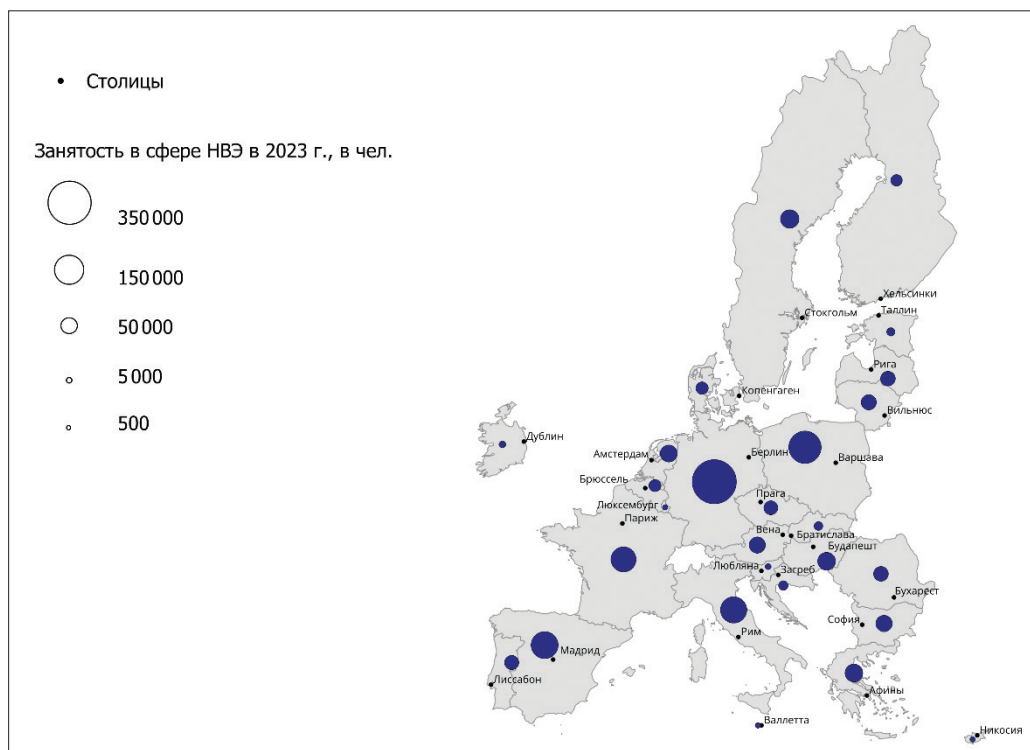


Рис. 3. География занятости в сфере НВЭ в 2023 г. (в чел.)⁶

Уровень корреляции между объемом ВВП и количеством занятых в сфере НВЭ по Кендаллу на уровне $\approx 0,6$. Такое значение свидетельствует о наличии корреляции, хотя она и не является жестко детерминированной, но говорит о том, что данные показатели взаимосвязаны. Для привлечения специалистов необходимо создание конкурентноспособных предложений. Поэтому страны, обладающие большими экономическими возможностями имеют, как правило, более выигрышное положение и становятся центрами притяжения для трудовых мигрантов из других стран, обладающих необходимым уровнем квалификации. А страны-доноры, в силу своих меньших экономических возможностей, не способны предоставить конкурентноспособные условия. Особенно ярко это прослеживается на историческом примере трудовой миграции из стран Восточной Европы в более благополучные страны других субрегионов Европы.

Необходимо указать, что географический фактор также имеет важное значение для развития НВЭ и в зависимости от направления НВЭ его роль будет также меняться. Так, для ветроэнергетики важную роль играет наличие постоянных и сильных ветров. Однако уровень корреляции по Кендаллу $\approx 0,3$, то есть корреляция является слабой. Необходимо уточнить, что это обусловлено слишком

⁶ Составлено на основе данных: Renewable Energy Employment by Country.

разными экономическими возможностями между странами. Не так важно, насколько удачно географическое положение Португалии или Ирландии, если у них нет экономических возможностей Испании или Германии, то их потенциал не сможет быть задействован. Но стоит отметить, что уровень корреляции в контексте относительного вклада ветроэнергетики в обеспечении энергетических потребностей стран будет выше — на уровне $\approx 0,5$. Это обуславливает ее тяготение к Североатлантическому побережью (рис. 4).

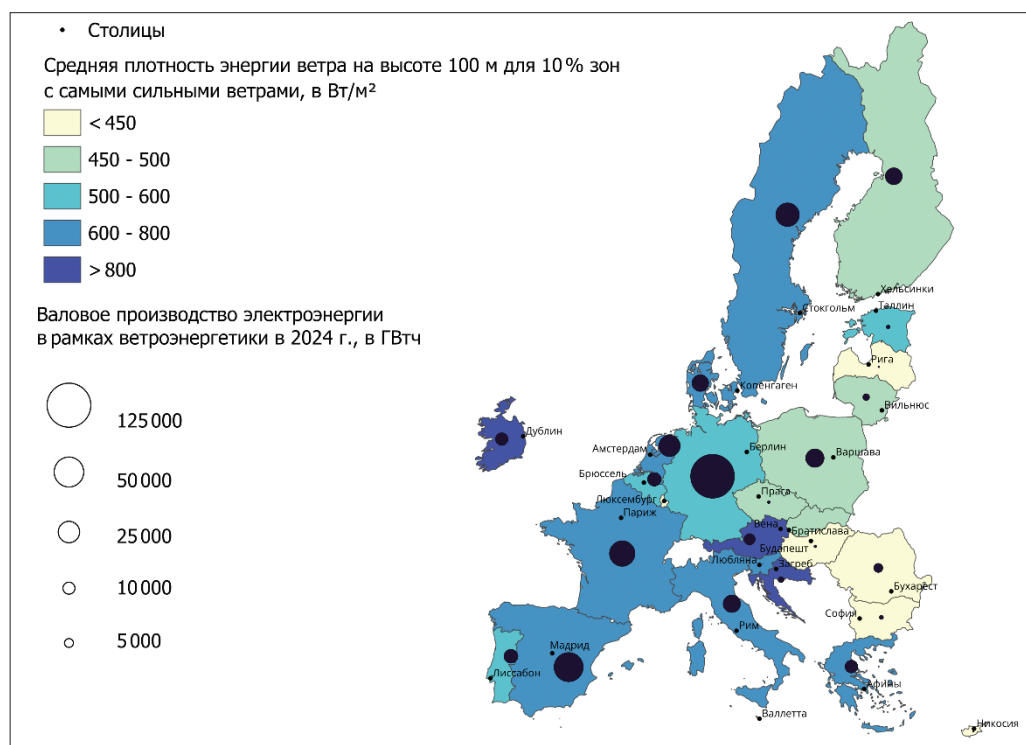


Рис. 4. Средняя скорость ветра на высоте 100 м для 10 % зон с самыми сильными ветрами, по странам — членам ЕС (в Вт/м²)⁷

В связи с этим при продвижении с запада на восток в более континентальные участки ЕС распространение ветроэнергетики значительно сокращается. Эти же особенности прослеживаются и на уровне стран — членов ЕС. Для большинства стран — членов ЕС характерно развитие ветроэнергетики непосредственно в прибрежных регионах. При этом развитие морской ветроэнергетики в значительной степени ограничено необходимостью дополнительных затрат на прокладку подводных линий электропередач. В связи с этим, по состоянию на 2020 г., морская ветроэнергетика представлена только в Германии, Дании, Бельгии, Нидерландах, Швеции, Финляндии, Ирландии, Португалии, Испании и Франции.

⁷ Составлено на основе данных: Production of electricity and derived heat by type of fuel; Global Wind Atlas. URL: <https://globalwindatlas.info/en/> (дата обращения: 15.02.2026).

В солнечной энергетике прослеживается наиболее зональное распределение задействованного энергетического ресурса. Однако, как и в случае с ветроэнергетикой, из-за слишком большого экономического разрыва между странами, который отражает их возможности, уровень корреляции по Кендаллу будет на уровне $\approx 0,1$, то есть корреляция незначительна. Однако при рассмотрении в относительных величинах, как и у ветроэнергетики, корреляция будет выше — на уровне $\approx 0,3$. Солнечная энергетика тяготеет к Средиземноморскому побережью, точнее к странам Южной Европы (рис. 5).

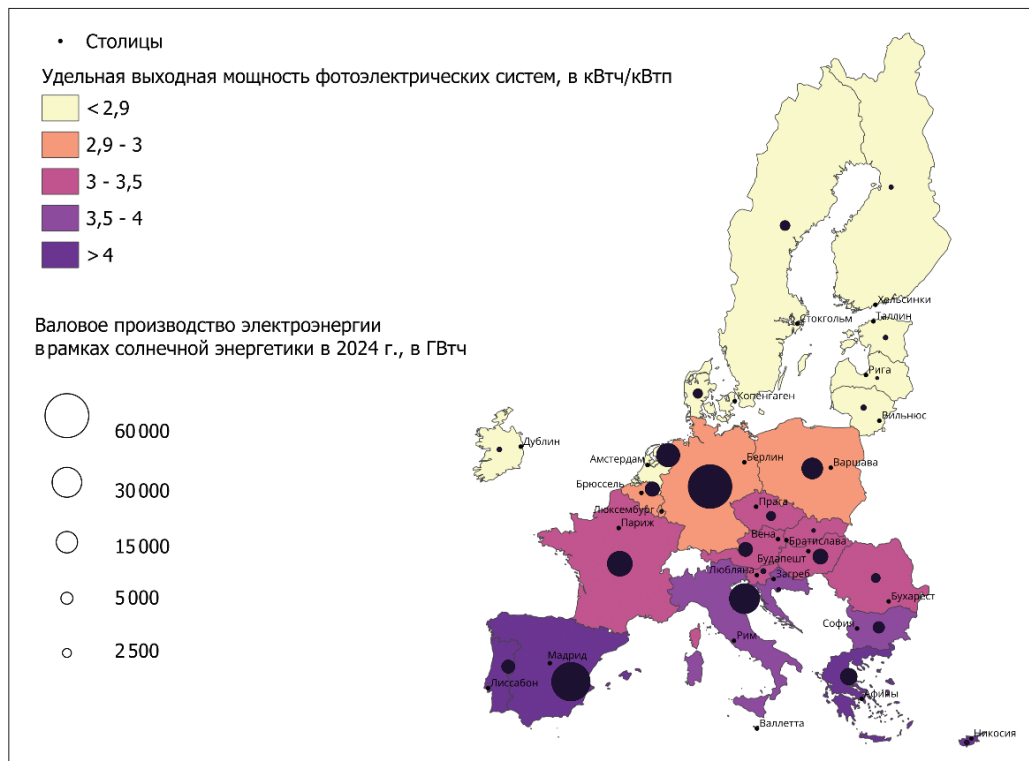


Рис. 5. Прямое нормальное облучение по странам — членам ЕС (в кВтч/м²)⁸

При этом солнечная энергетика представлена и в других субрегионах, но для них характерно ее тяготение к южным регионам внутри стран, что обусловлено распространением инсоляции. Солнечная энергетика крайне слабо представлена в странах Северной Европы, поскольку для них характерен низкий уровень инсоляции. Ярким примером детерминированного значения уровня инсоляции может служить территориальная организация солнечной энергетики в Германии или Испании, в которых это влияние прослеживается наиболее ясно и очевидно.

Уровень корреляции между обеспеченностью энергетическим ресурсом и уровнем производства электроэнергии будет значительно выше, чем в случае

⁸ Составлено на основе данных: Production of electricity and derived heat by type of fuel; Global Solar Atlas.

комплекс более дифференцирован и тяготеет к центральной части Европы, а именно к Польше, Франции, Италии и Испании. Также дополнительным фактором тяготения биоэнергетики к данным странам выступает производство в них достаточного объема отходов, которые частично используются с целью производства биотоплива. В силу возможности транспортировки биотоплива и его использования на традиционных ТЭС география его распространения внутри стран — членов ЕС носит более фрагментарный характер и опирается на близость источников биотоплива.

Такое распределение используемых в рамках НВЭ энергетических ресурсов приводит к выделению нескольких ареалов ее распространения и тяготения к ним за счет наличия наиболее благоприятных условий.

Говоря об энергетических ресурсах, следует отметить, что одним из важных факторов развития НВЭ является отсутствие на территории ЕС углеводородной базы, достаточной для удовлетворения внутренних потребностей. Это приводит многие страны — члены ЕС к зависимости от импорта углеводородов, что ставит под вопрос возможность обеспечения собственной энергетической безопасности. При этом в силу неравномерного характера уровня данной зависимости ее роль будет различной.

Зависимость от импорта природного газа исторически остро стояла для всего ЕС, однако ряд стран находились в более выгодном положении, как, например, страны Восточной Европы¹⁰. Для стран Восточной Европы характерен один из самых низких уровней зависимости от импорта природного газа, поскольку они добывают его на собственной территории. При этом Восточная Европа характеризуется наиболее слабым развитием НВЭ среди всех других субрегионов. Также существенную роль в этом сыграла возможность закупки российских углеводородов и налаженность логистических цепочек, которые сохранились со времен вхождения данных стран в Восточный блок и активно использовались местными игроками до 2022 г.

Еще ярче эта закономерность отражается при рассмотрении зависимости от импорта твердого ископаемого топлива и его собственной добычи¹¹. Страны Восточной Европы в наименьшей степени проявляют зависимость от поставок импортных углеводородов. В результате этой относительно небольшой энергетической независимости и благоприятных условий для закупок импортных углеводородов данные страны исторически были слабо заинтересованы в развитии НВЭ. Однако это развитие все равно происходило, хотя и в меньшей степени, чем в других субрегионах.

¹⁰ Supply, transformation and consumption of gas. Eurostat. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_cb_gas/default/table?lang=en (дата обращения: 15.02.2026); Energy import dependency by products. Eurostat. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_07_50/default/table?lang=en (дата обращения: 15.02.2026).

¹¹ Supply, transformation and consumption of solid fossil fuels. Eurostat. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_cb_sff/default/table?lang=en (дата обращения: 15.02.2026).; Production of electricity and derived heat by type of fuel.

Одной из немаловажных причин этого было давление со стороны ЕС и ее приверженность устойчивому развитию и повороту на зеленый курс развития. При этом к началу третьего десятилетия XXI в. стала заметна тенденция к развитию НВЭ на территории всех субрегионов, хотя и с различными темпами в силу их различных экономических, технических и географических условий. Все это приводит к серьезным диспропорциям в территориальной организации НВЭ.

Это прослеживается как на уровне субрегионов, так и на уровне стран — членов ЕС и обусловлено неравномерностью влияния перечисленных ранее факторов. Для столь активного развития НВЭ в Западной Европе, на которую приходится 49 % от всей производимой в рамках НВЭ электроэнергии на территории ЕС, важную роль играет ее экономические возможности¹². Для Южной Европы этот показатель составляет 28 %, при этом основным фактором такого развития является благоприятное географическое положение. Для Северной Европы этот показатель составляет 15 %, при этом важную роль играет совокупность данных факторов, в то же время эти факторы в негативном аспекте влияют на развитие НВЭ в Восточной Европе, на которую приходится 8 %. Эти же факторы влияют и на появление лидеров и аутсайдеров внутри субрегионов. В результате выявляется следующая тенденция: около половины всей электроэнергии, производимой в рамках НВЭ внутри каждого субрегиона, приходится на одну или две страны. Так, для Западной Европы это — Германия, для Южной — Испания и Италия, для Северной — Швеция и Дания, для Восточной — Польша.

Заключение

В результате данного исследования было установлено, что наиболее важными факторами для развития НВЭ являются общий объем экономики, географическое положение и обеспеченность энергетическими ресурсами. При этом экономика является ведущим фактором, о чем свидетельствует ряд зарубежных исследований, в которых через другие макроэкономические показатели делаются схожие выводы о ее роли [3]. Выбор экономических параметров, в свою очередь, является вариативным в силу их большого количества, а также дискуссионного характера обоснованности использования тех или иных в качестве ключевых.

Под экономическим фактором в нашем исследовании подразумевается объем экономики стран — членов ЕС. Данный фактор соотносится с уровнем валового производства электроэнергии в рамках НВЭ. При этом необходимо указать на то, что экономический фактор оказывает существенное влияние практически на все смежные области развития НВЭ. Так, следствием этого фактора является диспропорция в объеме инвестиций в развитие НВЭ и количеством данных проектов. Еще одним следствием экономического

¹² Production of electricity and derived heat by type of fuel.

фактора является диспропорция в географии трудовых ресурсов и занятости населения. В результате экономический фактор оказывает детерминирующее влияние на развитие НВЭ и углубляет ее пространственную диспропорцию. Без достаточно большого объема экономики развитие НВЭ и связанных с ней отраслей существенно ограничено. Это ярко демонстрируется как на уровне субрегионов, так и внутри них на уровне стран — членов ЕС, поскольку на обоих уровнях образуются лидеры, на долю которых приходится около половины всего развития НВЭ. Это лидерство распространяется как на производство электроэнергии, так и на смежные сферы.

Под географическим фактором в исследовании подразумевается географическое положение, которое, в свою очередь, определяет степень обеспеченности территории возобновляемыми источниками энергии, другими словами, энергетическими ресурсами, используемыми в рамках НВЭ. В ходе исследования было определено, что данный фактор в наибольшей степени влияет на специализацию стран — членов ЕС на наиболее подходящих направлениях НВЭ. В результате этого у каждого из направлений НВЭ есть свои ареалы распространения и центры. Так, заметно тяготение ветроэнергетики к Североатлантическому побережью, к которому в наибольшей степени относятся страны Западной и Северной Европы. Солнечная энергетика, в силу распределения инсоляции по поверхности Земли, тяготеет к Средиземноморскому региону, то есть к странам Южной Европы. Биоэнергетика распространена более мозаично в силу использования биотоплива различного происхождения. Она получила наибольшее распространение в Северной Европе, на территории которой располагаются страны с развитым лесопромышленным комплексом, а также в ряде стран, занимающих центральное положение в Европе, к которым можно отнести страны Западной, Восточной и Южной Европы, располагающие развитым сельскохозяйственным комплексом. В развитии НВЭ наблюдается дифференциация по степени развития каждого из направлений в зависимости от уровня обеспеченности энергетическими ресурсами, используемых в рамках каждого из направлений. Это создает условия для углубления специализации на наиболее оптимальных и эффективных направлениях НВЭ в зависимости от географических условий, а именно степени обеспеченности энергетическими ресурсами.

Говоря об энергетических ресурсах, необходимо указать на уровень зависимости импорта углеводородов от их собственного производства. ЕС исторически находился в условиях зависимости от импорта углеводородов, необходимых для развития промышленности и энергетики. Особенно остро стояла проблема обеспеченности газом. При этом уровень зависимости от его импорта для ЕС весьма неоднороден. Для стран Восточной Европы он является наименьшим, при этом до 2022 г. у них была возможность закупки российский углеводородов. В результате этого вопрос обеспечения энергетической безопасности стоял менее остро, а следовательно, развитие НВЭ не получило здесь столь значительно импульса, как в других субрегионах Европы. Существенный пласт

исследований по данной тематике подтверждает сделанные выводы. В зарубежных исследованиях, в частности, отмечается, что уязвимость Восточной Европы, обусловленная зависимостью от поставок углеводородов из России, ослабляет энергетическую безопасность Европейского союза в целом¹³. Есть пример Дании и Нидерландов, которые сами добывают углеводороды в Атлантическом океане и экспортируют их и при этом являются важными акторами в развитии НВЭ. Это демонстрирует, что наличие собственной углеводородной базы не всегда является сдерживающим фактором в развитии НВЭ.

Все эти факторы приводят к тому, что НВЭ на территории ЕС развивается неравномерно. Она тяготеет к наиболее развитым регионам и странам. При этом данные территории не всегда обладают оптимальными условиями для ее развития, что подчеркивает важную роль правительственных решений в развитии НВЭ, говоря иначе, важность стремления к данному развитию. Это демонстрирует существование серьезных дезинтеграционных рисков в области планов развития как возобновляемой энергетики в целом, так и НВЭ в частности.

Список источников

1. Березкин М. Ю., Синюгин О. А. Экономико-географические особенности развития возобновляемой энергетики // *Окружающая среда и энергетика*. 2020. № 1 (5). С. 4–18. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3737934>. EDN: WTPSUA.
2. Березкин М. Ю., Дегтярев К. С., Синюгин О. А. Возобновляемые энергетические ресурсы: история, проблемы, перспективы; Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Научно-исследовательская лаборатория возобновляемых источников энергии. Москва: КДУ, Добросвет, 2020. 92 с. ISBN: 978-5-7913-1145-0. <https://doi.org/10.31453/kdu.ru.978-5-7913-1145-0-2020-92>. EDN: STSSRN.
3. Spatial distribution and drivers of renewable energies in European regions / Á. García-Riazuelo, R. Duarte, C. Sarasa, R. Ortega-Argilés // *Energy Economics*. 2025. Vol. 144. P. 108340. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2025.108340>. EDN: GHZSQB.

References

1. Berezkin M. Yu., Sinyugin O. A. Economic and geographical features of the development of renewable energy. *Environment and Energy Studies*. 2020;(1):4–18. (In Russ.). <https://doi.org/10.5281/zenodo.3737934>. EDN: WTPSUA.
2. Berezkin M. Yu., Degtyarev K. S., Sinyugin O. A. Renewable energy resources: history, problems, prospects. Moscow: KDU, Dobrosvet. 2020. 92 p. (In Russ.). <https://doi.org/10.31453/kdu.ru.978-5-7913-1145-0-2020-92>. EDN: STSSRN.
3. García-Riazuelo Á., Duarte R., Sarasa C., Ortega-Argilés R. Spatial distribution and drivers of renewable energies in European regions. *Energy Economics*. 2025;144:108340. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2025.108340>. EDN: GHZSQB.

¹³ Mihai C. Accelerating the Energy Transition in Bulgaria, Hungary, and Romania through Renewable Acceleration Areas. EPG Policy Paper. URL: <https://www.epg-thinktank.org/accelerating-the-energy-transition-in-bulgaria-hungary-and-romania-through-renewable-acceleration-areas/> (дата обращения: 15.02.2026).

Информация об авторе / Information about the author:

Архипов Роман Денисович — аспирант кафедры экономической и социальной географии имени академика РАО В. П. Максаковского, географический факультет, Московский педагогический государственный университет, Москва, Россия.

Arkhipov Roman Denisovich — Postgraduate Student of the Department of Economic and Social Geography named after Academy of Russian Academy of Education V. P. Maksakovsky, the Faculty of Geography, Moscow Pedagogical State University, Moscow, Russia.

arkhipov.roman1997@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-2897-176X>

Статья поступила в редакцию: 25.02.2026;
одобрена после доработки: 08.04.2026;
принята к публикации: 09.04.2026.

The article was submitted: 25.02.2026;
approved after reviewing: 08.04.2026;
accepted for publication: 09.04.2026.



Исследовательская статья

УДК 612.822.3; 612.822.81; 796.332

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-109-128

**Павел Александрович Терехов¹,
Егор Александрович Киндюхин²,
Евгений Константинович Ефременков³**

^{1, 2, 3} Смоленский государственный университет спорта,
Смоленск, Россия

ОСОБЕННОСТИ НЕЙРОНАЛЬНОГО МЕТАБОЛИЗМА ГОЛОВНОГО МОЗГА СПОРТСМЕНОВ С РАЗНЫМИ ТИПАМИ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА В ПРОЦЕССЕ ТЕСТИРОВАНИЯ СУБМАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ

Аннотация. В статье приведены результаты исследования нейронального метаболизма головного мозга спортсменов с разными типами вегетативной регуляции сердечного ритма в процессе тестирования субмаксимальной мощности. В исследовании приняли участие 24 кандидата в мастера спорта по футболу Смоленска. Было установлено, что в начале эксперимента у спортсменов стандартная нагрузка не привела к значительному повышению омега-потенциала и смене динамических характеристик межполушарной асимметрии, что считалось признаком нейрофизиологической стабильности их церебрального метаболизма. В результате влияния тренировочного процесса было выявлено достоверное повышение субмаксимальной мощности у всех групп атлетов. Степень ацидоза различного генеза была обусловлена формой выраженности доминирующего контура вегетативной регуляции сердечного ритма, а не уровнем прироста специальной работоспособности в процессе велоэргометрического тестирования. У атлетов с умеренным преобладанием его автономного и центрального механизма (III и I типы) физическая нагрузка не привела к нарушению принципа куполообразности распределения омега-потенциала. Была выявлена

адаптивная реакция смены доминантного полушария на субдоминантную гемисферу, в то время как в крайних формах вегетативного обеспечения (IV и II типы) были обнаружены гипертрофированные и сниженные реакции без изменения межполушарного градиента при регистрации максимального уровня нейронального метаболизма в затылочной области. Наиболее устойчивыми к гипоксии мозга, вызванной субмаксимальной нагрузкой, оказались физиологические (III и I) типы вегетативной регуляции сердечного ритма.

Ключевые слова: нейрональный метаболизм, уровень постоянных потенциалов, анаэробная работоспособность, субмаксимальная мощность, тип вегетативной регуляции, футболисты

Финансирование: исследование не имело финансовой поддержки.

Research article

UDC 612.146.4; 612.176.4; 796.332

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-109-128

Pavel Alexandrovich Terekhov¹,
Egor Alexandrovich Kindyukhin²,
Evgeny Konstantinovich Efremenko³

^{1, 2, 3} Smolensk State University of Sports,
Smolensk, Russia

FEATURES OF NEURONAL METABOLISM OF THE BRAIN OF ATHLETES WITH DIFFERENT TYPES OF AUTONOMIC REGULATION OF CARDIAC RHYTHM DURING SUBMAXIMUM POWER TESTING

Abstract. This article presents the results of a study of neuronal metabolism in the brain of athletes with different types of autonomic heart rate regulation during submaximal power testing. Twenty-four Smolensk football Candidate Masters of Sports participated in the study. It was found that at the beginning of the experiment, the standard load did not significantly increase the athletes' omega potential or change the dynamic characteristics of interhemispheric asymmetry, which was considered a sign of neurophysiological stability in their cerebral metabolism. The training process resulted in a significant increase in submaximal power in all athlete groups. The degree of acidosis of various origins was determined by the severity of the dominant autonomic heart rate regulation circuit, rather than by the level of increase in specific performance during bicycle ergometric testing. In athletes with a moderate predominance of autonomic and central mechanisms (types III and I), physical exercise did not disrupt the domed distribution of omega potential; an adaptive response was observed, shifting from the dominant hemisphere to the subdominant hemisphere. In contrast, in extreme forms of autonomic support (types IV and II), hypertrophied and reduced responses were observed, with no change in the interhemispheric gradient when recording the maximum level of neuronal metabolism in the occipital region. Physiological

(types III and I) autonomic regulation of heart rate proved to be the most resistant to cerebral hypoxia caused by submaximal exercise.

Keywords: neuronal metabolism, level of constant potentials, anaerobic performance, submaximal power, type of autonomic regulation, football players

Funding statement: no funding was received for writing this manuscript.

Введение

Анализ уровня постоянных потенциалов (УПП) головного мозга отражает особенности общего (монополярного) и локального (местного) энергетических затрат, необходимых для оценки функционального состояния корковых нейронов, регулирующих генерацию импульсной активности в норме и в условиях гипоксии [7; 11]. Применение данной технологии в спорте чрезвычайно практично, поскольку оперативно позволяет тренеру контролировать выполнение произвольных движений с позиций качественной медико-биологической диагностики для прогнозирования достижения оптимального результата [2; 10]. С другой стороны, баланс симпатического и парасимпатического отдела вегетативной нервной системы определяет тип ее регуляции, который напрямую воздействует на степень переносимости адаптивных реакций организма атлетов при избранных нагрузках, приближая полученные данные к индивидуальному анализу [6; 12]. Более того, учет этих функциональных параметров позволяет оценить предстартовую готовность спортсменов к тренировочной и соревновательной деятельности.

Цель нашей работы заключалась в исследовании нейронального метаболизма головного мозга футболистов с разными типами вегетативной регуляции сердечного ритма в процессе тестирования субмаксимальной мощности.

Задачи исследования:

- 1) сравнить анаэробную работоспособность квалифицированных спортсменов с учетом выделенных функциональных групп по данным велоэргометрического тестирования в начале и конце тренировочного мезоцикла;
- 2) оценить динамику нейронального метаболизма атлетов после стандартной нагрузки при регистрации монополярно зарегистрированных значений уровня постоянных потенциалов мозга и функциональной межполушарной асимметрии в начале эксперимента;
- 3) изучить влияние тренировочного процесса на параметры анаэробной работоспособности и особенности энергетического обмена головного мозга спортсменов на основе дифференцированного подхода;
- 4) выявить локальные изменения омега-потенциала у футболистов с различными особенностями вегетативной регуляции сердечного ритма с целью исключения влияния референтного электрода на области мозга, связанные с гипоксией в процессе субмаксимального тестирования.

Материалы и методы исследования

В исследовании приняли участие 24 кандидата в мастера спорта мужского пола в возрасте 18–25 лет сборной по футболу Смоленского государственного университета спорта на подготовительном этапе — победителя кубка Союза федераций футбола «Центр», 2025 г. К правшам относили субъектов, которые считали себя праворукими и имели выраженную правостороннюю организацию двигательных функций рук.

Оценка активности различных структур головного мозга проводилась с помощью 5-канального комплекса для топографического картирования электрической активности мозга «Нейро-КМ», фирмы «Статокин» (Москва, Россия) по стандартной схеме [1; 17]. Регистрация показателей энергетического метаболизма осуществлялась монополярно в нижнелобном (F_z , mV), теменном или центральном (C_z , mV), затылочном (O_z , mV), правом и левом височном (T_d , mV , T_s , mV) отведении. Также учитывался усредненный УПП ($\{УПП\}$) в пяти областях, отражающий разность потенциалов головы и руки. Локальные значения омега-потенциала в тех же стандартных отведениях ($F\#$, $C\#$, $O\#$, $T_d\#$, $T_s\#$) в норме отражают интенсивность энергетических процессов в различных областях головы относительно среднего уровня церебрального энергообмена. В работе учитывался межполушарный градиент $T_d - T_s$ (разность потенциалов между правым и левым височными зонами). Регистрация УПП осуществлялась в состоянии покоя и после субмаксимальной нагрузки также в течение 5 минут. Оценка нейронального метаболизма проводилась в соответствии с общепринятыми диапазонами омега-потенциала по В. Ф. Фокину [8].

С целью качественной диагностики функционального состояния участников исследования разделили на типы вариабельности сердечного ритма (BCP) по технологии Н. И. Шлык [18].

Для оценки уровня физической нагрузки (ФН) у футболистов применялся механический велоэргометр Ergomedic 894E Peak Bike фирмы Monark (Швеция) с установленным [9] оптическим датчиком частоты вращения педалей, аналогово-цифровым преобразователем и ноутбуком. После разминки участники эксперимента выполняли: субмаксимальный тест (3 мин.) с 3-процентным внешним отягощением от массы тела в динамике тренировочного мезоцикла. Учитывались: объем работы (A); максимальная (N_{max}), относительная (Not) мощность; коэффициент выносливости (KB); количество оборотов за время теста. Статистическая обработка материала была проведена с помощью пакета программы IBM SPSS Statistics 19. Для количественных показателей проводился расчет средних арифметических (M) и стандартных отклонений (SD).

Результаты исследования

В начале исследования была проанализирована сравнительная характеристика субмаксимальной мощности футболистов. Анализ данных (табл. 1) выявил, что в начале тренировочного мезоцикла у атлетов обнаружено наличие двух типов вегетативной регуляции с умеренным доминированием автономного (парасимпатического, III) и центрального (симпатического, I) ее контуров.

Таблица 1

Оценка субмаксимальной мощности квалифицированных футболистов с различными особенностями вегетативной регуляции сердечного ритма в динамике тренировочного мезоцикла, $M \pm SD$

Нагрузка / ВСР	A , Дж	$N_{\max}$, Вт	Not , Вт/кг	KB , усл. ед.	Обороты, раз.
В начале тренировочного мезоцикла					
I тип, $n = 11$	$65\,050 \pm 191,4$	$364,7 \pm 10,5$	$4,72 \pm 0,10$	$0,941 \pm 0,015$	$423,8 \pm 3,7$
III тип, $n = 13$	$67\,725 \pm 184,3^*$	$385,1 \pm 12,4$	$5,09 \pm 0,08$	$0,957 \pm 0,012$	$446,4 \pm 3,1^*$
В конце тренировочного мезоцикла					
I тип, $n = 5$	$67\,251 \pm 193,2$	$397,6 \pm 11,3$	$5,09 \pm 0,07$	$0,945 \pm 0,010$	$441,7 \pm 2,8$
III тип, $n = 6$	$71\,584 \pm 197,1^{***}$	$465,3 \pm 12,7^*$	$6,09 \pm 0,12^{**}$	$0,975 \pm 0,012^*$	$465,6 \pm 3,5^{**}$
II тип, $n = 6$	$65\,492 \pm 176,3$	$365,2 \pm 8,7$	$4,64 \pm 0,15$	$0,925 \pm 0,014$	$432,7 \pm 2,3$
IV тип, $n = 7$	$70\,183 \pm 184,2^{***}$	$421,4 \pm 10,2^*$	$5,58 \pm 0,07^{**}$	$0,970 \pm 0,012^{***}$	$460,4 \pm 2,7^{**}$

Примечание: достоверные отличия от соответствующего межтипового показателя до и после физической нагрузки при * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

У футболистов с III типом параметры объема выполненной работы были выше на 4,1 % ($p < 0,05$), что отразилось в повышении количества произведенных полных оборотов за время теста на 5,3 % ($p < 0,05$) по сравнению с атлетами I группы.

В конце тренировочного цикла были обнаружены представители всех четырех типов вегетативной регуляции, в том числе с крайними формами их адаптационных проявлений. Следует отметить, что наибольший относительный прирост в тесте был показан спортсменами с умеренным доминированием автономного звена регуляции (III тип), а наименьшие параметры субмаксимальной мощности отмечены у представителей с выраженным преобладанием центрального механизма управления ритмом сердца (II тип).

В дальнейшем были проанализированы сдвиги нейронального метаболизма головного мозга футболистов в процессе эксперимента с учетом выделенных групп. Анализ данных показал (табл. 2), что в состоянии относительного покоя значения омега-потенциала у спортсменов с умеренным доминированием автономного звена регуляции (III тип) соответствовали критерию нормы [13; 14]. Распределение индикаторов имело куполообразную форму с максимальным УПП в области вертекса (макушки, Cz – $12,5 \pm 1,7$ mV). Величина омега-потенциала закономерно снижалась к нижнелобному (Fz – $11,6 \pm 2,1$ mV) и левому височным отделам (Ts – $10,9 \pm 1,3$ mV) головного мозга.

Таблица 2

Динамика монополярно зарегистрированных значений УПП и функциональной межполушарной асимметрии футболистов с различными особенностями вегетативной регуляции сердечного ритма, $M \pm SD$

ВСП / УПП	Fz, mV	Cz, mV	Oz, mV	Td, mV	Ts, mV	Td – Ts
В начале тренировочного мезоцикла						
III тип	$11,6 \pm 2,1$	$12,5 \pm 1,7$	$7,8 \pm 1,4$	$8,5 \pm 1,5$	$10,9 \pm 1,3$	$-2,4 \pm 0,5$
III тип, ФН	$8,5 \pm 1,4^*$	$8,3 \pm 1,2^{**}$	$10,5 \pm 1,4^{**}$	$9,2 \pm 1,1$	$14,3 \pm 1,6^{***}$	$-5,1 \pm 0,7^{***}$
<i>p</i>	$< 0,05$	$< 0,01$	$< 0,01$	$> 0,05$	$< 0,01$	$< 0,001$
I тип	$14,7 \pm 2,3$	$15,1 \pm 2,1$	$10,2 \pm 1,8$	$13,8 \pm 1,4$	$11,5 \pm 1,7$	$2,3 \pm 0,2$
I тип, ФН	$21,5 \pm 2,7^{***}$	$20,9 \pm 2,3^{**}$	$13,7 \pm 1,9^*$	$18,9 \pm 1,8^{**}$	$14,6 \pm 1,5^*$	$4,3 \pm 0,4^{**}$
В конце тренировочного мезоцикла						
III тип	$17,2 \pm 2,5$	$19,4 \pm 2,7$	$18,9 \pm 1,8$	$15,1 \pm 1,6$	$17,7 \pm 1,5$	$-2,6 \pm 0,2$
III тип, ФН	$24,3 \pm 1,6^{**}$	$27,8 \pm 1,7^{**}$	$26,1 \pm 2,4^{**}$	$25,3 \pm 2,2^{***}$	$22,5 \pm 2,3^{**}$	$2,8 \pm 0,4^{***}$
I тип	$24,8 \pm 2,5$	$25,6 \pm 2,3$	$24,1 \pm 2,1$	$20,5 \pm 1,7$	$23,7 \pm 1,9$	$-3,2 \pm 0,2$
I тип, ФН	$35,1 \pm 2,7^{**}$	$37,7 \pm 2,1^{***}$	$33,6 \pm 2,5^{**}$	$32,7 \pm 2,6^{***}$	$28,3 \pm 1,9^*$	$4,4 \pm 0,3^{***}$
II тип	$31,5 \pm 2,8$	$41,7 \pm 2,6$	$39,8 \pm 2,3$	$33,5 \pm 2,4$	$36,2 \pm 2,5$	$-2,7 \pm 0,2$
II тип, ФН	$22,5 \pm 2,1^*$	$20,2 \pm 1,8^{***}$	$26,3 \pm 2,2^*$	$22,6 \pm 1,7^*$	$28,4 \pm 2,3^*$	$-5,8 \pm 0,5^*$
IV тип	$32,8 \pm 2,4$	$33,5 \pm 2,2$	$35,6 \pm 2,1$	$27,1 \pm 2,3$	$30,5 \pm 2,6$	$-3,4 \pm 0,3$
IV тип, ФН	$47,3 \pm 2,8^{***}$	$46,4 \pm 2,6^{**}$	$50,1 \pm 2,5^{**}$	$32,8 \pm 2,7^*$	$40,3 \pm 2,4^*$	$-7,5 \pm 0,4^*$

Примечание: достоверные отличия от соответствующего внутритипового показателя до и после физической нагрузки (ФН) при * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Было выявлено наличие межполушарной разницы ($T_d - T_s = -2,4 \pm 0,5 \text{ mV}$) в уровне потенциала с более высоким значением УПП в левой височной области; это трактовалось как адаптивная реакция, связанная с аналитическими процессами, последовательной (сукцессионной) готовности к обработке вербальной информации перед предстоящим велоэргометрическим тестированием.

После выполнения стандартной пробы на оценку субмаксимальной мощности у представителей III типа обнаружено достоверное снижение омега-потенциала в нижней лобной и центральной областях на 26,7 % ($p < 0,05$) и 33,6 % ($p < 0,01$); при существенном повышении УПП в затылочном — на 34,6 % ($p < 0,01$) и лево-височном отведениях — на 31,2 % ($p < 0,01$). Обнаруженные изменения свидетельствовали об усилении мозгового кровотока и, несмотря на повышение энергетического метаболизма в (Oz и Ts), pH сдвигалось в щелочную сторону в (Fz и Cz), что связывалось с активным вымыванием углекислоты в процессе тестирования. Под влиянием нагрузки также повысились динамические межполушарные различия в левом доминантном полушарии, о чем свидетельствовал отрицательный показатель ($T_d - T_s = -5,1 \pm 0,7 \text{ mV}$).

В качестве примера на рисунке 1 представлены картограммы распределения УПП после выполнения субмаксимального теста у футболистов в зависимости от типа ВСР в начале эксперимента.

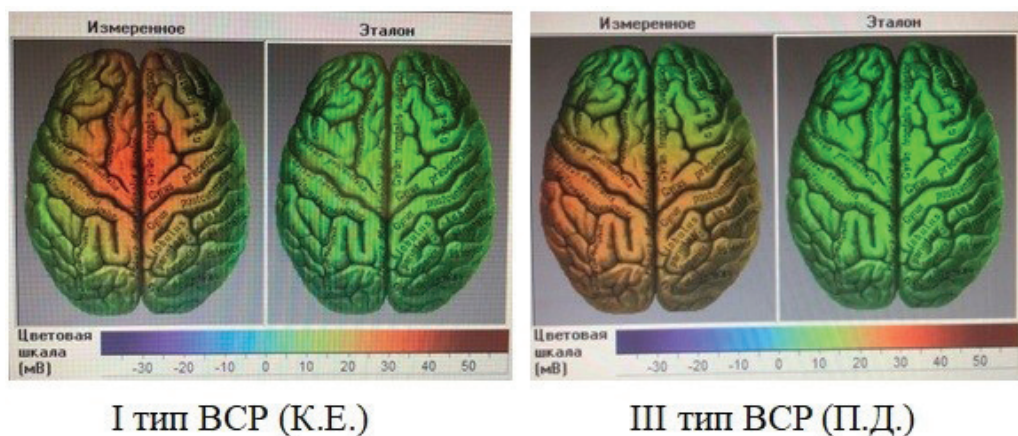


Рис. 1. Пример распределения картограмм уровня постоянного потенциала после выполнения субмаксимального теста у футболистов в зависимости от типа вегетативной регуляции сердечного ритма в начале тренировочного периода

Подобные сдвиги омега-потенциала у футболистов III типа в начале тренировочного мезоцикла отражали оптимальное функционирование нейронального метаболизма после выполнения работы субмаксимальной мощности.

В дальнейшем оценим динамику энергетического обмена головного мозга атлетов с I типом ВСР. Так, у представителей с умеренным доминированием центрального контура вегетативной регуляции сердечного ритма распределение УПП на фоновом уровне характеризовалось куполообразной формой

и наивысших значений оно достигало в Cz – $15,1 \pm 2,1$ mV, Fz – $14,7 \pm 2,3$ mV, Td – $13,8 \pm 1,4$ mV. Межполушарная разность потенциалов достоверно отличалась от нуля и соответствовала правополушарному доминированию $Td > Ts$ ($2,3 \pm 0,2$ mV), что согласуется с данными [3] о большей степени влияния правой височной доли с регуляцией симпатического отдела вегетативной нервной системы, через мобилизацию гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы. Обнаруженные изменения [5; 16] энергетического метаболизма у футболистов I типа в начале тренировочного мезоцикла отражали верхнюю границу нормы омега-потенциала в состоянии относительного покоя.

После выполнения физической нагрузки у них было выявлено существенное повышение УПП в нижней лобной (на 46,2 %, $p < 0,001$), центральной (на 38,4 %, $p < 0,01$) и правой (на 36,9 %, $p < 0,01$) височных областей. К тому же в этих отведениях головного мозга в абсолютных величинах увеличение омега-потенциала соответствовало критерию умеренного повышения. Сохранялось преобладание на 86,9 % ($p < 0,01$) интенсивности энергообмена в правом доминирующем полушарии, о чем свидетельствовал положительный показатель ($Td - Ts = 4,3 \pm 0,4$ mV). Выявленные изменения омега-потенциала у атлетов I типа в начале эксперимента после выполнения нагрузки субмаксимальной мощности были адекватными и соответствовали состоянию легкого стресса без резких сдвигов или длительной гиперактивации.

Далее выделим особенности энергетического обмена головного мозга у спортсменов в конце тренировочного мезоцикла.

Так, у спортсменов III типа ВСР наиболее высокий уровень нейронального метаболизма был зарегистрирован в центральной ($19,4 \pm 2,7$ mV), затылочной ($18,9 \pm 1,8$ mV) и левой височных областях ($17,7 \pm 1,5$ mV), в соответствии с принципом куполообразности распределения УПП, что отражало сбалансированное распределение энергозатрат в состоянии покоя [4; 15]. В то же время параметры омега-потенциала в этих зонах, включая также нижнюю лобную ($17,2 \pm 2,5$ mV), соответствовали оценке его умеренного повышения (от 16 до 39 mV) относительно абсолютных величин.

После выполнения субмаксимального теста в сагиттальных (медиальных) областях произошло достоверное повышение УПП в Fz на 41,2 % ($p < 0,01$), Cz — на 43,3 % ($p < 0,01$), Oz — на 38,1 % ($p < 0,05$). Активность нейронального метаболизма переместилась в субдоминантное правое полушарие ($Td - Ts = 2,8 \pm 0,4$ mV), что сопровождалось изменением центральной регуляции гомеостаза. Обнаруженное переключение было своеобразным отдыхом в деятельности доминантного полушария в условиях воздействия анаэробной нагрузки в качестве внешнего стрессорного фактора. Нарушения принципа куполообразности распределения УПП обнаружено не было, что указывало на баланс в энергетических затратах изученных зон коры головного мозга. Абсолютные значения омега-потенциала соответствовали оценке достижения средней границы умеренного повышения после тестирования.

У спортсменов же с преобладанием центрального контура регуляции сердечного ритма (I тип) наивысший уровень УПП был обнаружен в центральной ($25,6 \pm 2,3$ mV), лобной ($24,8 \pm 2,5$ mV) и затылочной ($24,1 \pm 2,1$ mV) областях. По мере удаления к периферии уровень потенциала снижался и составлял ($20,5 \pm 1,7$ mV) в правом и ($23,7 \pm 1,9$ mV) в левом височных отведениях. В состоянии покоя УПП был выше в левом полушарии, что отражал отрицательный знак их межполушарной разницы ($Td - Ts = -3,2 \pm 0,2$ mV).

После выполнения физической нагрузки у атлетов с I типом ВСР достоверно выросли значения омега-потенциала в Cz на 47,2 % ($p < 0,001$), Fz — на 41,5 % ($p < 0,01$), Oz — на 39,4 % ($p < 0,01$), что свидетельствовало о более выраженном закислении оттекающей от мозга крови, по сравнению с ацидозом периферических капилляров. В качестве адаптивной реакции произошла инверсия полушарного доминирования в правую сторону, о чем свидетельствовал положительный показатель $Td - Ts$ ($4,4 \pm 0,3$ mV). В то же время нарушения градиента УПП от центра к периферии не произошло и это считалось критерием сбалансированного нейронального метаболизма. Абсолютные значения омега-потенциала соответствовали оценке достижения верхней границы умеренного повышения в процессе выполнения физической нагрузки.

Далее отражена динамика УПП у атлетов с преобладанием выраженных форм вегетативного доминирования сердечным ритмом.

Так, у спортсменов II типа ВСР уже в фоновом распределении значения омега-потенциала в затылочной области ($39,8 \pm 2,3$ mV) были близки к центральным данным ($41,7 \pm 2,6$ mV) и достоверно на 26,3 % ($p < 0,05$) превышали его параметры в лобной области ($31,5 \pm 2,8$ mV). Подобная закономерность приводила к нарушению куполообразности, что может быть связано с особенностями адаптационных процессов и стрессовой реакцией их организма на влияние исключительно тренировочного процесса подготовки. Средние различия по межполушарной разности УПП достоверно отрицательно отличалась от нуля ($Td - Ts = -2,7 \pm 0,2$ mV) и свидетельствовали о доминировании левого полушария. Абсолютные значения омега-потенциала в центральной зоне составили $41,7 \pm 2,6$ mV, что трактовалось в качестве значительного его превышения относительно нормы.

В качестве примера на рисунке 2 представлены картограммы распределения УПП после выполнения субмаксимального теста у футболистов в зависимости от типа вегетативной регуляции сердечного ритма в конце тренировочного периода.

После выполнения анаэробного теста у спортсменов II типа ВСР принцип куполообразности нарушался как в сагиттальной, так и во фронтальной плоскости. Подобный эффект происходил за счет повышения энергетического метаболизма в затылочном ($26,3 \pm 2,2$ mV) и левом височных отведениях ($28,4 \pm 2,3$ mV), с левополушарным градиентом доминирования ($Td - Ts = -5,8 \pm 0,5$ mV). Такой дисбаланс нейронального метаболизма может быть связан с напряженной

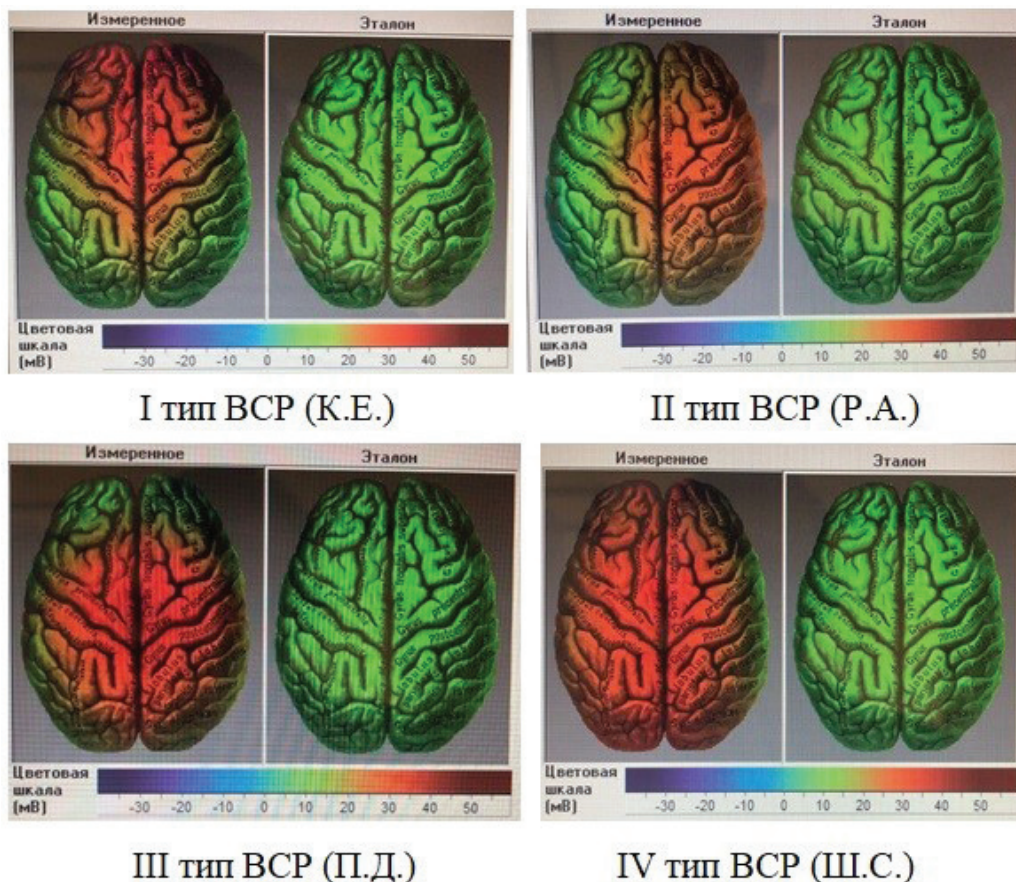


Рис. 2. Пример распределения картограмм уровня постоянного потенциала после выполнения субмаксимального теста у футболистов в зависимости от типа вегетативной регуляции сердечного ритма в конце тренировочного периода

адаптацией к сочетанному воздействию тренировочного процесса и дополнительного велоэргометрического тестирования, что ограничивало перераспределение энергетических ресурсов.

При сравнении дельт УПП до и после нагрузки выявлено достоверное их снижение во всех отведениях, максимальные сдвиги уменьшения омега-потенциала были зарегистрированы в центральной области на 51,5 % ($p < 0,001$). Таким образом, предъявленное атлетам субмаксимальное тестирование значительно превышало адаптационные возможности их организма, что отразилось в снижении энергетического метаболизма корковых нейронов и было характерно для последней стадии стресса — истощения (переутомления).

В продолжение отразим сдвиги омега-потенциала в динамике тренировочного процесса и избранной нагрузки у представителей с выраженным доминированием автономного звена регуляции сердечного ритма.

У спортсменов с IV типом ВСР также было выявлено нарушение куполообразного распределения энергозатрат в состоянии покоя по окончании

процесса профессиональной подготовки. Наибольшие параметры УПП зафиксированы в затылочной зоне ($35,6 \pm 2,1$ mV), а статистические различия между ней и центральными (Cz и Fz) отделами мозга были тенденционными ($p > 0,05$). Подобный сдвиг омега-потенциала к задней части головы мог быть обусловлен мобилизацией функциональной активности в неспецифических ретикуло-лимбико-кортикальных системах, от регуляции которых напрямую зависит интенсивность церебральных энергетических процессов в целом. Также было установлено достоверное усиление активности левого полушария по сравнению с правым, о чем свидетельствовала отрицательная дельта межполушарных различий УПП височных областей ($T_d - T_s = -3,4 \pm 0,3$ mV). Абсолютные значения омега-потенциала соответствовали среднему уровню его умеренного повышения.

После выполнения субмаксимального теста у футболистов с IV типом ВСР значительно повысился УПП в лобной (на 44,2 %, $p < 0,001$), затылочной (на 40,7 %, $p < 0,01$) и центральной (на 38,5 %, $p < 0,01$) области, что связывалось с активацией двигательных сенсорных зон. Наивысшие значения омега-потенциала были обнаружены в затылочном отведении ($50,1 \pm 2,5$ mV), что напрямую отражало нарушение принципа куполообразности его нормального распределения. За исключением УПП в правой височной области, все остальные обследованные зоны нейронального метаболизма соответствовали критерию значительного их увеличения на фоне окончания тренировочного процесса. Обнаруженные положительные сдвиги, по сравнению с их исходными данными, свидетельствовали о гиперреакции организма атлетов с IV типом ВСР, они привели к генерализованным изменениям в головном мозге, что отражало избыточную мобилизацию энергетических ресурсов на стандартную нагрузку.

Более того, достоверного переключения активности с ведущего (левого) полушария на субдоминантное (правое) в процессе тестирования обнаружено не было ($T_d - T_s = -7,5 \pm 0,4$ mV). Обнаруженная взаимосвязь отражала дисбаланс в работе функциональных систем, обеспечивающих произвольную регуляцию. В таких случаях субдоминантная гемисфера не включается в работу на адекватном внешней работе уровне, что снижает адаптивные возможности головного мозга, ведет к истощению ведущего полушария и нарушению механизмов их переключения в процессе спортивной подготовки.

С целью исключения влияния референтного электрода на воздействие физической нагрузки оценивались также локальные особенности энергообмена в мозге.

Анализ данных (см. табл. 3) показал, что у спортсменов с умеренным доминированием автономного контура регуляции (III тип ВСР) в начале эксперимента после анаэробной пробы происходило достоверное уменьшение омега-потенциала в нижней лобной, центральной и затылочной областях в 1,3–2,3 раза ($p < 0,001$), а также в правой височной зоне на 45,4 % ($p < 0,05$). Выявленная закономерность была обусловлена снижением метаболической активности

нервной ткани в связи с компенсаторным нарастанием мозгового кровотока, опережающим накопление лактата и других кислых продуктов обмена веществ в процессе тестирования. В то же время в левой височной области происходило выраженное повышение нейронального метаболизма в 5,4 раза по сравнению с уровнем покоя, что указывало на избирательное снижение рН в этом отделе мозга. Параметры усредненного УПП имели тенденцию к уменьшению ($p > 0,05$), что свидетельствовало о наличии слабого или умеренного стресса.

Противоположная закономерность была установлена у атлетов с умеренным преобладанием центрального механизма вегетативной регуляции сердечного ритма с увеличением УПП в большинстве изученных параметров от 46,1 (С#, $p < 0,01$) до 118,2 % (F#, $p < 0,001$). Было установлено, что лобная область у спортсменов I типа ВСР в большей мере, чем другие, была восприимчива к стрессу в виде физической нагрузки на велоэргометре, вызванном смещением кислотно-щелочного равновесия крови в кислую сторону. В правой височной зоне, не доминантной у правшей, регулирующей в организме обработку невербальной информации, обнаружено лишь тенденциозное повышение омега-потенциала ($p > 0,05$), что отражало меньшую ее вовлеченность в процессы, напрямую зависящие от физической активности. Увеличение усредненного {УПП} составило 37,2 % ($p < 0,01$), что обеспечивало усиленное поступление кислорода и питательных веществ к нейронам в процессе тестирования.

Таблица 3

Динамика локальных потенциалов в пяти стандартных отведениях к усредненному УПП у футболистов с различными особенностями вегетативной регуляции сердечного ритма, $M \pm SD$

ВСР / УПП	{УПП}	F#	C#	O#	Td#	Ts#
В начале тренировочного мезоцикла						
III тип	10,26 ± 0,24	1,34 ± 0,14	2,24 ± 0,20	-2,46 ± 0,23	-1,76 ± 0,03	0,64 ± 0,11
III тип, ФН	10,16 ± 0,21	-1,66 ± 0,17***	-1,86 ± 0,06***	0,34 ± 0,15***	-0,96 ± 0,12*	4,14 ± 0,04***
I тип	13,06 ± 0,25	1,64 ± 0,14	2,04 ± 0,08	-2,86 ± 0,15	0,74 ± 0,02	-1,56 ± 0,07
I тип, ФН	17,92 ± 0,35**	3,58 ± 0,32***	2,98 ± 0,12**	-4,22 ± 0,18**	0,98 ± 0,04	-3,32 ± 0,11***
В конце тренировочного мезоцикла						
III тип	17,66 ± 1,25	-0,46 ± 0,12	1,74 ± 0,18	1,24 ± 0,11	-2,56 ± 0,25	0,04 ± 0,02
III тип, ФН	25,2 ± 1,43**	-0,9 ± 0,15***	2,6 ± 0,07**	0,9 ± 0,23*	0,1 ± 0,10***	-2,7 ± 0,15***
I тип	23,74 ± 1,32	1,06 ± 0,04	1,86 ± 0,17	0,36 ± 0,12	-3,24 ± 0,31	-0,04 ± 0,02

ВСР / УПП	{УПП}	F#	C#	O#	Td#	Ts#
I тип, ФН	33,48 ± 1,51**	1,62 ± 0,25**	4,22 ± 0,14***	0,12 ± 0,17**	-0,78 ± 0,12**	-5,18 ± 0,21***
II тип	36,54 ± 1,62	-5,04 ± 0,14	5,16 ± 0,07	3,26 ± 0,12	-3,04 ± 0,17	-0,34 ± 0,15
II тип, ФН	24 ± 1,12*	-1,5 ± 0,11**	-3,8 ± 0,15***	2,3 ± 0,16*	-1,4 ± 0,23**	4,4 ± 0,34***
IV тип	31,9 ± 1,45	0,9 ± 0,22	1,6 ± 0,08	3,7 ± 0,05	-4,8 ± 0,32	-1,4 ± 0,04
IV тип, ФН	43,38 ± 1,72*	3,92 ± 0,35***	3,02 ± 0,27***	6,72 ± 0,17**	-10,58 ± 0,53***	-3,08 ± 0,11***

Примечание: достоверные отличия от соответствующего показателя до и после физической нагрузки (ФН) при * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

В завершение отразим динамику локальных потенциалов у футболистов с различными особенностями вегетативной регуляции сердечного ритма в конце тренировочного мезоцикла на стандартную нагрузку.

У атлетов III типа ВСР произошло достоверное усиление местного энергообмена в лобной (на 95,6 %, $p < 0,001$) и центральной (на 49,4 %, $p < 0,01$) зонах, что обеспечило повышение {УПП} на 42,6 % ($p < 0,01$). В правой височной области было зарегистрировано увеличение локального потенциала на 103,9 % ($p < 0,001$), а в левом отведении — снижение в 6,8 раза ($p < 0,001$), что способствовало смене знака межполушарной разницы в сторону субдоминантного соподчинения, снижало риск переутомления нейронных сетей, позволяло мозгу экономить энергетические ресурсы и адекватно реагировать на новые внешние условия деятельности. Подтверждением этого заключения послужило тенденциозное уменьшение ($p > 0,05$) локального потенциала в затылочной области, обусловленное снижением зрительной активности в условиях ограниченного визуального контакта (экспериментатор — обследованный) в процессе тестирования.

У спортсменов I типа ВСР на фоне интенсивной для их организма нагрузки произошло максимальное увеличение локального потенциала в центральной области на 126,8 % ($p < 0,001$) и в нижней лобной зоне на 52,8 % ($p < 0,01$). Параметры усредненного {УПП} по отношению к фону существенно выросли — на 41,1 % ($p < 0,01$). Значения локального потенциала выраженно снижались в затылочном (на 66,7 %, $p < 0,01$), правом (на 75,9 %, $p < 0,01$) и левом (в 12,8 раз, $p < 0,001$) височных отведениях, что свидетельствовало о напряжении адаптационных механизмов, направленных на поддержание гомеостаза в силу временного снижения активности этих мозговых структур для сохранения энергетических ресурсов.

У атлетов II типа ВСР после субмаксимального теста отмечалось достоверное снижение местного УПП в большинстве зон регистрации от 29,4 ($p < 0,05$) в затылочной до 173,6 % ($p < 0,001$) в центральной области.

Причем максимально было вовлечено в работу доминантное полушарие с ростом $Ts\#$ в 13,9 раза ($p < 0,001$). Подобное состояние было обусловлено чрезмерной активацией нейронов ведущей гемисферы, их функциональным истощением, поскольку интенсивная активность требует значительных энергетических затрат, а механизмы восстановления не успевали компенсировать потери.

У спортсменов с IV типом вегетативной регуляции сердечного ритма после стандартного теста уровень локального потенциала существенно возрастал в затылочной (на 81,6 %, $p < 0,01$), центральной (на 88,7 %, $p < 0,01$) и нижней лобной области в 3,4 % раза ($p < 0,001$). При этом височные доли ($Td\#$, $Ts\#$) испытывали гиперстимуляцию, что приводило к их функциональному истощению на 120,4 % ($p < 0,001$) от исходного уровня, что уменьшало поступление кислорода и питательных веществ к нейронам, снижая их биоэлектрическую активность.

Заключение

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. В начале эксперимента у футболистов было обнаружено наличие двух типов вегетативной регуляции с умеренным доминированием автономного (III тип) и центрального (I тип) ее контуров. Результаты в анаэробной работоспособности у спортсменов III группы были наивысшими. В конце тренировочного цикла были выявлены представители всех четырех типов вегетативной регуляции, в том числе с крайними формами их адаптационных проявлений. Наибольший относительный прирост в тесте был показан у спортсменов с умеренным доминированием автономного звена регуляции (III тип), а наименьшие параметры субмаксимальной мощности отмечены у представителей с выраженным преобладанием центрального механизма управления ритмом сердца (II тип).

2. Регистрация монополярно зарегистрированных значений уровня постоянных потенциалов мозга показала, что в начале тренировочного цикла стандартная нагрузка у футболистов третьей группы не превышала адаптационные возможности их организма, происходила без изменения динамических характеристик межполушарной асимметрии, что считалось признаком нейрофизиологической стабильности церебрального метаболизма. У спортсменов же I группы было обнаружено наличие легкого стресса при верхней границе нормы омега-потенциала.

3. Влияние тренировочного процесса отразилось в повышении субмаксимальной мощности у представителей всех групп обследованных, но с разным уровнем ее относительного прироста и вкладом нейронального метаболизма в изученных отделах головного мозга. Так, у представителей с умеренным доминированием автономного контура регуляции (III тип) наибольшие

значения анаэробной работоспособности не привели к нарушению принципа куполообразности распределения УПП, при повышении его энергетического обмена в наибольшей степени в нижней лобной области. У атлетов же IV группы наивысшие значения омега-потенциала были обнаружены в затылочном отведении, что напрямую отражало нарушение принципа куполообразности, его нормального распределения и межполушарного градиента и свидетельствовало о гиперреакции организма на стандартное тестирование. У спортсменов с преобладанием центрального звена регуляции (I тип) средние дельты прироста субмаксимальной мощности сопровождалась ростом ацидоза преимущественно в центральном отведении, с инверсией полушарного доминирования в правую сторону. У футболистов же II группы наименьшие сдвиги в анаэробной работоспособности были обусловлены нарушением принципа куполообразности как в сагиттальной, так и во фронтальной плоскости, достоверным снижением УПП во всех монополярных отведениях, что характеризовалось переутомлением их организма.

4. Сравнение локальных потенциалов в разных отведениях с усредненным УПП позволило точно идентифицировать области мозга, связанные с гипоксией в процессе субмаксимального тестирования в зависимости от доминирующего типа вегетативной регуляции без привязки к удаленному референтному электроду. Было установлено, что в процессе эксперимента наиболее чувствительными к повышению омега-потенциала в III группе были локальные изменения в центральной и затылочной областях, в I — в центральной и нижней лобных зонах, во II — в затылочном и левом височных отведениях. В IV типе регуляции было выявлено генерализованное усиление энергетического метаболизма в большинстве точек регистрации уровня постоянного потенциала за исключением латеральных (височных) структур мозга.

Направленность сдвигов уровня постоянных потенциалов головного мозга у футболистов на стандартную нагрузку лимитировалось в значительной степени его исходными значениями и этапом тренировочного периода. Только в последних (II и IV) типах вегетативной регуляции сердечного ритма в конце эксперимента параметры энергетического обмена у атлетов соответствовали критерию значительного повышения от нормы, что требует оперативного контроля их текущего состояния даже в микроциклах специализированной подготовки. Включение протоколов нейроэнергокартирования в практику медико-биологического сопровождения спорта — ключ к объективной оценке функционального состояния головного мозга, адаптационных резервов и эффективности тренировочного процесса.

Список источников

1. Адаптационная реактивность метаболизма мозга как универсальный патогенетический фактор развития болезни и реабилитационных возможностей организма / В. И. Шмырев, Л. П. Соколова, И. В. Князева и др. // Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2013. № 3. С. 53–56. EDN: RWUGOF.

2. Анализ распределения уровня постоянного потенциала головного мозга в оценке функционального состояния организма (обзор) / И. С. Депутат, А. Н. Нехорошкова, А. В. Грибанов и др. // Экология человека. 2015. № 10. С. 27–36. EDN: UMDFGN.
3. Басанцова Н. Ю., Тибеккина Л. М., Шишкин А. Н. Роль вегетативной нервной системы в развитии цереброкардиальных нарушений // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. 2017. Т. 117. № 11. С. 153–160. <https://doi.org/10.17116/jnevro2017117111153-160>. EDN: ZXGAPZ.
4. Боровова А. И., Фокин В. Ф. Особенности двухфакторной модели Г. Айзенка у подростков разного темперамента и фоновое уровня постоянных потенциалов головного мозга // Асимметрия. 2021. Т. 15, № 4. С. 27–37. <https://doi.org/10.25692/ASY.2021.15.4.003>. EDN: FBKKIZ.
5. Влияние генетических факторов на нейрофизиологические механизмы нейродегенеративных заболеваний / Н. В. Пономарева, В. Ф. Фокин, Е. И. Рогаев, С. Н. Иллариошкин // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. 2018. Т. 12. (Специальный выпуск). С. 46–54. <https://doi.org/10.25692/ACEN.2018.5.6>. EDN: EMWGYW.
6. Кузнецов В. Д., Аржаков В. В., Черный В. С. Оценка профессиональной работоспособности военнослужащих Воздушно-десантных войск при выполнении специальных задач в суточном наряде на основе анализа вариабельности ритма сердца // Вестник МГПУ. Серия: Естественные науки. 2023. № 3 (51). С. 79–89. <https://doi.org/10.25688/2076-9091.2023.51.3.06>. EDN: GSXPQC.
7. Налетов А. А., Селиверстова В. В., Петров А. Б. Изменения активности коры головного мозга и максимальной силы мышц кисти после произвольной гипервентиляции // Вестник МГПУ. Серия: Естественные науки. 2024. № 3 (55). С. 53–61. <https://doi.org/10.25688/2076-9091.2024.55.3.04>. EDN: NCRNBV.
8. Нейровизуализационный подход для выявления биомаркеров рабочей памяти у больных с хронической ишемией мозга / В. Ф. Фокин, Н. В. Пономарева, Р. Н. Коновалов и др. // Вестник Российского государственного медицинского университета. 2024. № 5. С. 65–72. <https://doi.org/10.24075/vrgmu.2024.039>. EDN: XUNGRQ.
9. Показатели вариабельности сердечного ритма у профессиональных футболистов при различных режимах анаэробного тестирования в динамике подготовительного периода / П. А. Терехов, Т. М. Брук, Е. А. Киндюхин, О. С. Глазачев // Спортивная медицина: наука и практика. 2024. Т. 14. № 2. С. 5–15. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.7>. EDN: LNAMHP.
10. Прадхан П., Шуненков Д. А., Воронцова В. С. Оценка функционального состояния головного мозга методом нейроэнергокартирования как способ оптимизации реабилитационных мероприятий: опыт применения // Медико-социальная экспертиза и реабилитация. 2021. Т. 24. № 1. С. 13–21. <https://doi.org/10.17816/MSER63542>. EDN: JKBVCY.
11. Сравнительная характеристика влияния упражнений различных видов спорта на центральную нервную систему студентов / М. А. Овсянникова, Е. Е. Биндусов, Е. А. Янкина и др. // Человек. Спорт. Медицина. 2024. Т. 24. № 1. С. 42–48. <https://doi.org/10.14529/hsm240105>. EDN: EVHKRW.
12. Степура Е. Е. Оценка функциональных резервов студентов с разным вегетативным статусом // Вестник МГПУ. Серия: Естественные науки. 2022. № 4 (48). С. 77–86. <https://doi.org/10.25688/2076-9091.2022.48.4.7>. EDN: TJQDXS.

13. Терехов П. А., Терехова А. А., Сафронов С. С. Оценка энергетического метаболизма головного мозга спортсменов различных специализаций // Ценности, традиции и новации современного спорта: материалы II Международного научного конгресса. В 3-х ч. Ч. 1. Минск: Белорусский государственный университет физической культуры. 2022. С. 361–366. EDN: IWVQQS.
14. Терехов П. А., Киндюхин Е. А. Сдвиги нейронального метаболизма клеток головного мозга у спортсменов на активный ортостаз // Сборник научных трудов молодых ученых университета: Сборник статей. Смоленск: Смоленский государственный университет спорта. 2025. С. 163–166. EDN: EGVARE.
15. Фокин В. Ф., Пономарева Н. В. Асимметрия нейросетей покоя по данным фМРТ // Асимметрия. 2023. Т. 17. № 3. С. 53–58. <https://doi.org/10.25692/ASY.2023.17.3.003>. EDN: AQTRRJ.
16. Фрай А. В., Воронцова В. С., Пичугина И. М. Использование нейроэнергокартирования для построения персонализированного подхода к когнитивной реабилитации пациентов с сосудистыми поражениями головного мозга // Медико-социальная экспертиза и реабилитация. 2020. Т. 23. № 1. С. 5–8. <https://doi.org/10.17816/MSER34232>. EDN: EQXWSI.
17. Шевченко О. И., Лахман О. Л. Состояние церебрального энергетического обмена медицинских работников по данным нейроэнергокартирования // Гигиена и санитария. 2024. Т. 103. № 8. С. 846–850. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-8-846-850>. EDN: UXQPAZ.
18. Шлык Н. И. Нормативы вариационного размаха кардиоинтервалов в покое и ортостазе при разных типах регуляции у лыжников-гонщиков в тренировочном процессе // Теория и практика физической культуры. 2021. № 12. С. 12–15. EDN: OLUUYO.

References

1. Shmyrev V. I., Sokolova L. P., Knyazeva I. V., Avetisova K. N., Evtushenko P. P., Obmanov V. V. Adaptive reactivity of brain metabolism as a universal pathogenetic factor in disease development and the body's rehabilitation capabilities. *Kremlin Medicine. Clinical Bulletin*. 2013;3:53–56. EDN: RWUGOF. (In Russ.).
2. Deputat I. S., Nekhoroshkova A. N., Gribov A. V., Bol'shevidceva I. L., Starceva L. F. Analysis of the distribution of the level of constant potential of the brain in assessing the functional state of the organism (review). *Human Ecology*. 2015;10:27–36. EDN: UMDFGN. (In Russ.).
3. Basancova N. Yu., Tibekina L. M., Shishkin A. N. The role of the autonomic nervous system in the development of cerebrocardial disorders. *S. S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2017;117(11):153–160. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/jnevro2017117111153-160>. EDN: ZXGAPZ.
4. Boravova A. I., Fokin V. F. Features of G. Eysenck's two-factor model in adolescents with different temperaments and background levels of constant brain potentials. *Asymmetry*. 2021;15(4):27–37. (In Russ.). <https://doi.org/10.25692/ASY.2021.15.4.003>. EDN: FBKKIZ.
5. Ponomareva N. V., Fokin V. F., Rogaev E. I., Illarioshkin S. N. The influence of genetic factors on the neurophysiological mechanisms of neurodegenerative diseases. *Annals of Clinical and Experimental Neurology*. 2018;12(S):46–54. (In Russ.). <https://doi.org/10.25692/ACEN.2018.5.6>. EDN: EMWGYW.

6. Kuznecov V. D., Arzhakov V. V., Chernyj V. S. Assessing the professional performance of Airborne Forces personnel performing special tasks on daily duty based on heart rate variability analysis. *Bulletin of Moscow State Pedagogical Univ. Series: Natural Sciences*. 2023;3(51):79–89. (In Russ.). <https://doi.org/10.25688/2076-9091.2023.51.3.06>. EDN: GSXPQC.
7. Naletov A. A., Seliverstova V. V., Petrov A. B. Changes in cerebral cortex activity and maximum hand muscle strength after voluntary hyperventilation. *Bulletin of Moscow State Pedagogical Univ. Series: Natural Sciences*. 2024;3(55):53–61. (In Russ.). <https://doi.org/10.25688/2076-9091.2024.55.3.04>. EDN: NCRNBV.
8. Fokin V. F., Ponomareva N. V., Konovalov R. N., Medvedev R. B., Boravova A. I., Lagoda O. V., Krotenkova M. V., Tanashyan M. M. A neuroimaging approach to identifying working memory biomarkers in patients with chronic cerebral ischemia. *Bulletin of the Russian State Medical University*. 2024;5:65–72. (In Russ.). <https://doi.org/10.24075/vrgmu.2024.039>. EDN: XUNGRQ.
9. Terekhov P. A., Bruk T. M., Kindyuhin E. A., Glazachev O. S. Heart rate variability indicators in professional football players during different anaerobic testing regimens during the preparatory period. *Sports Medicine: Science and Practice*. 2024;14(2):5–15. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.7>. EDN: LNAMHP.
10. Pradhan P., Shunenkov D. A., Voroncova V. S. Assessing the functional state of the brain using neuroenergy mapping as a method for optimizing rehabilitation measures: application experience. *Medical and Social Expertise and Rehabilitation*. 2021;24(1):13–21. (In Russ.). <https://doi.org/10.17816/MSER63542>. EDN: JKBBCY.
11. Ovsyannikova M. A., Bindusov E. E., Yankina E. A., Gorskaya I. Yu., Zvereva Z. F. Comparative analysis of the effects of various sports on the central nervous system of students. *Human. Sports. Medicine*. 2024; 24(1):42–48. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/hsm240105>. EDN: EVHKRW.
12. Stepura E. E. Evaluation of functional reserves of students with different vegetative status. *Bulletin of Moscow State Pedagogical Univ. Series: Natural Sciences*. 2022;4(48):77–86. (In Russ.). <https://doi.org/10.25688/2076-9091.2022.48.4.7>. EDN: TJQDXS.
13. Terekhov P. A., Terekhova A. A., Safronov S. S. Evaluation of brain energy metabolism in athletes of various specializations. *Values, Traditions, and Innovations in Modern Sports: Proceedings of the II International Scientific Congress*. Minsk: Belarusian State University of Physical Education. 2022;1:361–366. EDN: IWVQQS. (In Russ.).
14. Terekhov P. A., Kindyuhin E. A. Shifts in neuronal metabolism of brain cells in athletes toward active orthostasis. *Collection of scientific papers by young university scientists: Collection of articles*. Smolensk: Smolensk State University of Sport. 2025;163–166. EDN: EGVARF. (In Russ.).
15. Fokin V. F., Ponomareva N. V. Asymmetry of resting-state neural networks according to fMRI data. *Asymmetry*. 2023;17(3):53–58. (In Russ.). <https://doi.org/10.25692/ASY.2023.17.3.003>. EDN: AQTRRJ.
16. Fraj A. V., Voroncova V. S., Pichugina I. M. Using neuroenergy mapping to develop a personalized approach to cognitive rehabilitation for patients with cerebrovascular lesions. *Medical and Social Expertise and Rehabilitation*. 2020;23(1):5–8. (In Russ.). <https://doi.org/10.17816/MSER34232>. EDN: EQXWSI.
17. Shevchenko O. I., Lahman O. L. Cerebral energy metabolism in healthcare workers based on neuroenergy mapping data. *Hygiene and sanitation*. 2024;103(8):846–850. (In Russ.). <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-8-846-850>. EDN: UXQPAZ.

18. Shlyk N. I. Standards for the variation range of RR intervals at rest and orthostasis with different types of regulation in cross-country skiers during training. Theory and Practice of Physical Education. 2021;12:12–15. EDN: OLUUYO. (In Russ.).

Информация об авторах / Information about the authors:

Терехов Павел Александрович — доктор биологических наук, доцент, доцент кафедры биологических дисциплин, Смоленский государственный университет спорта, Смоленск, Россия.

Terekhov Pavel Alexandrovich — Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Biological Disciplines, Smolensk State University of Sports, Smolensk, Russia.

terechov_86@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7820-9942>

Киндюхин Егор Александрович — аспирант кафедры биологических дисциплин, Смоленский государственный университет спорта, Смоленск, Россия.

Kindyukhin Egor Alexandrovich — Postgraduate Student of the Department of Biological Disciplines, Smolensk State University of Sports, Smolensk, Russia.

egor-k2@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0004-1048-4296>

Ефременков Евгений Константинович — аспирант кафедры биологических дисциплин, Смоленский государственный университет спорта, Смоленск, Россия.

Efremenkov Evgeny Konstantinovich — Postgraduate Student of the Department of Biological Disciplines, Smolensk State University of Sports, Smolensk, Russia.

eefremenkov488@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-8338-0114>

Вклад авторов:

Павел Александрович Терехов — общее руководство и координация работы; концептуализация исследования, включая формулировку идеи, постановку целей и задач; разработка дизайна и методов исследования; визуализация (разработка, оформление таблиц и рисунков).

Егор Александрович Киндюхин — проведение исследования/эксперимента (реализация, сбор данных); формальный анализ (статистическая обработка данных).

Евгений Константинович Ефременков — сбор и обработка современных литературных источников по теме исследования; подготовка черновика рукописи, исправление и дополнение текста; формулировка выводов.

Authors' contributions:

Pavel Aleksandrovich Terekhov — general management and coordination of work; conceptualization of research, including formulation of ideas, setting goals and objectives;

development of research design and methods; visualization (development, design of tables and figures).

Egor Aleksandrovich Kindyukhin — conducting research / experiment (implementation, data collection); formal analysis (statistical data processing).

Evgeny Konstantinovich Efremenkov — collection and processing of modern literary sources on the research topic; preparation of a draft manuscript, correction and addition of the text; formulation of conclusions.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no relevant conflict of interests.

Статья поступила в редакцию: 20.01.2026;
одобрена после доработки: 08.04.2026;
принята к публикации: 09.04.2026.

The article was submitted: 20.01.2026;
approved after reviewing: 08.04.2026;
accepted for publication: 09.04.2026.

Исследовательская статья

УДК: 616.36:616.379-008.64-092.9

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-129-143

Нодира Наврузовна Курбанова¹,
Бекзод Бекполатович Кадамбаев²,
Феруза Хидаятовна Иноятова³,
Алишер Худайбердиевич Рахманов⁴,
Рустам угли Абдувалиев Абдурахмон⁵

^{1, 2} Ургенчский государственный медицинский институт,
Ургенч, Узбекистан

^{3, 4, 5} Ташкентский государственный медицинский университет,
Ташкент, Узбекистан

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЕЧЕНИ ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО ИНДУЦИРОВАННОМ МЕТАБОЛИЧЕСКОМ СИНДРОМЕ

Аннотация. Цель исследования — изучить морфологические и количественные морфометрические изменения печени при экспериментально индуцированном метаболическом синдроме у крыс. Было проведено гистологическое и морфометрическое исследование печени животных с воспроизведенной моделью метаболического синдрома. В результате были выявлены дезорганизация дольковой структуры печени, макро- и микровезикулярный стеатоз, вакуолизация гепатоцитов и умеренная мононуклеарная инфильтрация. Морфометрический анализ показал статистически значимое увеличение площади стеатозных зон и числа липид-нагруженных гепатоцитов по сравнению с контролем. Полученные данные подтверждают развитие выраженных структурных изменений печени и воспроизводимость экспериментальной модели.

Ключевые слова: метаболический синдром, печень, стеатоз, морфометрия, экспериментальная модель

Финансирование: исследование не имело финансовой поддержки.

Research article

UDC: 616.36:616.379-008.64-092.9

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-129-143

Nodira Navruzovna Kurbanova¹,
Bekzod Bekpolatovich Qadambayev²,
Feruza Khidayatovna Inoyatova³,
Alisher Khudayberdiyevich Rakhmanov⁴,
Rustam ogli Abduvaliyev Abdurakhmon⁵

^{1, 2} Urgench State Medical Institute,
Urgench, Uzbekistan

^{3, 4, 5} Tashkent State Medical University,
Tashkent, Uzbekistan.

MORPHOLOGICAL AND QUANTITATIVE MORPHOMETRIC CHANGES IN THE LIVER IN EXPERIMENTALLY INDUCED METABOLIC SYNDROME

Abstract. To study morphological and quantitative morphometric changes in the liver in rats with experimentally induced metabolic syndrome. A histological and morphometric examination of the liver was conducted in animals with a reproduced model of metabolic syndrome. Disorganization of the hepatic lobular structure, macro- and microvesicular steatosis, hepatocyte vacuolization, and moderate mononuclear infiltration were identified. Morphometric analysis demonstrated a statistically significant increase in the area of steatotic regions and the number of lipid-laden hepatocytes compared with the control group. The findings confirm the development of pronounced structural liver changes and the reproducibility of the experimental model.

Keywords: metabolic syndrome, liver, steatosis, morphometry, experimental model

Funding statement: no funding was received for writing this manuscript.

Введение

Метаболический синдром (МС) представляет собой комплекс метаболических нарушений, включающий ожирение, инсулино-резистентность, дислипидемию и артериальную гипертензию, наличие которого значительно повышает риск развития сердечно-сосудистых заболеваний и сахарного диабета 2-го типа [2; 3; 14]. В последние годы особое внимание исследователей уделяется изучению ранних морфологических изменений в органах-мишенях, таких как печень, поджелудочная железа, поскольку они играют ключевую роль в патогенезе МС [3; 9].

Экспериментальные модели МС у грызунов позволяют воспроизводить основные патогенетические механизмы данного состояния, включая

липотоксическое и глюкотоксическое воздействие на гепатоциты и панкреоциты, что способствует накоплению внутриклеточного жира, развитию воспалительных изменений и структурной дезорганизации тканей [1; 11]. Количественные морфометрические методы обеспечивают объективную оценку степени стеатоза и воспалительной инфильтрации, позволяя анализировать динамику повреждений и эффективность потенциальных терапевтических вмешательств [4; 19].

Целью настоящего исследования явилось изучение морфологических и количественных морфометрических изменений печени и поджелудочной железы у крыс при экспериментально индуцированном метаболическом синдроме, а также оценка выраженности стеатоза, вакуолизации гепатоцитов и воспалительной активности, что позволяет углубить понимание ранних патологических процессов и их возможных клинических последствий [3; 11; 18].

Материалы и методы исследования

Исследование выполнялось на аутбредных самцах белых крыс ($n = 20$) массой 165–175 г [1; 3]. Эксперимент проводился с соблюдением принципов гуманного обращения с лабораторными животными в соответствии с Директивой Европейского сообщества 86/609/ЕЕС и положениями Хельсинкской декларации.

Животные содержались в стандартных условиях вивария при температуре 22 ± 2 °С, 12-часовом световом режиме и свободном доступе к воде и корму. Рандомизация животных осуществлялась методом случайной выборки. В зависимости от условий эксперимента крысы были распределены на две группы: контрольную ($n = 8$); экспериментальную ($n = 12$) [14].

Животные контрольной группы получали стандартный лабораторный рацион энергетической ценностью 280–310 ккал/100 г, содержащий 18–22 % белка, 4–6 % жира, 55–65 % углеводов и 4–6 % клетчатки.

В экспериментальной группе метаболический синдром моделировали путем ежедневного внутрижелудочного введения бараньего топленого жира, подогретого до 38–40 °С, в дозе 1 г на 100 г массы тела. Через 1 час после введения животные получали стандартный рацион. В качестве питьевой жидкости использовали 10 %-ный раствор фруктозы [6; 12].

Эвтаназию животных проводили натошак на 60-е и 90-е сутки эксперимента под кратковременным эфирным наркозом методом декапитации [9].

Образцы печени фиксировали в 12 %-ном нейтральном формалине в течение не менее 24 часов. После фиксации ткань разрезали на фрагменты толщиной 3–4 мм и подвергали стандартной парафиновой проводке, включающей дегидратацию в возрастающих концентрациях этанола (70–100 %), осветление в ксилоле (двукратно) и пропитку парафином при температуре 60 °С (двукратно). Формирование парафиновых блоков осуществляли с сохранением анатомической ориентации ткани.

Гистологические срезы толщиной 6–8 мкм получали на ротационном микротоме, расправляли на водяной бане при температуре 40–45 °С и переносили на предметные стекла с положительным зарядом. После высушивания при температуре 37–42 °С в течение ночи срезы окрашивали гематоксилином и эозином по стандартной методике с последующей дегидратацией и заключением под покрывное стекло [19].

Микроскопическое исследование выполняли с использованием светового микроскопа Leica DM IL LED при увеличениях $\times 10$, $\times 20$ и $\times 40$. Цифровые изображения сохраняли в несжатом формате TIFF для проведения морфометрического анализа [1].

Количественный морфометрический анализ проводили с использованием программного обеспечения Fiji (ImageJ, National Institutes of Health, США) [7]. Для каждого животного анализировали пять случайно выбранных, непересекающихся полей зрения при увеличении $\times 20$.

Площадь стеатозных участков определяли методом ручной сегментации вакуолизированных зон, соответствующих внутриклеточным липидным включениям [5; 12]. Каждую область интереса (ROI) сохраняли в модуле ROI Manager с последующим вычислением площади (мкм²) [6; 13]. Для каждого животного рассчитывали суммарную и среднюю площадь стеатоза на одно поле зрения [2].

Липид-нагруженные гепатоциты идентифицировали по признаку цитоплазматической вакуолизации. Подсчет выполняли вручную в пяти случайных полях зрения при увеличении $\times 20$. Результаты представляли в виде среднего количества вакуолизированных клеток на поле зрения [10].

Количество мононуклеарных клеток (лимфоцитов и макрофагов) определяли методом ручного подсчета в аналогичных условиях. Показатель выражали как среднее число клеток на поле зрения [8].

Образцы поджелудочной железы фиксировали и обрабатывали по аналогичному протоколу, применяемому для печени. Срезы толщиной 6–8 мкм окрашивали гематоксилином и эозином. Проводили качественную морфологическую оценку архитектоники ацинарного аппарата, состояния междольковых и внутридольковых протоков, структуры островков Лангерганса, а также наличия жировой инфильтрации, воспалительных изменений и признаков фиброза. Количественная морфометрия поджелудочной железы не проводилась.

Статистическую обработку данных осуществляли с использованием программного обеспечения GraphPad Prism (версия X.X, GraphPad Software, США). Нормальность распределения проверяли с помощью критерия Шапиро – Уилка. При нормальном распределении данных применяли *t*-критерий Стьюдента для независимых выборок, при отклонении от нормального распределения — критерий Манна – Уитни. Результаты представлены в виде $M \pm SEM$. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования

Морфологические особенности печени при экспериментально вызванном метаболическом синдроме у животных

В экспериментальных моделях МС, индуцируемого у животных преимущественно высокожировой и/или высокосахарной диетой, воспроизводятся ключевые патогенетические звенья этого состояния, что позволяет изучать ранние морфологические изменения в органах-мишенях до появления клинически выраженных осложнений [16]. Гистологический анализ печени и поджелудочной железы имеет особую ценность, поскольку эти органы подвергаются липотоксическому и глюкотоксическому воздействию, приводящему к накоплению эктопического жира, хроническому низкоуровневому воспалению и ранним структурным перестройкам, которые часто предшествуют функциональным нарушениям и могут быть обратимыми на начальных стадиях [17]. Выявление таких субклинических морфологических изменений помогает понять последовательность патологических событий в МС и оценить потенциальную эффективность терапевтических вмешательств на доклиническом уровне [15; 16].

При небольшом увеличении (объектив $\times 10$) гистологические срезы печени животных контрольной группы показывают полностью сохраненную классическую дольковую организацию, типичную для здорового органа. Гепатические дольки имеют правильную шестиугольную форму, четко отграничены друг от друга, с центрально расположенными венами и радиально расходящимися от них гепатоцитарными пластинками однородного строения. Трабекулы гепатоцитов сформированы одним или двумя рядами клеток и направлены в сторону периферических порталных полей. Синусоидные капилляры равномерно располагаются между трабекулами, имеют нормальную ширину просвета и правильную ориентацию без признаков расширения или спадания. Портальные тракты содержат интактные ветви воротной вены, печеночной артерии и желчного протока, расположены в углах долек. Гепатоциты обладают гомогенной эозинофильной цитоплазмой, округлыми ядрами с центральной локализацией и заметными ядрышками. Какие-либо признаки дистрофии, жировой вакуолизации, стеатоза, некротических изменений или воспалительной инфильтрации отсутствуют. Стромальный компонент не содержит избыточного коллагена и дуктулярной пролиферации. В целом паренхима печени демонстрирует полную структурную сохранность и соответствует морфологической норме (см. рис. 1, панель А).

При увеличении $\times 20$ на гистологических срезах печени контрольных животных отчетливо визуализируется сохраненная дольковая архитектура с характерной шестиугольной организацией печеночных долек. Четко определяются центральные вены и радиально ориентированные гепатоцитарные балки,

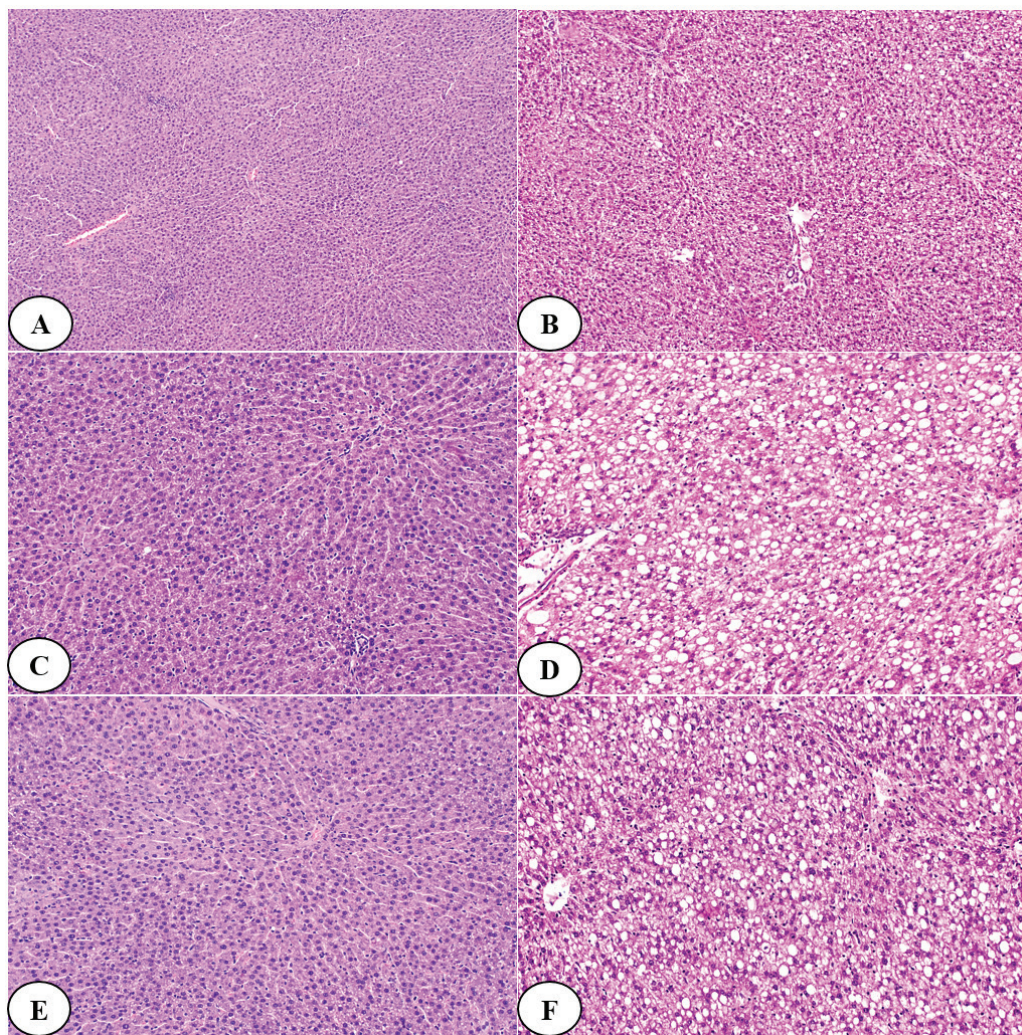


Рис. 1. Репрезентативные микрофотографии гистологии печени в контрольной (А, С и Е) и экспериментальной (В, D и F) группах при малом ($\times 10$, А и В), среднем ($\times 20$, С и D) и большом ($\times 40$, Е и F) увеличении

направленные к портальным триадам. Гепатоциты имеют однородные размеры, правильную полигональную форму, умеренно эозинофильную цитоплазму и преимущественно центрально расположенные ядра с четко выраженными ядрышками. Трабекулярные структуры представлены одним-двумя рядами клеток, между которыми равномерно располагаются распределенные синусоиды нормального калибра без признаков дилатации или застойных явлений. Элементы портальных трактов хорошо различимы, сохраняют типичное строение и топографию. В синусоидальном пространстве выявляются единичные клетки Купфера, что соответствует физиологическому уровню макрофагальной активности. В целом морфологическая картина отражает нормальную организацию паренхимы печени, сохранность трабекулярной сети и адекватное

синусоидальное кровоснабжение, без признаков дистрофических, воспалительных или некротических изменений (см. рис. 1, панели С и Е).

С другой стороны, при морфологическом исследовании печени животных экспериментальной группы на малом увеличении (объектив $\times 10$; см. рис. 1, панель В) гистологические срезы выявляют значительные нарушения классической дольковой архитектоники. Хотя в ограниченных участках паренхимы еще сохраняются фрагменты типичной шестиугольной организации долек с узнаваемыми центральными венами, в целом структура печени существенно дезорганизована, с утратой четких границ долек и радиальной ориентации гепатоцитарных трабекул. Синусоидные пространства распределены неравномерно, местами демонстрируют дилатацию или коллапс, что сопровождается потерей упорядоченного расположения печеночных балок. Наиболее выраженные изменения локализуются в среднезональной и центролобулярной областях, где наблюдается истончение гепатоцитарных пластин, диффузная вакуолизация цитоплазмы и массивная липидная инфильтрация.

На отдельных участках выявляются очаговые потери гепатоцитов, а также начальные признаки перисинусоидального и междеклеточного фиброза. Перипортальные зоны относительно лучше сохранены, однако и в них отмечаются единичные фокусы липидной дегенерации и структурной дезорганизации. Умеренно выраженная моноклеарная воспалительная инфильтрация (преимущественно лимфоцитами и макрофагами) локализуется перисинусоидально и в зонах максимального стеатоза, что свидетельствует о развитии хронического низкоуровневого воспаления в ответ на липотоксическое повреждение.

При промежуточном увеличении (объектив $\times 20$; см. рис. 1, панели D и F) в печени экспериментальной группы выявляются выраженные нарушения дольковой архитектоники. Радиальная организация гепатоцитарных балок в большинстве полей зрения утрачена; трабекулы фрагментированы, дезорганизованы и хаотично ориентированы, а синусоидальные капилляры демонстрируют выраженную гетерогенность калибра с чередованием участков дилатации и коллабирования. Центральные вены визуализируются фрагментарно и окружены дезорганизованными скоплениями гепатоцитов. Большинство гепатоцитов увеличено в объеме и характеризуется бледной цитоплазмой с выраженной вакуолизацией, отражающей сочетание макро- и микровезикулярного стеатоза.

В ряде клеток отмечается утрата ядерного материала с формированием «призрачных» клеточных контуров, свидетельствующих о терминальных стадиях липотоксического повреждения. Диффузная липидная инфильтрация придает печеночной паренхиме однородно дегенеративный характер. Воспалительная инфильтрация представлена умеренными моноклеарными клетками, преимущественно локализующимися в центролобулярных и среднезональных отделах, без образования крупных агрегатов. В части сохранившихся гепатоцитов выявляются признаки реактивных ядерных изменений, включая

гиперхромиию, увеличение размеров и неровность контуров ядер, а также гипертрофию ядрышек, что указывает на метаболический стресс и активацию компенсаторных регенераторных механизмов. Дополнительно визуализируются ограниченные очаги начального фиброза с отложением коллагеновых волокон в перисинусоидальном пространстве.

В совокупности выявленные изменения отражают смешанный стеатоз печени, сопровождающийся структурной дезорганизацией, умеренным хроническим воспалением и начальными фибротическими преобразованиями, что соответствует прогрессирующему липотоксическому поражению печеночной паренхимы в условиях экспериментальной модели метаболического синдрома.

Морфологические характеристики поджелудочной железы

Гистологическое исследование поджелудочной железы в контрольной группе показало полностью сохраненную архитектонику органа. Экзокринная часть представлена упорядоченными ацинусами правильной формы, выстланными пирамидальными ацинарными клетками с базофильной цитоплазмой и четко очерченными ядрами, без признаков атрофии, деструкции или воспаления. Междольковые и внутридольковые протоки сохраняют ровный эпителиальный контур, просветы не расширены и свободны от детрита (см. рис. 1, панели А и С). Островки Лангерганса имеют характерную гетерогенную клеточную композицию, равномерно распределены и не содержат признаков дегенерации, вакуолизации или лимфоцитарной инфильтрации. Отсутствие фиброза, кровоизлияний и сосудистых нарушений подтверждает морфологическую и функциональную сохранность поджелудочной железы (см. рис. 1, панель С). В экспериментальной группе, несмотря на наличие подтвержденных метаболических нарушений, морфологическая организация поджелудочной железы в целом оставалась сопоставимой с контрольной. Экзокринная часть характеризовалась типичными ацинусами, без признаков атрофии, деструкции, выраженной вакуолизации или воспалительной инфильтрации. Междольковые и внутридольковые протоки сохраняли нормальную архитектонику, эпителиальный слой был интактным с четко очерченными клеточными контурами, что свидетельствует о сохранении секреторной функции органа (см. рис. 1, панели В и D).

Островки Лангерганса также сохраняли типичную архитектуру, были без признаков жировой инфильтрации, моноклеарной инфильтрации, фиброза, гипертрофии или выраженной клеточной дегенерации. В отдельных островках отмечались эпителиальные клетки с несколько светлой цитоплазмой и мелкими везикулярными включениями; эти изменения носили очаговый характер, не были типичными для всех островков и не сопровождались воспалительной реакцией или лимфоцитарной инфильтрацией (см. рис. 1, панель D).

Таким образом, на фоне экспериментально индуцированных метаболических нарушений поджелудочная железа сохраняет свою основную морфологическую целостность, а выявленные единичные изменения в островковом аппарате носят ограниченный и неспецифический характер, не свидетельствуя о формировании выраженной эндокринной либо экзокринной патологии на данном этапе наблюдения.

Морфометрическая оценка печени при экспериментально индуцированном метаболическом синдроме

Морфометрический количественный анализ проводился для объективной оценки степени тяжести печеночного повреждения и достоверности используемой экспериментальной модели. Ключевые морфометрические показатели печени включали среднюю площадь участков стеатоза в паренхиме (рис. 2, панель А), число гепатоцитов с липидными включениями (рис. 2, панель В) и степень мононуклеарной инфильтрации (рис. 2, панель С). Эти параметры позволяли количественно оценить выраженность жировой дистрофии, а также сопутствующую воспалительную реакцию, обеспечивая объективное сопоставление изменений между контрольной и экспериментальной группами.

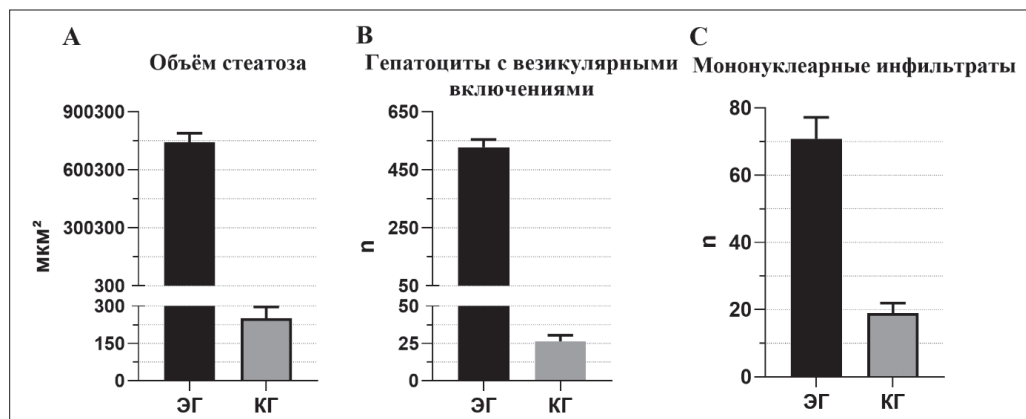


Рис. 2. Морфометрическая оценка печени в контрольной (КГ) и экспериментальной (ЭГ) группах:

- А — доля паренхимы, занятая зонами стеатоза;
- В — процент гепатоцитов с цитоплазматической вакуолизацией;
- С — количественная оценка мононуклеарной инфильтрации в печеночной ткани

Морфометрическая оценка площади стеатозных участков в печеночной паренхиме продемонстрировала достоверные межгрупповые различия между контрольной (КГ) и экспериментальной (ЭГ) группами. В экспериментальной группе средняя площадь стеатозных зон составила $395\,613 \pm 348\,287$ мкм² ($M \pm SEM$),

тогда как в контрольной группе этот показатель был минимальным — $148 \pm 3,624$ мкм², что отражает практически полное отсутствие жировой инфильтрации у интактных животных. Статистический анализ подтвердил высокую значимость различий между группами ($p < 0,0001$), что свидетельствует о высокой эффективности применяемой экспериментальной модели для индуцирования выраженного печеночного стеатоза (см. рис. 2, панель А).

Морфометрическая оценка числа вакуолизированных гепатоцитов при увеличении $\times 20$ в 20 случайно выбранных полях выявила выраженные межгрупповые различия между контрольной (КГ) и экспериментальной (ЭГ) группами. В экспериментальной группе среднее количество вакуолизированных клеток составило $277,38 \pm 251,29$, тогда как в контрольной группе оно оставалось минимальным — $15,21 \pm 0,99$, что показывает практически полное отсутствие цитоплазматической вакуолизации у интактных животных. Различия между группами были статистически значимыми ($p < 0,0001$), что подтверждает выраженный клеточный липидоз гепатоцитов в условиях экспериментально индуцированного стеатоза печени (см. рис. 2, панель В).

Морфометрическая оценка степени мононуклеарной инфильтрации в печеночной паренхиме при увеличении $\times 20$ в 20 случайно выбранных полях продемонстрировала значительные межгрупповые различия. В экспериментальной группе среднее количество инфильтрирующих мононуклеарных клеток составило $38,63 \pm 3,23$, тогда как в контрольной группе показатель оставался существенно ниже — $10,98 \pm 1,48$. Статистический анализ подтвердил достоверность различий между группами ($p < 0,0001$), что свидетельствует о формировании умеренной, очаговой мононуклеарной инфильтрации печеночной ткани на фоне экспериментально индуцированного стеатоза печени (см. рис. 2, панель С).

Заключение

В экспериментальной группе, моделирующей метаболический синдром, печеночная паренхима характеризовалась дезорганизацией дольковой структуры, очаговой и диффузной вакуолизацией гепатоцитов, диффузным стеатозом, умеренной мононуклеарной инфильтрацией и отдельными признаками фиброза или очагового некроза. Поджелудочная железа оставалась морфологически интактной, с единичными очаговыми изменениями в островках Лангерганса без признаков выраженной эндокринной или экзокринной дисфункции.

Морфометрический анализ продемонстрировал, что экспериментально индуцированный метаболический синдром вызывает выраженные количественные изменения в печени. В печеночной паренхиме наблюдались значительное увеличение площади стеатозных участков, высокий процент вакуолизированных гепатоцитов и умеренная мононуклеарная инфильтрация, что отражает выраженный клеточный липидоз и очаговое воспаление.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Alpízar Salazar M. Natural history of metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease: from metabolic syndrome to hepatocellular carcinoma / M. Alpízar Salazar et al. // *Medicina*. 2025. Vol. 61. № 1. P. 88. <https://doi.org/10.3390/medicina61010088>. EDN: JNOVOB.
2. Bednarz K. The role of Glp-1 receptor agonists in insulin resistance with concomitant obesity treatment in polycystic ovary syndrome / K. Bednarz et al. // *International journal of molecular sciences*. 2022. Vol. 23. №. 8. P. 4334. <https://doi.org/10.3390/ijms23084334>. EDN: CICLOX.
3. Bitew Z. W. et al. Magnitude and associated factors of neural tube defects in Ethiopia: a systematic review and meta-analysis // *Global pediatric health*. 2020. Vol. 7. Art. 2333794X20939423. <https://doi.org/10.1177/2333794X20939423>. EDN: CVYYTC.
4. Chew N. W. S. The global burden of metabolic disease: Data from 2000 to 2019 / N. W. S. Chew et al. // *Cell metabolism*. 2023. Vol. 35. №. 3. P. 414–428. e3. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2023.02.003>. EDN: MNWUDV.
5. Daniele S. M. The eSS rat, a nonobese model of disordered glucose and lipid metabolism and fatty liver / S. M. Daniele et al. // *Diabetology & Metabolic Syndrome*. 2010. Vol. 2. № 15. <https://doi.org/10.1186/1758-5996-2-15>
6. Giannopoulos C. K. Common pathogenetic pathways of non-alcoholic fatty liver disease and type 2 diabetes mellitus / C. K. Giannopoulos et al. // *Current diabetes reviews*. 2023. Vol. 19. № 9. P. 96–114. <https://doi.org/10.2174/1573399819666230216112032>. EDN: BRKDGC
7. Guess J., Beltran T. H., Choi Y. S. Prediction of metabolic syndrome in US Adults using homeostasis model assessment-insulin resistance // *Metabolic syndrome and related disorders*. 2023. Vol. 21. № 3. P. 156–162. <https://doi.org/10.1089/met.2022.0097>. EDN: DAQYKG.
8. Herman R. Metformin and insulin resistance: a review of the underlying mechanisms behind changes in GLUT4-mediated glucose transport / R. Herman et al. // *International journal of molecular sciences*. 2022. Vol. 23. № 3. P. 1264. <https://doi.org/10.3390/ijms23031264>. EDN: TEUPRK.
9. Kohira T. Quantification of liver steatosis of metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease based on body composition analysis / T. Kohira et al. // *Scientific reports*. 2025. Vol. 15. № 1. P. 31982. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-17396-1>. EDN: LMOZDU
10. Leung A. K. C. Acanthosis nigricans: an updated review / A. K. C. Leung et al. // *Current Pediatric Reviews*. 2023. Vol. 19. №. 1. P. 68–82. <https://doi.org/10.2174/1573396318666220429085231>. EDN: HHHJFZ.
11. Lund A. Assessment of hepatic steatosis during rat liver regeneration after 70 % partial hepatectomy using stereology and MRI-PDFF / A. Lund et al. // *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. № 1. P. 43962. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-27716-0>. EDN: LLJVBN
12. Manoharan M. P. Obesity and coronary artery disease: an updated systematic review 2022 / M. P. Manoharan et al. // *Cureus*. 2022. Vol. 14. № 9. Art. e29480. <https://doi.org/10.7759/cureus.29480>. <https://doi.org/10.7759/cureus.29480>. EDN: BLHUSR.
13. Murali R. Interobserver reproducibility of histologic parameters of melanoma deposits in sentinel lymph nodes: implications for management of patients with melanoma / R. Murali et al. // *Cancer: Interdisciplinary International Journal of the American Cancer Society*. 2009. Vol. 115. Iss. 21. P. 5026–5037. <https://doi.org/10.1002/cncr.24298>

14. Murtha-Lemekhova A. Is metabolic syndrome a risk factor in hepatectomy? A meta-analysis with subgroup analysis for histologically confirmed hepatic manifestations / A. Murtha-Lemekhova et al. // BMC medicine. 2022. Vol. 20. № 1. P. 47. <https://doi.org/10.1186/s12916-022-02239-x>. EDN: LTWFKG.
15. Noubiap J. J. Global, regional, and country estimates of metabolic syndrome burden in children and adolescents in 2020: a systematic review and modelling analysis / J. J. Noubiap et al. // The Lancet Child & Adolescent Health. 2022. Vol. 6. № 3. P. 158–170. [https://doi.org/10.1016/S2352-4642\(21\)00374-6](https://doi.org/10.1016/S2352-4642(21)00374-6). EDN: JUMBMJ.
16. Pulatova L. T., Kurbanova N. N. Practical application of chromatographic methods in analyzing the identification of cephalosporin antibiotics // MCU Journal of Natural Sciences. 2024. № 1 (53). P. 22–35. <https://doi.org/10.25688/2076-9091.2024.53.1.02>. EDN: YBXNQC.
17. Russo M. P. Prevalence of diabetes, epidemiological characteristics and vascular complications / M. P. Russo et al. // Archivos de cardiologia de Mexico. 2023. Vol. 93. № 1. P. 30–36. <https://doi.org/10.24875/acm.21000410>. EDN: FZUAHE.
18. Wong S. K. Biochemical and histopathological assessment of liver in a rat model of metabolic syndrome induced by high-carbohydrate high-fat diet / S. K. Wong et al. // Journal of food biochemistry. 2020. Vol. 44. № 10. Art. e13371. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13371>. EDN: TVVCLM.
19. Yong K. Upfront autologous haematopoietic stem-cell transplantation versus carfilzomib – cyclophosphamide – dexamethasone consolidation with carfilzomib maintenance in patients with newly diagnosed multiple myeloma in England and Wales (CARDAMON): a randomised, phase 2, non-inferiority trial / K. Yong et al. // The Lancet Haematology. 2023. Vol. 10. № 2. P. e93–e106. [https://doi.org/10.1016/S2352-3026\(22\)00350-7](https://doi.org/10.1016/S2352-3026(22)00350-7). EDN: LWPGYL.

References

1. Alpízar Salazar M. et al. Natural history of metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease: from metabolic syndrome to hepatocellular carcinoma. *Medicina*. 2025;61(1):88. <https://doi.org/10.3390/medicina61010088>. EDN: JNOVOB.
2. Bednarz K. et al. The role of GLP-1 receptor agonists in insulin resistance with concomitant obesity treatment in polycystic ovary syndrome. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022;23(8):4334. <https://doi.org/10.3390/ijms23084334>. EDN: CICLOX.
3. Bitew Z. W. et al. Magnitude and associated factors of neural tube defects in Ethiopia: a systematic review and meta-analysis. *Global Pediatric Health*. 2020;7:2333794X20939423. <https://doi.org/10.1177/2333794X20939423>. EDN: CVYYTC.
4. Chew N. W. S. et al. The global burden of metabolic disease: Data from 2000 to 2019. *Cell Metabolism*. 2023;35(3):414–428. e3. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2023.02.003>. EDN: MNWUDV.
5. Daniele S. M. et al. The eSS rat, a nonobese model of disordered glucose and lipid metabolism and fatty liver. *Diabetology & Metabolic Syndrome*. 2010;2:15. <https://doi.org/10.1186/1758-5996-2-15>
6. Giannopoulos C. K. et al. Common pathogenetic pathways of non-alcoholic fatty liver disease and type 2 diabetes mellitus. *Current Diabetes Reviews*. 2023;19(9):96–114. <https://doi.org/10.2174/1573399819666230216112032>. EDN: BRKDGK.
7. Guess J., Beltran T. H., Choi Y. S. Prediction of metabolic syndrome in US adults using homeostasis model assessment-insulin resistance. *Metabolic Syndrome and Related Disorders*. 2023;21(3):156–162. <https://doi.org/10.1089/met.2022.0097>. EDN: DAQYKG.

8. Herman R. et al. Metformin and insulin resistance: a review of the underlying mechanisms behind changes in GLUT4-mediated glucose transport. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022;23(3):1264. <https://doi.org/10.3390/ijms23031264>. EDN: TEUPRK.
9. Kohira T. et al. Quantification of liver steatosis of metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease based on body composition analysis. *Scientific Reports*. 2025;15(1):31982. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-17396-1>. EDN: LMOZDU.
10. Leung A. K. C. et al. Acanthosis nigricans: an updated review. *Current Pediatric Reviews*. 2023;19(1):68–82. <https://doi.org/10.2174/1573396318666220429085231>. EDN: HHHJFZ.
11. Lund A. et al. Assessment of hepatic steatosis during rat liver regeneration after 70 % partial hepatectomy using stereology and MRI-PDFF. *Scientific Reports*. 2025;15(1):43962. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-27716-0>. EDN: LLJVBN.
12. Manoharan M. P. et al. Obesity and coronary artery disease: an updated systematic review 2022. *Cureus*. 2022;14(9):e29480. <https://doi.org/10.7759/cureus.29480>. EDN: BLHUSR.
13. Murali R. et al. Interobserver reproducibility of histologic parameters of melanoma deposits in sentinel lymph nodes: implications for management of patients with melanoma. *Cancer: Interdisciplinary International Journal of the American Cancer Society*. 2009;115(21):5026–5037. <https://doi.org/10.1002/cncr.24298>.
14. Murtha-Lemekhova A. et al. Is metabolic syndrome a risk factor in hepatectomy? A meta-analysis with subgroup analysis for histologically confirmed hepatic manifestations. *BMC Medicine*. 2022;20(1):47. <https://doi.org/10.1186/s12916-022-02239-x>. EDN: LTWFKG.
15. Noubiap J. J. et al. Global, regional, and country estimates of metabolic syndrome burden in children and adolescents in 2020: a systematic review and modelling analysis. *The Lancet Child & Adolescent Health*. 2022;6(3):158–170. [https://doi.org/10.1016/S2352-4642\(21\)00374-6](https://doi.org/10.1016/S2352-4642(21)00374-6). EDN: JUMBMJ.
16. Pulatova L. T., Kurbanova N. N. Practical application of chromatographic methods in analyzing the identification of cephalosporin antibiotics. *MCU Journal of Natural Sciences*. 2024;(53):22–35. <https://doi.org/10.25688/2076-9091.2024.53.1.02>. EDN: YBXNQC. (In Russ.).
17. Russo M. P. et al. Prevalence of diabetes, epidemiological characteristics and vascular complications. *Archivos de Cardiologia de Mexico*. 2023;93(1):30–36. <https://doi.org/10.24875/acm.21000410>. EDN: FZUAHE.
18. Wong S. K. et al. Biochemical and histopathological assessment of liver in a rat model of metabolic syndrome induced by high-carbohydrate high-fat diet. *Journal of Food Biochemistry*. 2020;44(10):e13371. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13371>. EDN: TVVCLM.
19. Yong K. et al. Upfront autologous haematopoietic stem-cell transplantation versus carfilzomib – cyclophosphamide – dexamethasone consolidation with carfilzomib maintenance in patients with newly diagnosed multiple myeloma in England and Wales (CARDAMON): a randomised, phase 2, non-inferiority trial. *The Lancet Haematology*. 2023;10(2):e93–e106. [https://doi.org/10.1016/S2352-3026\(22\)00350-7](https://doi.org/10.1016/S2352-3026(22)00350-7). EDN: LWPGYL.

Информация об авторах / Information about the authors:

Курбанова Нодира Наврузовна — заведующая кафедрой медицинской и биологической химии, доцент, Ургенчский государственный медицинский институт, Ургенч, Узбекистан.

Kurbanova Nodira Navruzovna — Head of the Department of Medical and Biological Chemistry, Associate Professor, Urgench State Medical Institute, Urgench, Uzbekistan.
nodira@123.uz, <https://orcid.org/0000-0003-1608-4432>

Кадамбаев Бекзод Бекполатович — ассистент кафедры медицинской и биологической химии, Ургенчский государственный медицинский институт, Ургенч, Узбекистан.

Qadambayev Bekzod Bekpolatovich — Assistant of the Department of Medical and Biological Chemistry, Urgench State Medical Institute, Urgench, Uzbekistan.
bekzodbekpolatovich@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-7871-2486>

Иноятowa Фeруза Хидаятовна — профессор кафедры медицинской и биологической химии, Ташкентский государственный медицинский университет, Ташкент, Узбекистан.

Inoyatova Feruza Khidayatovna — Professor of the Department of Medical and Biological Chemistry, Tashkent State Medical University, Tashkent, Uzbekistan.
inoyatovaf49@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-3656-6301>

Рахманов Алишер Худайбердиевич — профессор кафедры фармакологии, Ташкентский государственный медицинский университет, Ташкент, Узбекистан.

Rakhmanov Alisher Khudayberdiyevich — Professor of the Department of Pharmacology, Tashkent State Medical University, Tashkent, Uzbekistan.
dr.ali.fl@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7404-3447>

Абдурахмон Рустам угли Абдувалиев — научный ассистент кафедры молекулярной биологии и генетики, Ташкентский государственный медицинский университет, Ташкент, Узбекистан.

Abdurakhmon Rustam ogli Abduvaliyev — Research Assistant, Department of Molecular Biology and Genetics, Tashkent State Medical University, Tashkent, Uzbekistan.
abdurakhmonabduvaliev01@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-0685-6028>

Вклад авторов:

Нодира Наврузовна Курбанова — разработка концепции исследования, анализ полученных результатов и научное редактирование статьи.

Бекзод Бекполатович Кадамбаев — проведение экспериментальных исследований, обработка полученных данных и подготовка текста статьи.

Феруза Хидаятовна Иноятова — проведение морфологических исследований и интерпретация результатов.

Алишер Худайбердиевич Рахманов — статистическая обработка данных и анализ литературных источников.

Рустам угли Абдувалиев Абдурахмон — участие в экспериментальных исследованиях и подготовка иллюстративного материала.

Authors' contributions:

Nodira Navruzovna Kurbanova — development of the research concept, analysis of the obtained results, and scientific editing of the article.

Bekzod Bekpolatovich Kadambaev — conducting experimental research, processing of the obtained data, and preparation of the article text.

Feruza Khidayatovna Inoyatova — conducting morphological research and interpretation of the results.

Alisher Khudayberdievich Rakhmanov — statistical data processing and analysis of literary sources.

Rustam ugli Abduvaliev Abdurakhmon — participation in experimental research and preparation of illustrative material.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no relevant conflict of interests.

Статья поступила в редакцию: 04.02.2026;
одобрена после доработки: 25.02.2026;
принята к публикации: 01.03.2026.

The article was submitted: 04.02.2026;
approved after reviewing: 25.02.2026;
accepted for publication: 01.03.2026.

Исследовательская статья

УДК [612.821.3:159.99]-057.875(045)

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-144-165

Чан Тху Чанг¹,Наталья Васильевна Звягина²,Анна Ильинична Талеева³,Антон Владимирович Клыков⁴

^{1, 2, 3, 4} Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова,
Архангельск, Россия

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ БЭА ГОЛОВНОГО МОЗГА ПРИ КОГНИТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ У СТУДЕНТОВ РОССИИ И ВЬЕТНАМА С РАЗНЫМ УРОВНЕМ СИТУАТИВНОЙ ТРЕВОЖНОСТИ

Аннотация. В статье приведены исследования особенностей биоэлектрической активности (БЭА) головного мозга у 80 студентов (23 юноши, 57 девушек, 18–22 года) из России и Вьетнама с учетом пола и уровня ситуативной тревожности (СТ). Методом ЭЭГ была проанализирована динамика суммарного коэффициента кросскорреляции (ККр) в фоновом состоянии и при когнитивной деятельности (КД). У всех обследованных в фоновом состоянии и при когнитивной нагрузке выявлены изменения средних значений ККр внутри и между полушариями головного мозга с локализацией во фронтальных, центральных и теменных областях коры. Выявлена специфика локализации синхронно работающих областей коры у представителей России и Вьетнама с учетом пола. У российских студентов КД сопровождается усилением синхронизации БЭА справа в указанных областях, у вьетнамских студентов в деятельность вовлекаются оба полушария. У девушек при КД наблюдается достоверное формирование разнообразных длинных и коротких статистических взаимосвязей: у российских студенток внутриполушарно: симметрично — между фронтальными, центральными и теменными областями; асимметрично — слева между средневисочной и затылочной, центральной и затылочной, справа — между фронтальными и височными областями. В процессе ЭЭГ-исследования была выявлена специфика синхронизации БЭА головного мозга у представителей разных этнических групп с учетом уровня ситуативной тревожности. У российских студентов при когнитивной деятельности, по сравнению с фоном, с увеличением уровня тревожности наблюдается тенденция регионального расширения интеграций областей коры головного мозга по фронтально-окципитальной оси без вовлечения височных областей. У вьетнамских студентов в зависимости от уровня СТ наблюдается смещение процессов синхронизации БЭА в правую гемисферу, при этом у представителей с низкой и высокой СТ наблюдается минимизация синхронно работающих областей коры головного мозга.

Ключевые слова: электроэнцефалография, биоэлектрическая активность головного мозга, уровень тревожности, ситуативная тревожность, студент, когнитивная деятельность

Финансирование: исследование не имело финансовой поддержки.

Research article

UDC [612.821.3:159.99]-057.875(045)

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-144-165

Thu Chan Chang¹,
Natalya Vasilievna Zvyagina²,
Anna Ilyinichna Taleeva³,
Anton Vladimirovich Klykov⁴

^{1, 2, 3, 4} Northern (Arctic) Federal University,
Arkhangelsk, Russia

SPATIAL ORGANIZATION OF BIOELECTRICAL ACTIVITY OF THE BRAIN DURING COGNITIVE ACTIVITY IN STUDENTS FROM RUSSIA AND VIETNAM WITH DIFFERENT SITUATIONAL ANXIETY

Abstract. The study examined the features of bioelectric activity in the brain of 80 students (23 males, 57 females, aged 18–22) from Russia and Vietnam, taking into account gender and the level of situational anxiety. We analyzed the dynamics of the total cross-correlation coefficient in the background state and during cognitive activity, such as mental counting. In all the subjects, changes in the average values of the cross-correlation coefficients within and between the hemispheres of the brain were detected during cognitive activity, with localization in the frontal, central, and parietal regions of the cortex, and with specific interactions between these regions in individuals of different ethnic groups and genders. In Russian students, mental counting is accompanied by increased synchronization of the EEG in the right hemisphere in these regions, while in Vietnamese students, both hemispheres are involved in the activity. In girls, there is a reliable formation of various long and short statistical relationships: in Russian students, there is an intra-hemispheric relationship: symmetrically between the frontal, central, and parietal regions; asymmetrically between the middle temporal and occipital regions on the left, and between the frontal and temporal regions on the right; in Vietnamese students, there is a minimization of the number of cortical regions with synchronized BEA. The study also revealed the features of synchronization of bioelectric activity in the brain of representatives of different ethnic groups, taking into account the level of situational anxiety. In Russian students, during cognitive activity, compared to the background, an increase in the level of anxiety is observed in the trend of regional expansion of integrations of cortical areas of the brain along the fronto-occipital axis without involving the temporal areas. In Vietnamese students, depending on the level of anxiety, there is a shift in the processes of EEG synchronization to the right hemisphere, while in representatives with low and high anxiety, there is a minimization of synchronously working cortical areas.

Keywords: electroencephalography, bioelectric activity of the brain, anxiety level, situational anxiety, student, cognitive activity

Funding statement: no funding was received for writing this manuscript.

Введение

Изучение мозговой активности имеет ключевое значение для понимания механизмов когнитивной деятельности (КД). На современном этапе развития общества возрастает необходимость изучения особенностей функционирования высших отделов ЦНС с учетом индивидуальных характеристик у представителей различных этнических групп. Расширение международного сотрудничества в образовании обуславливает необходимость выявления различий в функционировании структур головного мозга при когнитивной деятельности, что позволит адаптировать образовательные методики и повысить эффективность учебного процесса для учащихся из разных стран. В этом отношении информативным является метод регистрации электроэнцефалограммы (ЭЭГ) при выполнении когнитивной деятельности обучающимися в высших учебных заведениях.

Исследования деятельности ЦНС путем анализа характеристик биоэлектрической активности (БЭА) головного мозга проводятся давно и в этой области накоплен большой опыт, но закономерности пространственного распределения БЭА головного мозга при выполнении когнитивной деятельности с усложнением и с учетом этнической принадлежности молодых лиц изучены недостаточно [7; 2]. За последние десятилетия многими авторами показано, что у молодых лиц при выполнении активной когнитивной деятельности наблюдаются изменения кривой ЭЭГ, спектральной мощности (СМ) ритмов ЭЭГ, а также внутри- и межполушарного распространения волн электроэнцефалограммы [16; 18]. Показано, что при когнитивной нагрузке процессы активации будут распространяться в фронтально-окципитальном направлении [16]. Кроме того, имеются сведения об отличиях БЭА ЭЭГ в состоянии фона и при когнитивной деятельности у представителей разных этнических групп и культур [15]. Выявлено, что у европейцев в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами в затылочной зоне альфа-ритм имеет более высокий уровень мощности. При абстрактно-логической деятельности у европейцев активируется фронтальная кора головного мозга, где регистрируются бета-волны средней мощности, при этом изменения носят локальный характер. У представителей азиатского региона при данной деятельности наблюдается усиление дельта- и тета-активности в височных областях и расширение взаимодействия между различными областями мозга.

Показано, что БЭА ЭЭГ у представителей с разными психофизиологическими особенностями может иметь уникальные характеристики. Так, у обследованных с разным уровнем тревожности при достижении формально одинаковых результатов когнитивной деятельности зафиксированы достоверные отличия по разным параметрам волновой активности головного мозга [5]. Кроме того, при когнитивной деятельности с усложнением разные волны ЭЭГ имели достоверное распределение изменений в разных полушариях головного мозга,

например наблюдалось снижение спектральной мощности бета-ритма по фазам в височно-теменной коре правого полушария головного мозга [5; 1; 6]. Следует отметить, что исследование БЭА в процессе когнитивной деятельности с учетом уровня ситуативной тревожности студентов имеет особую значимость. Результаты изучения уровня тревожности студентов с помощью разных шкал достаточно подробно описаны во многих работах, и большинство из них имеют весьма схожие результаты, которые указывают на высокую представленность респондентов с умеренным и высоким уровнем ситуативной тревожности (СТ). Известно, что уровень тревожности может оказывать существенное влияние на БЭА мозга и на результативность когнитивной деятельности (КД) молодых лиц, поскольку снижает концентрацию, внимание, память, способность к принятию решений и обучению [2; 10; 11]. Существует взаимосвязь между эффективностью когнитивной деятельности и уровнем тревожности (закон Йеркса – Додсона о инвертированной *U*-образной кривой, где максимальная успешность соответствует определенному уровню средней/оптимальной тревожности) [14; 17]. Следует учитывать влияние и климатических условий проживания на функциональное состояние разных систем организма, в том числе на ЦНС. По данным ВОЗ, около 12–50 % студентов имеют психофизиологическое напряжение разного уровня, причиной которого могут быть неблагоприятные климатические условия [1; 12]. Приарктический регион Российской Федерации (Архангельск) и Вьетнам (Ханой) характеризуются множеством очевидных отличий (годовая амплитуда температуры воздуха, среднее количество осадков, общее количество солнечных часов в году и т. д.). Оба региона имеют экстремальные климатические особенности, которые оказывают влияние на физиологическое и психофизиологическое состояние человека, в том числе на уровень тревожности, что может усугубляться интенсивным учебным процессом [20]. Кроме того, представители разных этнических групп и культур по-разному реагируют на одни и те же условия деятельности, что также отражается в особенностях БЭА головного мозга. Известно, что особенности БЭА ЭЭГ представителей разных этнических групп являются отражением традиционных методов обучения и социальной организации общества [15].

Таким образом, особенности БЭА ЭЭГ представителей разных этнических групп обусловлены индивидуальными психофизиологическими факторами, культурно-социологическими (подходы в воспитании и образовании) и средовыми влияниями. Однако остается недостаточно изученным вопрос о том, как данные факторы влияют на пространственную организацию БЭА головного мозга в фоне и при когнитивной деятельности у представителей разных этнических групп.

Цель исследования: выявить особенности пространственной организации биоэлектрической активности головного мозга у российских и вьетнамских студентов в процессе выполнения когнитивной задачи с учетом уровня ситуативной тревожности и пола студентов.

Задачи исследования:

1. Выявить особенности пространственной организации биоэлектрической активности головного мозга у студентов России и Вьетнама в фоновом состоянии и при выполнении когнитивной деятельности.
2. Определить характер межполушарных и внутриполушарных взаимодействий биоэлектрической активности головного мозга с учетом этнической принадлежности и пола обследованных.
3. Проанализировать изменения биоэлектрической активности головного мозга при когнитивной деятельности по сравнению с фоновым состоянием с учетом этнической принадлежности и пола респондентов.
4. Оценить влияние уровня ситуативной тревожности на особенности синхронизации биоэлектрической активности головного мозга у представителей различных этнических групп.

Материалы и методы исследования

В исследовании приняли участие 80 человек: 40 студентов Северного (Арктического) федерального университета (САФУ, Архангельск, РФ, 9 юношей и 31 девушка, средний возраст — $20,37 \pm 1,27$ года) и 40 студентов Ханойского университета естественных наук (VNU-HUS, Ханой, Вьетнам, 14 юношей и 26 девушек, средний возраст — $18,35 \pm 0,89$ года). На момент обследования испытуемые отмечали физическое, психическое и социальное благополучие и не имели жалоб на здоровье. Исследование проводили в соответствии с Хельсинской декларацией Всемирной медицинской ассоциации (1964 год, с изменениями 2013 года), с письменного согласия обследованных после предварительного ознакомления с процедурой исследования.

Уровень СТ определяли с использованием шкалы тревожности Спилбергера – Ханина. Ранжирование обследованных по уровню СТ осуществлялось в соответствии со шкалой: 30 баллов и ниже — низкий, с 31 до 45 баллов — умеренный, выше 46 баллов — высокий уровень СТ.

ЭЭГ записывали с использованием системы «Нейрон-Спектр» («Нейро-софт») в фоновом состоянии (спокойное бодрствование с закрытыми глазами — Ф) и при когнитивной деятельности (когнитивная проба с закрытыми глазами — КД). Когнитивная деятельность представляла собой выполнение последовательных математических операций в уме с двумя разными действиями и с предъявлением результата устно к окончанию 2-минутного промежутка времени (испытуемым предлагалось начать с операции $2 \times 2 + 15$, а затем последовательно умножать полученный результат на 2 и прибавлять 15, стараясь выполнить как можно больше таких операций за отведенное время). В инструкции по когнитивной деятельности озвучивали необходимость выполнить как можно больше математических действий.

Запись ЭЭГ проводили в первой половине дня, в межсессионный период, в изолированном помещении, при температуре 22–23 °С, в положении сидя, действие отвлекающих факторов было сведено к минимуму. Использовали 19 электродов, которые были расположены на поверхности кожи головы монополярно в соответствии с международной системой «10–20» с расположением индифферентных электродов на мочках ушей (рис. 1).

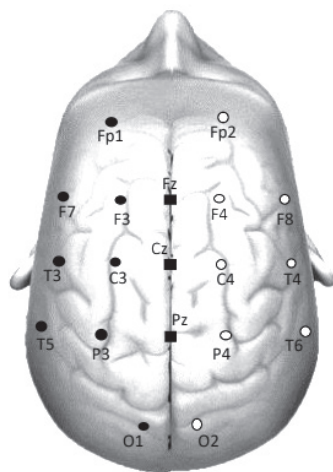


Рис. 1. Схема наложения электродов:

индексация четными цифрами — правое, нечетными — левое полушарие; z — отведения срединной лобно-затылочной области; Fp — переднелобные, F3,4 — лобные; F7,8 — передневисочные, T3,4 — средневисочные, T5,6 — задневисочные; C3,4 — центральные, P3,4 — теменные, O1,2 — затылочные отведения.

Перед обработкой ЭЭГ проводили визуальный анализ электроэнцефалограммы с целью удаления участков с артефактами разной природы. Для анализа ЭЭГ в фоновом состоянии и при выполнении когнитивной деятельности выбирали 60-секундные отрезки ЭЭГ. Расчет показателей БЭА головного мозга осуществляли в программе «Нейрон-Спектр.NET». Анализировали суммарный коэффициент кросс-корреляции (ККр) ЭЭГ межполушарных и внутриполушарных пар отведений головного мозга.

Статистический анализ полученных данных осуществляли с использованием программ «Нейрон-Спектр NET», SPSS-26. Все изучаемые показатели проходили процедуру проверки на нормальность распределения с применением критерия Шапиро – Уилка. Было установлено, что распределение выборки не является нормальным, в связи с этим использовали непараметрические критерии. Для выявления различий коэффициентов ККр ЭЭГ в состоянии фона и при когнитивной деятельности у представителей России и Вьетнама между этническими группами с учетом пола использовали непараметрический критерий Манна – Уитни. Также рассчитывали различия ККр ЭЭГ в фоновом состоянии по сравнению с ККр при когнитивной деятельности, при этом учитывали

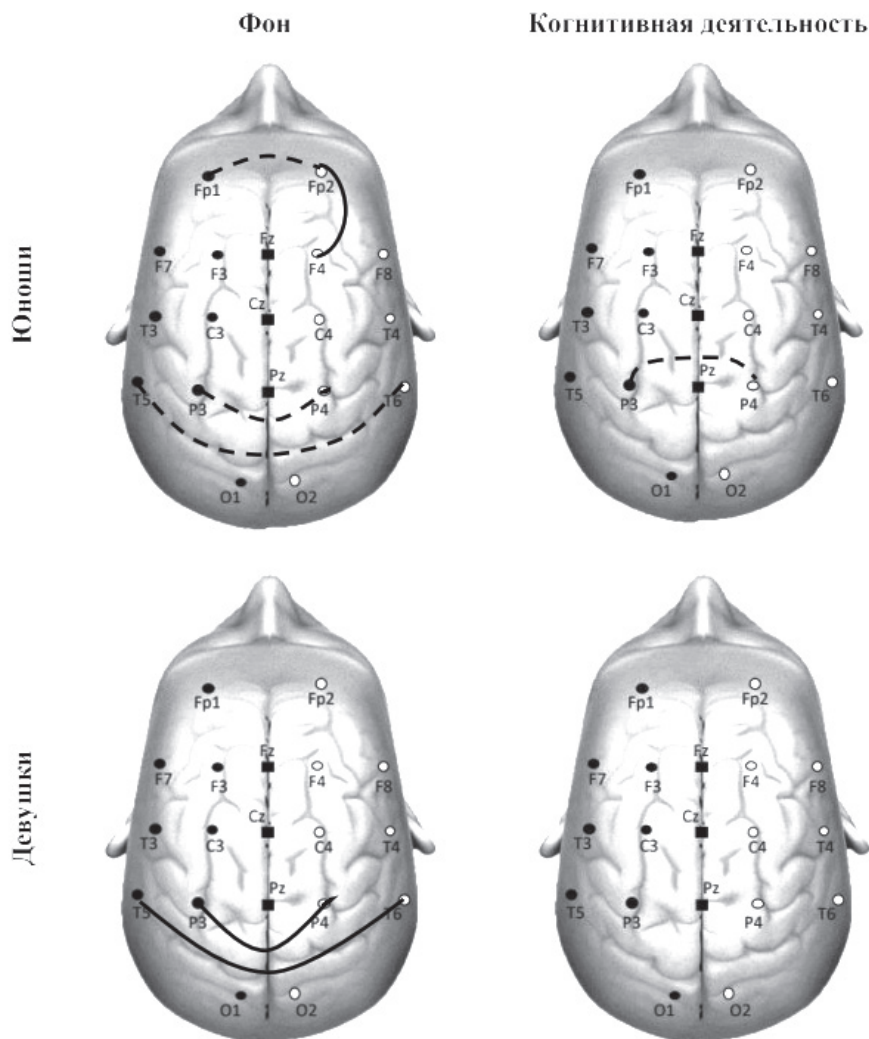
этническую принадлежность и пол респондентов с использованием непараметрического критерия *U*-Уилкоксона для двух связанных выборок. Различия считали значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования

Анализ БЭА ЭЭГ обследованных студентов России и Вьетнама разного пола в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами (Ф) и при выполнении когнитивной деятельности (КД) позволил выявить разницу в локализации и региональной распространенности изменений коэффициентов кросс-корреляции (ККр) ЭЭГ, что свидетельствует об особенностях пространственной организации биоэлектрической активности головного мозга у представителей разных групп (рис. 2). У вьетнамских юношей формируется достоверно большее межполушарное статистическое взаимодействие во фронтальных, теменных и затылочных областях, которое сохраняется при когнитивной деятельности в теменных областях; в группе девушек достоверно более высокие значения ККр формируются у российских представительниц только в состоянии фона между каудальными областями полушарий головного мозга.

Анализ пространственной организации статистических взаимодействий БЭА ЭЭГ у представителей разного пола с учетом принадлежности к азиатской или к российской этнической группе демонстрирует разную локализацию ККр (см. рис. 3). У российских юношей как в фоне, так и при когнитивной деятельности ККр достоверно выше, чем у девушек-россиянок между фронтальными и центральными регионами коры внутри полушарий, у девушек достоверно выше межполушарное взаимодействие в каудальных отделах полушарий головного мозга. У вьетнамских юношей, по сравнению с девушками, зафиксировано достоверно более высокое статистическое межполушарное взаимодействие между центральными и теменными областями в фоне, с добавлением взаимодействия между фронтальными областями при когнитивной нагрузке; у вьетнамских девушек достоверно выше значение ККр внутриполушарно.

Анализ выявленных с использованием непараметрического критерия *U*-Уилкоксона различий ККр ЭЭГ в фоновом состоянии, по сравнению с ККр, при когнитивной деятельности с учетом этнической принадлежности и пола респондентов демонстрирует разную стратегию синхронной активации суммарной БЭА ЭЭГ (см. рис. 4). У российских юношей при когнитивной деятельности, по сравнению с фоном, формируется статистическое взаимодействие БЭА ЭЭГ между фронтальными, средневисочными, центральными и теменными областями с локализацией в правом полушарии, у вьетнамских юношей — в обоих полушариях. У российских девушек при когнитивной деятельности,

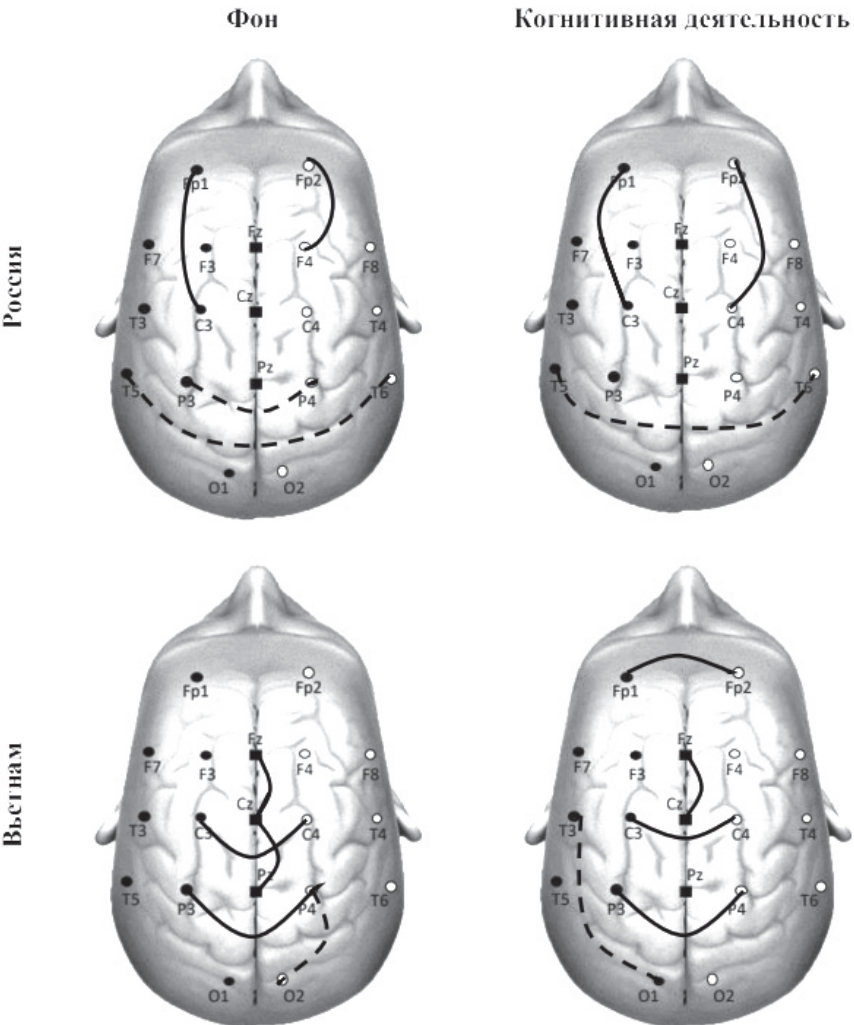


Примечание: прямая линия — значение ККр достоверно выше у представителей России; пунктирная линия — значение ККр достоверно выше у представителей Вьетнама.

Рис. 2. Достоверные отличия ККр ЭЭГ в фоне и при когнитивной деятельности у юношей и девушек России по сравнению с представителями Вьетнама (при $p \leq 0,05$)

по сравнению с фоном, формируются множественные внутрислоушарные статистические взаимодействия от фронтальных к окципитальным областям с большей представленностью в левом полушарии, у вьетнамских девушек формируется схожее взаимодействие, но с более симметричной и локальной представленностью в обоих полушариях.

Анализ пространственной организации суммарного взаимодействия БЭА ЭЭГ у представителей разных этнических групп с учетом уровня ситуативной тревожности показал отличия в локализации ККр при когнитивной



Примечание: прямая линия — значение ККр достоверно выше у юношей; пунктирная линия — значение ККр достоверно выше у девушек.

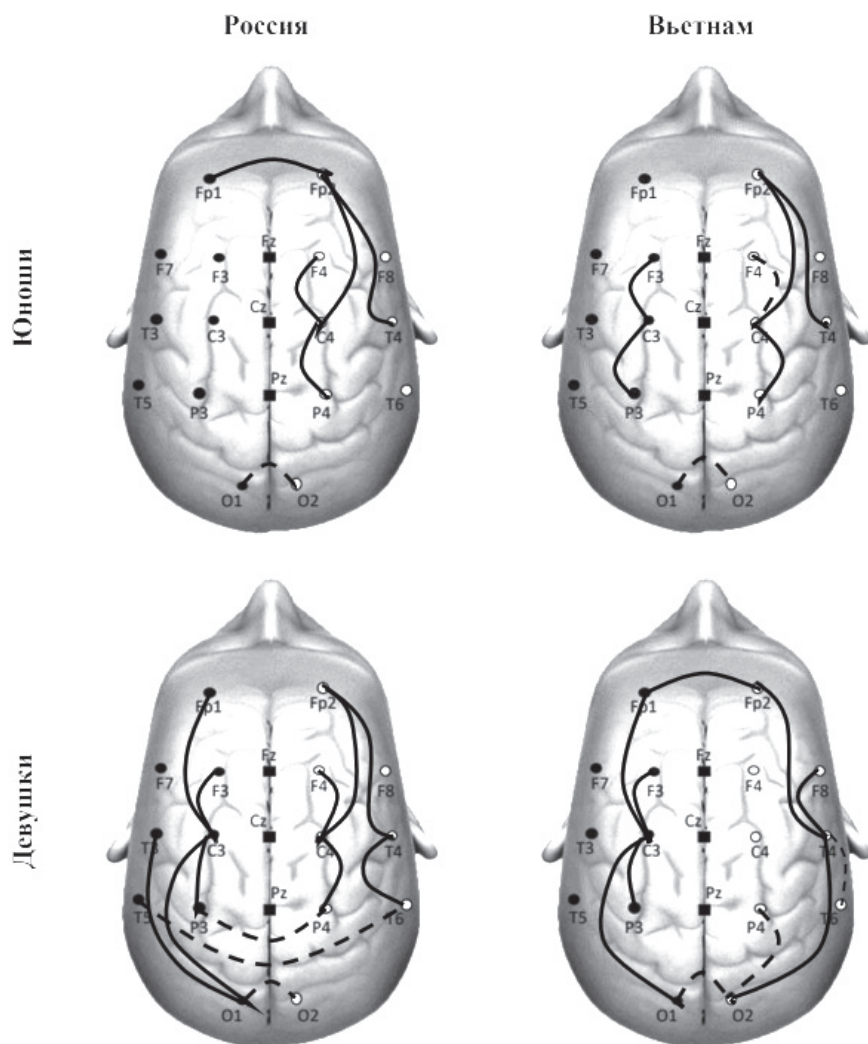
Рис. 3. Достоверные отличия ККр ЭЭГ в фоне и при когнитивной деятельности у юношей Вьетнама и России по сравнению с девушками (при $p \leq 0,05$)

деятельности по сравнению с фоном. В таблице 1 представлено распределение студентов по уровню СТ с учетом этнической принадлежности.

Таблица 1

Распределение студентов России и Вьетнама по уровню ситуативной тревожности

Студенты	Уровень тревожности		
	Низкий	Умеренный	Высокий
Россия	12	15	13
Вьетнам	11	17	12

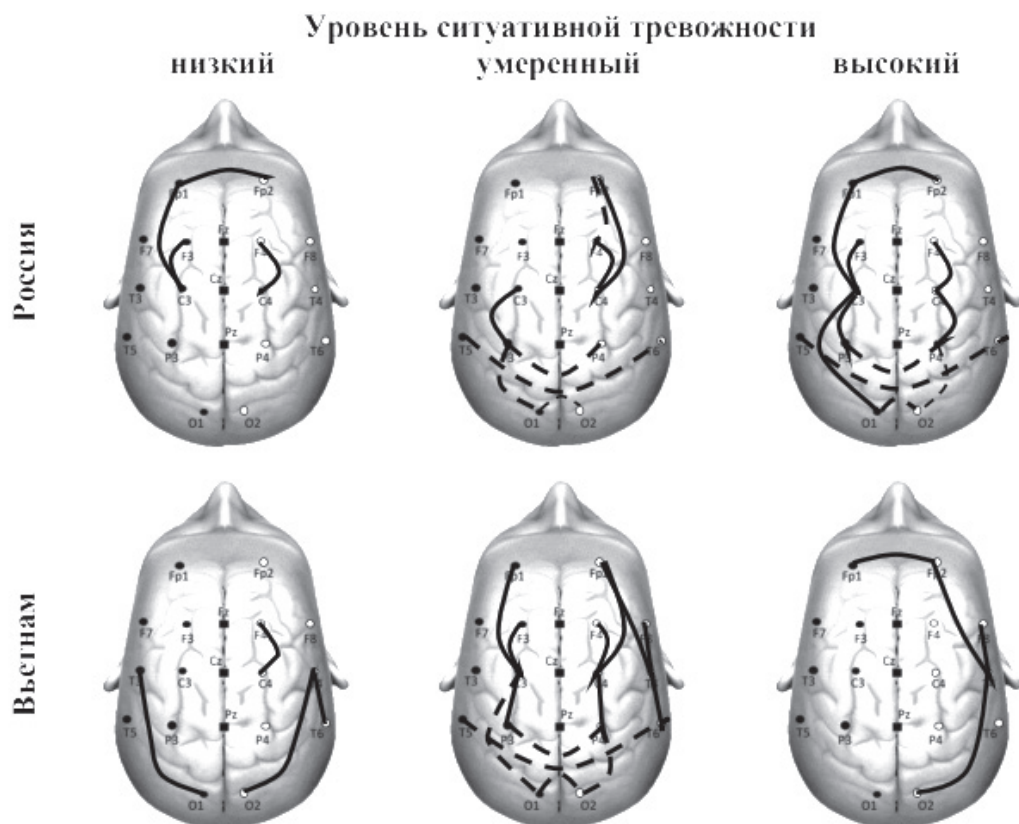


Примечание: сплошная линия — значение ККр достоверно выше при когнитивной деятельности по сравнению с фоном; пунктирная линия — значение ККр достоверно ниже при когнитивной деятельности по сравнению с фоном.

Рис. 4. Достоверные отличия ККр ЭЭГ обследованных студентов при когнитивной деятельности по сравнению с фоном (при $p \leq 0,05$)

При сравнении средних значений ККр ЭЭГ у обследованных с учетом принадлежности к этнической группе выявлена разная локализация и распространенность статистического взаимодействия БЭА у представителей с разным уровнем СТ (см. рис. 5).

У российских студентов прослеживается четкая тенденция к увеличению количества статистического взаимодействия по направлению от фронтальных к окципитальным областям в зависимости от уровня СТ. Так, у россиян с низкой СТ при когнитивной деятельности, по сравнению с фоном, достоверно



Примечание: прямая линия — значение ККр достоверно выше при когнитивной деятельности по сравнению с фоном; пунктирная линия — значение ККр достоверно ниже при когнитивной деятельности по сравнению с фоном.

Рис. 5. Достоверные изменения ККр ЭЭГ при когнитивной деятельности, по сравнению с фоном, у представителей России и Вьетнама с разным уровнем ситуативной тревожности (при $p \leq 0,05$)

более высокие ККр формируются симметрично в обоих полушариях между верхнелобными и центральными областями коры больших полушарий головного мозга, также большая синхронизация БЭА формируется: слева — между переднелобными и центральными, межполушарно — между передне-фронтальными областями. У российских студентов с умеренной СТ в синхронизацию БЭА при когнитивной деятельности, по сравнению с фоном, вовлекаются фронтальные и центральные области правого полушария, центральные и теменные левого полушария, при этом снижается межполушарное статистическое взаимодействие в каудальных областях полушарий головного мозга. У представителей с высоким уровнем СТ при когнитивной деятельности, по сравнению с фоном, наблюдается усиление статистического взаимодействия между соседними отведениями в обоих полушариях головного мозга (F3 – C3, C3 – T5; F4 – C4, C4 – T6), в левом полушарии — между переднелобными,

центральными и окципитальными областями, межполушарно — в передне-лобных областях.

У вьетнамских студентов с низкой СТ достоверно большая синхронизация БЭА при когнитивной деятельности, по сравнению с фоном, смещена в постцентральные области и ККр имеют симметричное расположение между средневисочными и затылочными отведениями обоих полушарий, справа — между верхнелобным и центральным, средневисочным и задневисочным отведениями. У представителей с умеренным уровнем СТ наблюдается усиление взаимодействия между переднелобными и центральными, верхнелобными и центральными, центральными и теменными областями симметрично в обоих полушариях головного мозга, при этом подключаются все теменные области правого полушария, а суммарная синхронизация БЭА в постцентральных областях достоверно ниже. У вьетнамских студентов с высокой СТ при когнитивной деятельности формируются более сильные длинные статистические связи в левой гемисфере между переднелобными и средневисочными, средневисочными и затылочными, передневисочными и средневисочными областями, а также межполушарно между переднелобными областями.

Как показали результаты электроэнцефалографического исследования, пространственная организация синхронизации суммарной БЭА имеет отличия у представителей разных этнических групп как в состоянии спокойного бодрствования, так и при выполнении когнитивной нагрузки. При сравнении ККр БЭА ЭЭГ российских и вьетнамских юношей выявлено достоверно высокая межполушарная синхронизация биоэлектрических процессов у студентов Вьетнама. При сравнении ККр БЭА ЭЭГ девушек межполушарное взаимодействие в постцентральных областях более выражено у российских представительниц. При сравнении параметров ККр в состоянии фона и при КД внутри этнических групп между юношами и девушками также выявлена специфика: у российских юношей наблюдается симметричное внутриполушарное взаимодействие между фронтальными и центральными областями, у девушек — межполушарное в постцентральных областях. У вьетнамских юношей фоновое состояние и КД сопровождается формированием ККр между полушариями (Ф — центральные и теменные области, КД — дополнительно передне-центральные области), у вьетнамских студенток локализация синхронных процессов БЭА не выходит за пределы полушарий (Ф — правое полушарие P4 – O2; КД — левое полушарие T3 – O1).

При оценке изменений ККр при КД, по сравнению с фоном, с учетом этнической группы и пола у российских юношей наблюдается усиление синхронизации процессов суммарной БЭА фронтальных, височных, центральных, теменных областей правого полушария и межполушарно в передне-фронтальной области; у студентов Вьетнама КД сопровождается аналогичным усилением синхронизации суммарной БЭА в правом полушарии с привлечением верхнелобных, центральных и теменных областей левого полушария.

В целом КД у российских студентов сопровождается усилением синхронизации БЭА справа в указанных областях, у вьетнамских студентов в деятельность вовлекаются оба полушария. У девушек при КД наблюдается достоверное формирование разнообразных длинных и коротких статистических взаимосвязей: у российских студенток внутриполушарно: симметрично — между фронтальными, центральными и теменными областями; асимметрично — слева между средневисочной и затылочной, центральной и затылочной, справа — между фронтальными и височными областями. У вьетнамских студенток наблюдалась минимизация количества областей коры с синхронизованной БЭА по сравнению с россиянками: выявлены более высокие ККр слева между передне-фронтальными и центральными, центральными и затылочными областями, справа — передне-фронтальными и средневисочными, средневисочными и затылочными, межполушарно — между передне-фронтальными областями. Таким образом, пространственная организация взаимодействия биоэлектрических процессов коры в фоне и при когнитивной деятельности имеет свою специфику у представителей разных этнических групп с учетом пола. Формирование у девушек длинных кросс-связей с вовлечением от фронтальных до затылочных областей коры головного мозга внутри полушарий свидетельствует о большей степени их интеграции, при выполнении данной когнитивной деятельности (причем у российских студенток эта интеграция носит более общий характер), что предполагает усиленную способность воспринимать и обрабатывать разнородную информацию, решать задачи более синтетически. У юношей синхронизация суммарной БЭА носит более локальный характер с большим вовлечением правого полушария, исключая окципитальные области (отметим, что у вьетнамцев это исключительно внутриполушарные кросс-связи правой и левой гемисфер), что соответствует стратегии концентрации внимания и вовлечения в деятельность специфических мозговых структур для решения математических задач. Кроме того, особенности локализации кросс-корреляционных отношений БЭА мозга представителей разного пола могут быть связаны с организацией функциональной асимметрии и половыми различиями эмоционального сопровождения когнитивной деятельности с усложнением. У представителей женского пола, как правило, степень взаимодействия мозговых процессов при когнитивной деятельности выше, что выражается в более согласованной деятельности регионов коры головного мозга. У юношей различные аспекты когнитивной деятельности сопровождаются более латерализованной активностью, при этом различные аспекты обработки информации разделены между полушариями.

Общим в пространственной организации церебрального биоэлектрического взаимодействия у всех обследованных является вовлечение в когнитивную деятельность через синхронизацию биоэлектрических процессов фронтальных, центральных и теменных областей коры головного мозга. Значимые изменения коэффициентов ККр, локализованные в этих областях, соответствуют представлениям о динамической локализации функций в коре головного мозга.

Известно, что активация фронтальной области головного мозга сопровождается мыслительную деятельность человека, связанную с когнитивным контролем [9]. Многочисленные исследования свидетельствуют, что когнитивная нагрузка, по сравнению с фоном, сопровождается равномерным увеличением уровня внутриполушарных связей [4; 8]. Однако усложнение условий когнитивной деятельности могут повлиять на пространственную организацию взаимодействий областей коры головного мозга в процессе когнитивной деятельности. В нашем исследовании студенты выполняли математические действия с ограничением по времени и с установкой выполнить максимальное количество действий, что усложняло деятельность и могло вызвать напряжение ситуативной тревожности. Центральные и теменные доли мозга играют ключевую роль в интеграции сенсорной информации и координации внимания и отвечают за восприятие, ориентацию внимания на внешние объекты и стимулы. При тревожности, которая возникает в неопределенных ситуациях или в условиях стресса, люди склонны фокусировать внимание на возможных негативных воздействиях стимула, что и ведет к активации центральных и теменных долей [19]. Схожие данные были получены в ЭЭГ-исследовании, где деятельность респондентов была связана с увеличением эмоциональной нагрузки [13]. При выполнении мыслительной деятельности с усложнением мозг должен быстро адаптироваться и обрабатывать информацию о воздействующих стимулах. Это увеличивает координационную работу разных областей мозга, что может вызвать более выраженную синхронизацию нейронных процессов.

В процессе ЭЭГ-исследования была выявлена специфика синхронизации БЭА головного мозга у представителей разных этнических групп с учетом уровня СТ. У российских студентов при когнитивной деятельности, по сравнению с фоном, с увеличением уровня тревожности наблюдается тенденция регионального расширения интеграций областей коры головного мозга. Так, у представителей с высокой СТ наблюдается формирование кросс-связей по фронтально-окципитальной оси без вовлечения височных областей. У вьетнамских студентов в зависимости от уровня СТ наблюдается смещение процессов синхронизации БЭА в правую гемисферу, при этом у представителей с низкой и высокой СТ наблюдается минимизация синхронно работающих областей коры (при низкой СТ — со смещением в окципитально-височные области обоих полушарий, при высокой СТ — по оси фронтально-височно-окципитальной с ККр между переднелобными областями). У представителей с умеренной СТ наблюдается расширение локализации синхронно работающих областей коры головного мозга по направлению фронтально-теменному с достоверной синхронной БЭА во всех височных регионах правого полушария. Выявленная специфика подтверждает закон Йеркса – Додсона о инвертированной *U*-образной кривой, согласно которому максимальная эффективность БЭА соответствует среднему или умеренному уровню тревожности [14].

То есть представители с умеренной СТ имеют более сильные и разнообразные связи между областями коры головного мозга, которые отражаются величиной коэффициентов ККр. По результатам нашего исследования БЭА российских представителей максимальное количество ККр характерно для студентов с высокой СТ. Формирование ККр и их разнообразие при КД можно объяснить особенностями нейрофизиологических механизмов регуляции когнитивных функций — уровень СТ коррелирует с уровнем высвобождения катехоламинов и глюкокортикоидов, влияющих на скорость возникновения и проведения биоэлектрического потенциала нейронов коры. У представителей с низкой СТ существует баланс между возбуждением и торможением, что отражается в формировании локальных взаимосвязей между функционально-специфическими для данной деятельности областями. Небольшое смещение баланса в сторону возбуждения у студентов из России с умеренной СТ приводит к небольшому расширению синхронизации БЭА. У представителей России с высокой СТ и Вьетнама со средней СТ смещение равновесия в сторону возбуждения вызывает вовлечение в реализацию когнитивной нагрузки дополнительных областей коры больших полушарий. У вьетнамских студентов с высокой СТ, вероятно, дисбаланс возбуждения/торможения приводит к десинхронизации между различными областями мозга, что минимизирует формирование ККр.

Таким образом, у представителей разной этнической принадлежности с учетом пола и уровня ситуативной тревожности выявлены особенности БЭА ЭЭГ при выполнении когнитивной деятельности с усложнением (табл. 2).

Очевидно, что эти особенности обусловлены совокупностью влияния индивидуальных, социально-культурных, образовательных, нейрофизиологических, поведенческих факторов на динамику взаимодействия нейронных сетей мозга. Так, российская образовательная традиция, ориентированная на аналитическое и индивидуальное мышление, формирует более локализованную и латерализованную активность, тогда как вьетнамская традиция с коллективистским и интегративным подходом обеспечивает симметричное вовлечение обоих полушарий. Средовые факторы, включая жаркий климат, через повышение ситуативной тревожности влияют на синхронизацию биоэлектрической активности и могут минимизировать число вовлеченных корковых областей. Таким образом, сочетание культурно-образовательных и климатических факторов определяет особенности пространственной организации БЭА при когнитивной деятельности. Полученные данные подчеркивают необходимость изучения пространственной организации БЭА ЭЭГ головного мозга представителей разных культур, с разным уровнем устойчивости к стресс-воздействиям. Понимание особенностей церебрального обеспечения когнитивных функций с учетом индивидуальных, национальных и половых особенностей позволит оптимизировать учебные программы для повышения эффективности обучения.

Таблица 2

Особенности БЭА головного мозга у студентов России и Вьетнама

Группа	Пол	Локализация синхронизации	Особенности при когнитивной деятельности	Влияние ситуативной тревожности
Россия	Юноши	Фронтальные, центральные, теменные, правое полушарие	Усиление внутрислошарной и межполушарной синхронизации	Высокая СТ — расширение межрегиональных связей
	Девушки	Фронтальные, центральные, теменные, межполушарное взаимодействие	Длинные и короткие внутрислошарные связи, интеграция коры	Высокая СТ — усиление интеграции по фронтально-окипитальной оси
Вьетнам	Юноши	Фронтальные, центральные, теменные, оба полушария	Симметричное межполушарное взаимодействие	Низкая/высокая СТ — минимизация синхронной активности; умеренная СТ — расширение локализации
	Девушки	Внутрислошарные связи, локальные	Минимальное число синхронных областей	Высокая СТ — длинные связи в левой гемисфере; умеренная СТ — симметричное усиление взаимодействия

Рекомендации:

1. При организации учебного процесса целесообразно учитывать различия в нейрофизиологических механизмах когнитивной деятельности у студентов разных этнических групп, включая особенности межполушарной синхронизации биоэлектрической активности головного мозга.

2. Рекомендуется учитывать уровень ситуативной тревожности как фактор, влияющий на организацию биоэлектрической активности и эффективность когнитивной деятельности, с целью его оптимизации.

3. Целесообразно проведение дальнейших исследований с расширением выборки и учетом дополнительных факторов, влияющих на биоэлектрическую активность головного мозга.

Заключение

По результатам проведенного исследования были сделаны следующие выводы.

1. Было установлено, что пространственная организация биоэлектрической активности головного мозга у студентов России и Вьетнама имеет отличия как в фоновом состоянии, так и при когнитивной деятельности, что проявляется в различной локализации и распространенности межполушарных и внутриполушарных взаимодействий.

2. Показано, что при когнитивной деятельности у российских студентов наблюдается преимущественное усиление синхронизации биоэлектрической активности в правом полушарии, тогда как у вьетнамских студентов в деятельность вовлекаются оба полушария.

3. Выявлены гендерные различия: у девушек формируется более выраженная система длинных и коротких внутриполушарных связей, свидетельствующая о большей интеграции корковых процессов, тогда как у юношей синхронизация носит более локальный и латерализованный характер.

4. Было установлено, что уровень ситуативной тревожности оказывает значимое влияние на пространственную организацию биоэлектрической активности: у российских студентов с повышением тревожности наблюдается расширение межрегиональных взаимодействий, тогда как у вьетнамских студентов отмечается смещение синхронизации и тенденция к уменьшению количества синхронно работающих областей коры головного мозга.

Список источников

1. Афтанас Л. И., Павлов С. В. Особенности межполушарного распределения спектров мощности ЭЭГ у высокотренированных индивидуумов в эмоционально-нейтральных условиях и при отрицательной эмоциональной активации // Журнал высшей нервной деятельности имени И. П. Павлова. 2005. Т. 55. № 4. С. 322–328. EDN: HRZWNP.

2. Бабаев Т. М., Казаренков В. И. Особенности переживания тревожности у греческих и российских студентов // Личностно-профессиональное развитие человека. Возрастные, гендерные и межкультурные аспекты. Акмеология. 2018. С. 18–23. EDN: XNBTXN.

3. Вольф Н. В. Нейрофизиологический анализ механизмов полового диморфизма когнитивных стратегий: роль селективных процессов / Н. В. Вольф, О. М. Разумникова, А. О. Брызгалов и др. // Бюллетень Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2010. Т. 30, № 4. С. 6–13. EDN: MXGOFJ.

4. Вольф Н. В., Тарасов И. В. Связь осцилляций на частотах тета- и бета-ритмов ЭЭГ с эффективностью творческой деятельности // Физиология человека. 2010. Т. 36. №2. С. 15–22. EDN LOJPBT.

5. Джебраилова Т. Д., Коробейникова И. И., Каратыгин Н. А., Бирюкова Е. В., Венерина Я. А. Динамика спектральных характеристик ЭЭГ у лиц с разной личностной тревожностью при когнитивной деятельности // Физиология человека. 2021. Т. 47. №1. С. 20–30. <https://doi.org/10.31857/S0131164621010033>. EDN: AEIHVY.

6. Джебраилова Т. Д., Коробейникова И. И., Каратыгин Н. А., Венерина Я. А., Янтикова Е. В. Когерентность тета1-диапазона ЭЭГ в состоянии относительного покоя и при тестировании внимания у испытуемых с разной личностной тревожностью // Журнал высшей нервной деятельности имени И. П. Павлова. 2023. Т. 73. № 2. С. 214–229. <https://doi.org/10.31857/S0044467723020041>. EDN: IFTQLH.
7. Иваницкий А. М. «Чтение мозга»: достижения, перспективы и этические проблемы // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. 2012. Т. 62. № 2. С. 133–142. EDN: OWXFFP.
8. Кузнецова Т. Г., Горбачева М. В., Булгакова О. С. Кросскорреляционный анализ ЭЭГ и асимметрия альфа-ритма у студентов при достижении цели // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 10-5. С. 845–848. EDN: ULVDEP.
9. Кураев Г. А., Соболева И. В., Сороколетова Л. Г. Формирование функциональной межполушарной асимметрии в динамике обучения // Функциональная межполушарная асимметрия: хрестоматия / под ред. Н. Н. Боголепова, В. Ф. Фокина. Москва: Научный мир, 2004. 728 с. С. 215–262. ISBN: 5-89176-257-9. EDN: YSZUTD.
10. Рабаданова А. И., Черкесова Д. У. Особенности синхронизации ритмов ЭЭГ покоя у девушек с высоким и низким уровнем тревожности // Экспериментальная психология. 2024. Т. 17. № 3. С. 185–202. <https://doi.org/10.17759/exppsy.2024170313>. EDN: TEWQQU.
11. Bayram N., Bilgel N. The prevalence and socio-demographic correlations of depression, anxiety and stress among a group of university students // Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology. 2008. Vol. 43, № 8. P. 667–672. <https://doi.org/10.1007/s00127-008-0345-x>. EDN: EPNXQE
12. Bruffaerts R., Mortier P., Kiekens G., Auerbach R. P., Cuijpers P., Demyttenaere K., Green J. G., Nock M. K., Kessler R. C. Mental health problems in college freshmen: Prevalence and academic functioning // Journal of Affective Disorders. 2018. Vol. 225, № 1. P. 97–103. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2017.07.044>
13. Davidson R. J. Anterior cerebral asymmetry and the nature of emotion // Brain and Cognition. 1992. Vol. 20. Iss. 1. P. 125–151. [https://doi.org/10.1016/0278-2626\(92\)90065-T](https://doi.org/10.1016/0278-2626(92)90065-T)
14. Derryberry D., Reed M. A. Anxiety-related attentional biases and their regulation by attentional control // Journal of Abnormal Psychology. 2002. Vol. 111. № 2. P. 225–236. EDN: EGOEF
15. Immordino-Yang M. H., Yang X. F. Cultural differences in the neural correlates of social-emotional feelings: an interdisciplinary, developmental perspective // Current Opinion in Psychology. 2017. Vol. 17. P. 34–40. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2017.06.008>. EDN: YGHQRH.
16. Klimesch W. The frequency architecture of brain and brain-body oscillations: an analysis // European Journal of Neuroscience. 2018. Vol. 48, № 7. P. 2431–2453. <https://doi.org/10.1111/ejn.14192>. EDN: NFTZPL.
17. McNaughton N., Gray J. A. The Neuropsychology of Anxiety: An enquiry into the functions of the septo-hippocampal system. 3rd ed. Oxford: Oxford University Press, 2024. 648 p. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198843313.001.0001>
18. Michel C. M., Koenig T. E. EG microstates as a tool for studying the temporal dynamics of whole-brain neuronal networks: A review // Neuroimage. 2018. Vol. 180. P. 577–593. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.11.062>. EDN: YENFVB.

19. Paulus M. P., Stein M. B. An insular view of anxiety // *Biological Psychiatry*. 2006. Vol. 60. Iss. 4. P. 383–387. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2006.03.042>
20. Spielberger C. D., Reheiser E. C. Assessment of Emotions: Anxiety, Anger, Depression, and Curiosity // *Applied Psychology: Health and Well-Being*. 2009. Vol. 1. Iss. 3. P. 271–302. <https://doi.org/10.1111/j.1758-0854.2009.01017.x>

References

1. Aftanas L. I., Pavlov S. V. Features of interhemispheric distribution of EEG power spectra in high-anxiety individuals in emotionally neutral conditions and during negative emotional activation. *Journal of Higher Nervous Activity named after I. P. Pavlov*. 2005;55(4):322–328. EDN: HRZWNP. (In Russ.).
2. Babaev T. M., Kazarenkov V. I. Features of anxiety experience among Greek and Russian students. *Personal and Professional Development of a Person. Age, Gender and Intercultural Aspects. Acmeology*. 2018. P. 18–23. EDN: XNBTXN. (In Russ.).
3. Volf N. V., Razumnikova O. M., Bryzgalov A. O. et al. Neurophysiological analysis of mechanisms of sexual dimorphism of cognitive strategies: the role of selective processes. *Bulletin of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2010;30(4):6–13. EDN: MXGOFJ. (In Russ.).
4. Volf N. V., Tarasov I. V. Relationship between theta and beta EEG rhythm oscillations and the effectiveness of creative activity. *Human Physiology*. 2010;36(2):15–22. EDN: LOJPBT. (In Russ.).
5. Dzhebrailova T. D., Korobeinikova I. I., Karatygin N. A., Biryukova E. V., Venerina Ya. A. Dynamics of EEG spectral characteristics in individuals with different trait anxiety during cognitive activity. *Human Physiology*. 2021;47(1):20–30. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0131164621010033>. EDN: AEIHVY.
6. Dzhebrailova T. D., Korobeinikova I. I., Karatygin N. A., Venerina Ya. A., Yantikova E. V. Theta1-EEG coherence in a state of relative rest and during attention testing in subjects with different trait anxiety. *Journal of Higher Nervous Activity named after I. P. Pavlov*. 2023;73(2):214–229. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0044467723020041>. EDN: IFTQLH.
7. Ivanitsky A. M. “Brain reading”: achievements, prospects and ethical problems. *Journal of Higher Nervous Activity named after I. P. Pavlov*. 2012;62(2):133–142. EDN: OWXFFP. (In Russ.).
8. Kuznetsova T. G., Gorbacheva M. V., Bulgakova O. S. Cross-correlation analysis of EEG and alpha rhythm asymmetry in students when achieving a goal. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2015;(10-5):845–848. EDN: ULVDEP. (In Russ.).
9. Kuraev G. A., Soboleva I. V., Sorokoletova L. G. Formation of functional interhemispheric asymmetry in the dynamics of learning. *Functional Interhemispheric Asymmetry: textbook*. Ed. by N. N. Bogolepov, V. F. Fokin. Moscow: Nauchnyi Mir; 2004. 728 p. P. 215–262. EDN: YSZUTD. (In Russ.).
10. Rabadanova A. I., Cherkesova D. U. Features of resting EEG rhythm synchronization in girls with high and low anxiety levels. *Experimental Psychology*. 2024;17(3):185–202. (In Russ.). <https://doi.org/10.17759/exppsy.2024170313>. EDN: TEWQQU.
11. Bayram N., Bilgel N. The prevalence and socio-demographic correlations of depression, anxiety and stress among a group of university students. *Social Psychiatry*

and Psychiatric Epidemiology. 2008;43(8):667-672. <https://doi.org/10.1007/s00127-008-0345-x>. EDN: EPNXQE.

12. Bruffaerts R., Mortier P., Kiekens G., Auerbach R. P., Cuijpers P., Demyttenaere K., Green J. G., Nock M. K., Kessler R. C. Mental health problems in college freshmen: Prevalence and academic functioning. *Journal of Affective Disorders*. 2018;225(1):97–103. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2017.07.044>

13. Davidson R. J. Anterior cerebral asymmetry and the nature of emotion. *Brain and Cognition*. 1992;20(1):125–151. [https://doi.org/10.1016/0278-2626\(92\)90065-T](https://doi.org/10.1016/0278-2626(92)90065-T)

14. Derryberry D., Reed M. A. Anxiety-related attentional biases and their regulation by attentional control. *Journal of Abnormal Psychology*. 2002;111(2):225–236. EDN: EOGEEF.

15. Immordino-Yang M. H., Yang X. F. Cultural differences in the neural correlates of social-emotional feelings: an interdisciplinary, developmental perspective. *Current Opinion in Psychology*. 2017;17:34–40. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2017.06.008>. EDN: YGHQRH.

16. Klimesch W. The frequency architecture of brain and brain-body oscillations: an analysis. *European Journal of Neuroscience*. 2018;48(7):2431–2453. <https://doi.org/10.1111/ejn.14192>. EDN: NFTZPL.

17. McNaughton N., Gray J. A. *The Neuropsychology of Anxiety: An enquiry into the functions of the septo-hippocampal system*. 3rd ed. Oxford: Oxford University Press; 2024. 648 p. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198843313.001.0001>

18. Michel C. M., Koenig T. EEG microstates as a tool for studying the temporal dynamics of whole-brain neuronal networks: A review. *Neuroimage*. 2018;180:577–593. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.11.062>. EDN: YENFVB.

19. Paulus M. P., Stein M. B. An insular view of anxiety. *Biological Psychiatry*. 2006;60(4):383–387. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2006.03.042>

20. Spielberger C. D., Reheiser E. C. *Assessment of Emotions: Anxiety, Anger, Depression, and Curiosity*. *Applied Psychology: Health and Well-Being*. 2009;1(3):271–302. <https://doi.org/10.1111/j.1758-0854.2009.01017.x>

Информация об авторах / Information about the authors:

Чанг Тху Чанг — аспирант кафедры биологии человека и биотехнических систем, Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова, Архангельск, Россия.

Chang Thu Chan — Postgraduate Student of the Department of Human Biology and Biotechnical Systems, Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia.

trangbo189@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0002-0660-3569>

Звягина Наталья Васильевна — кандидат биологических наук, доцент, заведующая кафедрой биологии человека и биотехнических систем, Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова, Архангельск, Россия.

Zvyagina Natalya Vasilievna — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Human Biology and Biotechnical Systems, Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia.

n.zvyagina@narfu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8384-0424>

Талеева Анна Ильинична — кандидат биологических наук, кафедра биологии человека и биотехнических систем, Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова, Архангельск, Россия.

Taleeva Anna Ilyinichna — Candidate of Biological Sciences, Department of Human Biology and Biotechnical Systems, Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia.

a.taleeva@narfu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9346-6357>

Клыков Антон Владимирович — аспирант кафедры биологии человека и биотехнических систем, Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова, Архангельск, Россия.

Klykov Anton Vladimirovich — Postgraduate Student of the Department of Human Biology and Biotechnical Systems, Northern (Arctic) Federal University.

a.klikov@narfu.ru, <https://orcid.org/0009-0007-4828-7417>

Вклад авторов:

Чан Тху Чанг — сбор и обработка материалов; концепция и дизайн исследования.

Наталья Васильевна Звягина — написание текста статьи; сбор и обработка материалов; концепция и дизайн исследования; анализ полученных данных.

Анна Ильинична Талеева — написание текста статьи; анализ полученных данных.

Антон Владимирович Клыков — написание текста статьи.

Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Authors' contributions:

Thu Chan Chang — data curation (collection and processing), investigation; conceptualization, study design.

Natalya Vasilievna Zvyagina — writing the original draft; data curation (collection and processing); conceptualization, study design; data analysis.

Anna Ilyinichna Taleeva — writing the original draft; data analysis.

Anton Vladimirovich Klykov — writing the original draft.

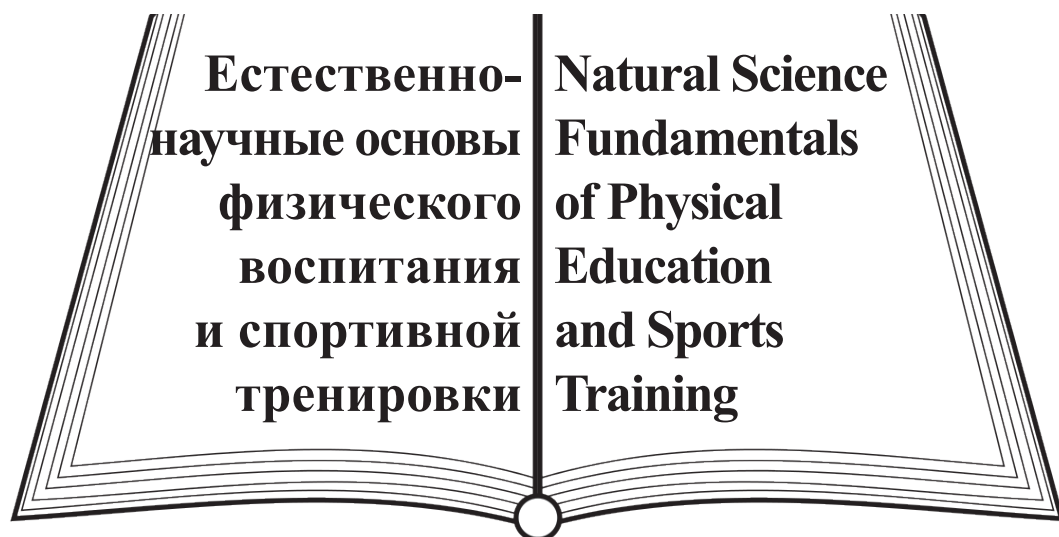
All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no relevant conflict of interests.

Статья поступила в редакцию: 09.02.2026;
одобрена после доработки: 04.04.2026;
принята к публикации: 05.04.2026.

The article was submitted: 09.02.2026;
approved after reviewing: 04.04.2026;
accepted for publication: 05.04.2026.



Исследовательская статья

УДК 7.092

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-166-177

**Александр Леонович Оганджанов¹,
Геннадий Васильевич Самойлов²**

¹ Московский городской педагогический университет,
Москва, Россия

² Спортивный клуб «Химки»,
Химки, Россия

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СОРЕВНОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВЕДУЩИХ БАРЬЕРИСТОК МИРА И РОССИИ В БЕГЕ НА 400 М

Аннотация. Целевая установка Минспорта и Олимпийского комитета РФ в настоящий период — участие наших олимпийцев в соревнованиях ближайшей летней Олимпиады-2028. Отстранение российских легкоатлетов от участия в международных соревнованиях с 2015 г. несколько снизило мотивацию отечественных спортсменов к целенаправленной подготовке, следствием чего явилось постепенное снижение соревновательных результатов почти во всех легкоатлетических дисциплинах. Однако рано или поздно российские легкоатлеты выйдут на международную арену и им предстоит предпринять значительные усилия, связанные с сохранением ранее имеющихся лидирующих позиций во многих легкоатлетических дисциплинах, в том числе в барьерном беге, где наши женщины-барьеристки были на ведущих позициях

в различные периоды развития мировой легкой атлетики. Цель исследования состояла в анализе различий в кинематических параметрах соревновательной деятельности барьеристок мировой элиты и отечественных лидеров в беге на 400 м с барьерами по показателям соревновательной деятельности спортсменок в последние годы. Методы исследования включали анализ видеоматериалов международных соревнований, чемпионатов России, мира и Олимпийских игр в период 2021–2025 гг. с помощью видеоанализа с использованием программного обеспечения Dartfish. Сравнительный анализ показателей соревновательной деятельности барьеристок позволил выделить показатели технической подготовленности спортсменок, по которым в последнее время наметилось отставание отечественных барьеристок от быстро прогрессирующих ведущих спортсменок мира в беге на длинную барьерную дистанцию. Были определены стороны специальной подготовленности российских барьеристок, лимитирующие рост соревновательных результатов спортсменок на этой дистанции. Отечественные барьеристки, специализирующиеся на длинной барьерной дистанции, отстают от элитной группы бегуний в таких показателях, как запас скорости, количество шагов на всех участках дистанции, особенно на ее заключительной части. Более низкие показатели дистанционной скорости российских барьеристок связаны с меньшей длиной бегового шага на всех участках дистанции при одинаковых с мировыми лидерами темповых показателях беговых шагов, что, на наш взгляд связано прежде всего с отставанием российских барьеристок в скоростно-силовой подготовленности. При этом достоверных межгрупповых различий во временных параметрах преодоления препятствий у спортсменок двух групп не обнаружены.

Ключевые слова: легкая атлетика, барьерный бег, соревновательная деятельность, видеоанализ, кинематические параметры

Финансирование: исследование не имело финансовой поддержки.

Research article

UDC 7.092

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-166-177

**Alexander Leonovich Ogandganov¹,
Gennadiy Vasilievich Samoilov²**

¹ Moscow City University,
Moscow, Russia

² Sports Club «Khimki»,
Khimki, Russia

KINEMATIC INDICATORS OF COMPETITIVE ACTIVITY OF THE WORLD'S AND RUSSIA'S LEADING HURDLERS IN THE 400 M

Abstract. The target setting of the Ministry of Sports and the Olympic Committee of the Russian Federation at the present period is the participation of our Olympians in the competitions of the next summer Olympics-2028. The suspension of Russian

athletes from participating in international competitions since 2015 has somewhat reduced the motivation of domestic athletes for targeted training, which resulted in a gradual decrease in competitive results in almost all athletics disciplines. However, sooner or later, Russian athletes will enter the international arena and significant efforts will have to be made to maintain their previous leading positions in many athletics disciplines, including hurdling, where our women hurdlers were in leading positions at various times in the development of world athletics. The purpose of the study was to analyze the differences in the kinematic parameters of the competitive activities of the world elite hurdlers and domestic leaders in the 400 m hurdles in terms of the indicators of the competitive activities of athletes in recent years. The research methods included the analysis of video materials from international competitions, Russian championships, the world and the Olympic Games in the period 2021–2025 using video analysis software “Dartfish”. A comparative analysis of the indicators of competitive activity of hurdlers made it possible to single out the indicators of the technical readiness of athletes, according to which recently there has been a lag of domestic hurdlers from the rapidly progressing leading athletes in the world in running a long barrier distance. The parties to the special preparedness of Russian hurdlers have been identified, limiting the growth of competitive results of athletes at this distance. Domestic hurdlers specializing in the long barrier distance lag behind the elite group of runners in such indicators as the speed reserve, the number of steps in all sections of the distance, especially in its final part. Lower indicators of the distance speed of Russian hurdlers are associated with a shorter running step length in all sections of the distance with the same pace indicators of running steps as the world leaders, which in our opinion is primarily due to the lag of Russian hurdlers in speed and strength preparedness. At the same time, no reliable between-group differences in the time parameters of overcoming obstacles were found in athletes of two groups.

Keywords: athletics, hurdling, competitive activity, video analysis, kinematic parameters

Funding statement: no funding was received for writing this manuscript.

Введение

На настоящем этапе в приоритеты Министерства спорта и Олимпийского комитета РФ входит скорейшее возвращение российских спортсменов на олимпийскую арену. Это в полной мере касается российских легкоатлетов, которые в течение последних десяти лет отстранены от выступлений на крупнейших международных форумах.

На современном этапе развития мировой легкой атлетики наблюдается достаточно интенсивный рост соревновательных результатов. Особенно это заметно в беговых видах легкой атлетики, как у лидеров, так и у спортсменов, занимающих места во второй и третьей десятке мирового рейтинга. Встает задача — оценить современные тенденции развития мирового легкоатлетического спорта, проследить динамику результатов в отдельных дисциплинах, проанализировать, чем обусловлен рост соревновательных результатов ведущих барьеристок мира.

Рано или поздно российские легкоатлеты выйдут на международную арену и им предстоит предпринять значительные усилия, связанные с сохранением ранее имеющихся лидирующих позиций во многих легкоатлетических дисциплинах. В полной мере это относится и к некогда очень сильному отечественному виду легкой атлетики — женскому бегу на 400 м с барьерами. Это доказано многочисленными успехами Т. Зеленцовой, М. Пономаревой, М. Степановой, И. Приваловой, Ю. Печенкиной, Н. Антюх, которые в советский и российский период неоднократно устанавливали мировые рекорды, становились победителями и призерами Олимпийских игр, чемпионатов мира и Европы.

Цель исследования состояла в анализе различий в кинематических параметрах соревновательной деятельности барьеристок мировой элиты и отечественных лидеров в беге на 400 м с барьерами. На наш взгляд, проведенный сравнительный анализ основных параметров соревновательной деятельности барьеристок позволит отечественным специалистам определить те приоритеты в подготовке российских спортсменок, которые помогут им со временем восстановить лидирующие позиции и выйти на высокий международный уровень. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- 1) определить основные параметры соревновательной деятельности, характеризующие отставание отечественных барьеристок от мировых лидеров барьерного бега на 400 м;
- 2) выделить лимитирующие факторы специальной подготовленности отечественных барьеристок, определяющие отставание в результатах от спортсменок мировой элиты барьерного бега.

Материалы и методы исследования

Для сравнения соревновательной деятельности сильнейших бегуний на 400 м с барьерами РФ и мира был проведен анализ видеоматериалов с международных соревнований, чемпионатов России, мира и Олимпийских игр (2021–2025 гг.) с использованием программного обеспечения Dartfish.

В ходе исследования определялись следующие параметры соревновательной деятельности бегуний в беге на 400 м с барьерами:

- *общее время преодоления дистанции*: от начала первого движения на старте до момента касания грудью проекции финишной линии;
- *время стартового разбега*: от начала первого движения на старте до момента касания стопой дорожки при приземлении после преодоления первого барьера;
- *время преодоления межбарьерного блока*: от момента касания стопой дорожки при приземлении после преодоления барьера до момента касания стопой дорожки при приземлении после преодоления следующего барьера;

- *время пробегания финишного отрезка*: от момента касания стопой дорожки при приземлении после преодоления десятого барьера до момента касания грудью проекции финишной линии;
- *время выполнения барьерного шага*: от момента касания стопой дорожки при выполнении отталкивания на барьер до момента касания стопой дорожки при приземлении после преодоления барьера;
- *количество беговых шагов на участке дистанции*, выполняемых спортсменом в каждой части барьерной дистанции.

Регистрировался 31 временной параметр в каждом забеге, что позволяло в дальнейшем определить время, среднюю скорость и темп беговых шагов на всех участках дистанции. Было проанализировано 32 забега 23 сильнейших спортсменок мира и России. Учитывалось более 900 показателей, что позволило провести сравнительный и корреляционный статистический анализ полученных данных.

Результаты исследования

В настоящее время рост спортивных достижений в женском барьерном беге на 400 м прежде всего связан с достижениями американских бегуний. В 2019 г. Д. Мухаммад пробегает 400 м с барьерами за 52,16 с. Начиная с 2022 г. С. Маклафлин-Леврон в течение пяти лет шесть раз улучшает мировое достижение, доведя его в 2024 г. до 50,37 с. В последние годы резко выросла соревновательная конкуренция в беге на круг с барьерами. Итогом этого стало появление целого ряда спортсменов, чьи результаты позволяют бороться за призовые места на самых крупных международных состязаниях. Существенную оппозицию американским барьеристкам составила нидерландская спортсменка Ф. Бол, показавшая в 2024 г. результат 50,95 с, что является рекордом для Европы.

Сильнейшая российская бегунья последних лет Эмилия Тангара в 2025 г. в финале чемпионата страны показала 54,82 с, что соответствует только 33-му месту в рейтинге сильнейших спортсменок в мире. Общий уровень результатов сильнейших российских спортсменок в настоящее время гарантирует только возможность выступления в полуфинале чемпионата мира.

Одним из важнейших показателей, позволяющих оценивать соревновательную деятельность в беге на 400 м с барьерами, является ритм беговых шагов, который отражает не только эффективность распределения усилий по ходу преодоления дистанции, но также индивидуальные особенности подготовленности каждого спортсмена [2–4]. От того, как распределяют свои усилия по дистанции бегуны на 400 м с барьерами, зависит успешность их выступления [1].

Во многих исследованиях при оценке ритма производится сравнение времени бега межбарьерных отрезков по показателю времени приземления

спортсмена после преодоления барьера. В настоящем исследовании мы оценивали отдельно беговой ритм и время выполнения барьерных шагов, что позволило дифференцированно оценить эффективность бегового ритма и успешность выполнения действий барьеристок при преодолении препятствий.

Кинематические параметры беговых шагов на дистанции

Исследование показало, что одной из главных тенденций в современном беге на 400 м с барьерами является уменьшение числа беговых шагов на всей дистанции, что во многом определяется уровнем скоростно-силовой подготовленности спортсменов [1; 5]. В таблице 1 показано число шагов, выполняемых ведущими спортсменками на дистанции в целом и на ее отдельных участках: в стартовом разгоне, на участках от 1-го до 4-го барьера, от 4-го до 7-го барьера, от 7-го до 10-го барьера и на финишном отрезке.

Статистическая взаимосвязь спортивного результата в барьерном беге на круг с общим числом шагов на дистанции очень высока и составляет у женщин $r = 0,862$ при $p < 0,001$. Подобные высокие корреляционные взаимосвязи числа шагов со спортивным результатом наблюдаются практически на всех участках дистанции, кроме стартового разгона. Четыре из пяти сильнейших на сегодняшний день спортсменок преодолевают дистанцию менее чем за 170 шагов (табл. 1).

Таблица 1

Общее число беговых шагов и число беговых шагов, выполняемых спортсменками на отдельных участках дистанции 400 м с барьерами

	Спортсмен	Страна	Результат, с	Старт	1–3-й блок	4–6-й блок	7–9-й блок	Финиш	Сумма шагов
1	С. Маклафлин-Леврон	США	50,37	22	42	42	45	18,5	169,5
2	Ф. Бол	Нидерланды	51,54	22	42	42	45	18,8	169,8
3	Д. Мухаммад	США	51,58	22	43	45	48	19,0	175,0
4	А. Кокрелл	США	51,78	22	41	42	43	18,6	169,6
5	Ж. Джонс	США	52,08	21	42	42	45	18,2	168,2
6	Э. Тангара	Россия	54,84	22	45	45	46	19,0	179,0
7	А. Вершинина	Россия	56,48	22	45	45	50	20,6	182,6
8	Д. Тихонова	Россия	57,02	23	45	47	51	21,0	187,0

Примечание: при оценке числа беговых шагов не учитывается шаг через препятствие.

Источник: составлено авторами по результатам видеонализа (2021–2025 гг.).

Наибольшая разница в количестве шагов у российских спортсменок и спортсменок элитной группы достигается на двух заключительных межбарьерных участках и на финишном отрезке (последняя четверть дистанции): С. Маклафлин на указанном отрезке выполняет 63,5 шага; Ф. Бол — 63,8 шага; А. Кокрелл —

61,6 шага. При этом лучшая среди российских бегуний Э. Тангара выполняет на этом участке дистанции 65 шагов; А. Вершинина — 70,6 шага; Д. Тихонова — 72,0 шага. Проигрыш в длине беговых шагов на заключительной четверти дистанции ведет к тому, что при среднем темпе 3,5 шага в секунду российские спортсменки на заключительных 110 метрах проигрывают более 3 секунд.

Известный специалист и тренер барьеристок Е. Буланчик отмечает, что для барьериста высокого класса на 400 м очень важно уметь удерживать длину бегового шага на фоне утомления и связанного с этим изменения темпа бега [1]. По мере нарастания утомления изменяются условия бега между барьерами и техника преодоления препятствий. При приближении к барьеру на первой половине дистанции все спортсменки несколько увеличивают темп шагов с тем, чтобы не допустить снижения ОЦМТ (общего центра массы тела) перед отталкиванием и выполняют отталкивание, ставя ногу с передней части стопы как можно ближе к проекции ОЦМТ. По мере наступления утомления характер предтолчковых шагов изменяется и последние барьерные шаги спортсменки выполняют опускаясь на пятку как в ходе отталкивания на препятствие, так и приземляясь при спуске с него [1]. У женщин-барьеристок наблюдается динамика постепенного снижения темпа бега по всей дистанции (табл. 2).

Таблица 2

**Средний темп шагов на различных участках дистанции 400 м с барьерами
у сильнейших женщин-барьеристок (ш/с)**

Спортсмен	Маклафлин	Бол	Мухаммад	Кокрелл	Джонс	Тангара	Вершинина	Тихонова
Страна	США	Нидерланды	США	США	США	Россия	Россия	Россия
Результат	50,37	51,54	51,58	51,78	52,08	54,84	56,48	57,02
Разгон	4,11	3,93	4,04	3,95	3,77	3,74	3,74	3,77
1-й блок	4,02	3,97	4,09	3,74	3,89	3,83	3,81	3,74
2-й блок	3,87	3,88	3,88	3,93	3,74	3,83	3,80	3,76
3-й блок	3,88	3,77	4,11	3,77	3,69	3,81	3,83	3,75
4-й блок	3,81	3,65	3,72	3,68	3,57	3,83	3,78	3,76
5-й блок	3,71	3,50	3,76	3,58	3,63	3,67	3,56	3,60
6-й блок	3,56	3,66	3,70	3,42	3,43	3,40	3,40	3,48
7-й блок	3,68	3,63	3,55	3,52	3,51	3,37	3,52	3,44
8-й блок	3,64	3,47	3,64	3,45	3,36	3,46	3,46	3,44
9-й блок	3,53	3,38	3,58	3,57	3,31	3,55	3,37	3,35
Финиш	3,44	3,40	3,38	3,18	3,20	3,39	3,19	3,43

Источник: составлено авторами по результатам видеонализа (2021–2025 гг.).

Некоторое увеличение темпа на отдельных участках дистанции 400 м с/б связано с:

- увеличением горизонтальной скорости на первой прямой (блоки 2–4);
- изменением количества шагов на межбарьерном блоке;
- изменением условий (переход от бега по прямой к бегу по виражу);

- изменением техники барьерного шага, связанным со сменой толчковой ноги;

- изменением техники перехода барьера вследствие утомления.

Что касается уровня дистанционной скорости у сильнейших спортсменок, то на первых трех межбарьерных отрезках она следующая:

С. Маклафлин-Леврон: 9,19 – 8,84 – 8,88 (м/с);

Ф. Бол: 9,08 – 8,86 – 8,62 (м/с);

Д. Мухаммад: 9,34 – 8,86 – 8,76 (м/с);

У российских спортсменок, призеров чемпионата страны, показатели дистанционной скорости на первой прямой значительно скромнее:

Э. Тангара: 8,16 – 8,16 – 8,14 (м/с);

А. Вершинина: 8,14 – 8,11 – 8,17 (м/с);

Д. Тихонова: 7,98 – 8,02 – 7,99 (м/с).

При среднем отставании российских спортсменок в уровне спортивных результатов в 9,3 % отставание в уровне максимальной дистанционной скорости составляет 11,0 %, что отражает меньший запас скорости у отечественных спортсменок вследствие недостатка в развитии скоростных качеств. В то же время обнаруживается статистически достоверная взаимосвязь соревновательного результата и темпа шагов у женщин на стартовом отрезке ($r = -0,794$; $p < 0,001$) и на первой прямой (3 первых барьерных блока, $r = -0,423$; $p < 0,01$).

Кинематические характеристики преодоления барьеров

Большинство специалистов считают, что техническое мастерство в преодолении барьеров во многом определяет спортивный результат в беге на 400 м [1; 2; 4]. Сложность в оценке техники преодоления барьера в беге на 400 м заключается в том, что эта техника неразрывно связана с ритмом беговых шагов между барьерами и эту связку каждая бегунья совершенствует на тренировках.

Любое изменение в технике бега обязательно приводит к искажению ритма бега между барьерами и связанному с этим изменению в технике преодоления препятствия. Искажение техники барьерного перехода, в свою очередь, приводит к ошибкам в приземлении и, как следствие, к последующим сбоям в ритме на последующих участках дистанции. Налицо причинно-следственная связь, которую следует учитывать при подготовке и анализе соревновательных выступлений. Чем выше скорость бега на первой части дистанции, тем быстрее наступает утомление и тем больше сбивающих факторов, отрицательно влияющих на технику барьерного шага на заключительной части дистанции.

Техника выполнения барьерного шага в начале и конце дистанции при беге на круг различается. В начале дистанции при атаке опорная нога ставится с передней части, прослеживается активное сведение бедер, беговой наклон практически не изменяется при переходе через препятствие, прослеживается быстрое опускание ноги на опору после барьера и активный уход от препятствия.

На первой прямой все спортсмены достигают наивысшей горизонтальной скорости бега, и барьерный шаг естественно вплетается в беговой ритм между барьерами. При этом время барьерного шага ($T_{\text{бар}}$) практически у всех ведущих барьеристок на первой половине прямой близко по значению к 0,40 с. По мере наступления утомления изменяется беговой ритм, в первую очередь темп шагов, что приводит к увеличению времени полета над препятствием. Стопа при отталкивании ставится часто с пятки, при приземлении вследствие снижения активности маховых действий наблюдается опускание на пятку, что усиливает тормозящие усилия. При этом показатель $T_{\text{бар}}$ может увеличиваться даже у высококвалифицированных спортсменок до 0,50 с.

Анализ средних показателей $T_{\text{бар}}$ на дистанции 400 м с барьерами у женщин в исследуемых группах показывает следующее:

- $T_{\text{бар}}$ имеет тенденцию к увеличению по мере наступления утомления вследствие увеличения времени полета;

- индивидуально $T_{\text{бар}}$ у бегуний на 400 м с барьерами связано с особенностями построения межбарьерного бегового ритма и может изменяться в определенных пределах от старта к старту. Так, общее $T_{\text{бар}}$ на дистанции у спортсменов, имеющих близкие результаты, может достоверно различаться. Например, у С. Маклафлин (50,37 с) и Ф. Бол (51,91 с) среднее $T_{\text{бар}}$ на дистанции составляет соответственно $0,47 \pm 0,05$ с и $0,41 \pm 0,02$ с. При беге Ф. Бол на результат 51,54 с в финале чемпионата мира 2025 г. среднее время преодоления препятствия составило $0,44 \pm 0,04$ с.

Таким образом, $T_{\text{бар}}$ в беге на 400 м имеет достаточно индивидуальный характер и во многом зависит от бегового ритма и качества прохождения каждого межбарьерного участка. Даже у спортсменов элитного класса лучший соревновательный результат не всегда совпадает с идеальным преодолением препятствий. В среднем все спортсменки на первых трех барьерах затрачивают на выполнение барьерного шага $0,42 \pm 0,02$ с. На последних трех барьерах этот показатель у женщин составляет $0,48 \pm 0,02$ с. По данному показателю российские барьеристки и ведущие зарубежные спортсменки не имеют достоверных различий ($p > 0,05$).

Выводы

1. Проведенный сравнительный анализ соревновательной деятельности сильнейших спортсменов России и мира, специализирующихся в беге на 400 м с барьерами, показал, что отечественные спортсменки отстают от элитной группы бегуний в таком показателе, как запас скорости. У женщин межгрупповые различия в этих показателях составляют: в уровне результатов различие

в среднем 9,3 %, в уровне максимальной дистанционной скорости — в среднем на 11,0 %. Таким образом, компенсации потерь в запасе по скорости бега за счет специальной выносливости явно недостаточно.

2. Статистический анализ отражает высокий уровень взаимосвязи соревновательного результата с количеством шагов практически на всех участках дистанции для женщин ($p < 0,001$), а уменьшение количества шагов с ростом спортивного результата во многом связано с уровнем скоростно-силовой подготовленности барьеристок. Сильнейшие спортсменки преодолевают 400 м с барьерами менее чем за 170 беговых шагов. Призеры чемпионата России имеют показатели от 179 (Э. Тангара) до 187 шагов (Д. Тихонова). При среднем темпе шагов на дистанции 3,6 шага это приводит к проигрышу 2,5–4,5 секунды.

3. Значительные различия в показателях соревновательной деятельности барьеристок элитной группы и российских спортсменок наблюдаются на последнем участке дистанции (7–10-й барьеры и финишный участок), который спортсменки мировой элиты пробегают за 61,6–63,8 бегового шага, а российские барьеристки — за 65,0–70,6 бегового шага. Проигрыш в длине беговых шагов на заключительной четверти дистанции ведет к тому, что при среднем темпе 3,5 шага в секунду российские спортсменки на заключительных 110 метрах проигрывают более 3 секунд. Таким образом, анализ соревновательной деятельности барьеристок показывает важность универсальной барьерной подготовленности, позволяющей без сбоев в ритме бега преодолевать всю дистанцию, несмотря на наступление утомления на финишном отрезке.

4. Среднестатистические показатели темпа беговых шагов женщин-барьеристок, специализирующихся в беге на 400 м с барьерами, составило $T_{\text{ср}} = 3,63 \pm 0,09$ ш/с. При этом прослеживается тенденция к постепенному снижению темпа шагов: от 3,9 ш/с на первой прямой до 3,4–3,5 ш/с на последней четверти дистанции. Плавность снижения темпа отображает эффективность распределения усилий по ходу дистанции, которая, в свою очередь, напрямую связана с количеством шагов на всех участках дистанции.

5. Время выполнения барьерного шага в обеих группах не имеет достоверных статистических различий ($p > 0,05$) и в основном зависит от характера преодоления дистанции, индивидуальных особенностей и технической подготовленности барьеристок при преодолении препятствий. Время выполнения барьерного шага ($T_{\text{бар}}$) на первой прямой составляет в обеих группах $0,42 \pm 0,02$ с; на последних трех барьерах $T_{\text{бар}}$ равно $0,48 \pm 0,03$ с.

6. При практически таком же уровне в технике преодоления препятствий отставание в соревновательной результативности российских барьеристок, на наш взгляд, прежде всего определяется отставанием в уровне развития специальных скоростно-силовых, скоростных двигательных качеств барьеристок, а также скоростной и скоростно-силовой выносливости.

Список источников

1. Буданова Е. А. Основы биомеханического анализа спортивных движений на примере оценки техники бега с барьерами // Вестник Кемеровского государственного университета. 2008. № 4 (36). С. 109–112. EDN: KPIFRF.
2. Гальчинская Л. А. Методика управления процессом формирования двигательного ритма в барьерном беге // Столыпинский вестник. 2023. Т. 5. № 4. EDN: GQXZLP.
3. Оганджанов А. Л. Комплексная оценка соревновательной деятельности и технической подготовленности многоборцев в барьерном беге с использованием видеоанализа // Вестник спортивной науки. 2020. № 2. С. 10–14. EDN: KSMDRH.
4. Таранов В. Ф., Чемов В. В. Становление и совершенствование спортивного мастерства в беге на 100 и 110 м с барьерами. Волгоград: Волгоградская государственная академия физической культуры, 2007. 232 с. EDN: XBLOEL.
5. Титова Е. П. Моделирование подготовки квалифицированных бегунов на 400 м с барьерами // Ученые записки университета им. П. Ф. Лесгафта. 2020. № 12 (190). С. 254–257. <https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2020.12.p254-257>. EDN: OMRRGZ.

References

1. Budanova E. A. Fundamentals of biomechanical analysis of sports movements on the example of evaluating hurdle running technique. Bulletin of Kemerovo State University. 2008;(36):109–112. EDN: KPIFRF. (In Russ.).
2. Galchinskaya L. A. Methodology for managing the process of forming a motor rhythm in hurdle running. Stolypin Bulletin. 2023;5(4). EDN: GQXZLP. (In Russ.).
3. Oganjanov A. L. Comprehensive assessment of competitive activity and technical readiness of all-rounders in hurdle running using video analysis. Bulletin of Sports Science. 2020;(2):10–14. EDN: KSMDRH. (In Russ.).
4. Taranov V. F., Chemov V. V. Formation and improvement of sports skills in 100 and 110 m hurdles. Volgograd: Volgograd State Academy of Physical Culture. 2007. 232 p. EDN: XBLOEL. (In Russ.).
5. Titova E. P. Modeling the training of qualified 400 m hurdlers. Scientific Notes of the P. F. Lesgaft University. 2020;(190):254–257. (In Russ.). <https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2020.12.p254-257>. EDN: OMRRGZ.

Информация об авторах / Information about the authors:

Оганджанов Александр Леонович — доктор педагогических наук, доцент, профессор департамента физической культуры, спорта и медиакоммуникаций, Институт естествознания и спортивных технологий, Московский городской педагогический университет, Москва, Россия.

Ogandjanov Alexander Leonovich — Doctor of Pedagogical Sciences, Professor of the Department of Physical Culture, Sports and Media Communications of the Institute of Natural Sciences and Sports Technologies, Moscow City University, Moscow, Russia.

ogandjanoval@mgpu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6393-5995>

Самойлов Геннадий Васильевич — кандидат педагогических наук, тренер, спортивный клуб «Химки», Химки, Московская область, Россия.

Samoilov Gennadiy Vasilievich — Candidate of Pedagogical Sciences, Sports club «Khimki», Khimki, Moscow region, Russia.

gensam61@mail.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no relevant conflict of interests.

Статья поступила в редакцию: 09.02.2026;
одобрена после доработки: 05.03.2026;
принята к публикации: 10.03.2026.

The article was submitted: 09.02.2026;
approved after reviewing: 05.03.2026;
accepted for publication: 10.03.2026.

Исследовательская статья

УДК 796.012.51

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-178-199

Андрей Александрович Померанцев¹,
Владимир Борисович Шкляров²,
Роман Геннадьевич Соломенцев³,
Владислав Владимирович Цветков⁴

^{1, 2, 3, 4} Липецкий государственный педагогический
университет им. П. П. Семенова-Тян-Шанского,
Липецк, Россия

¹ Липецкий филиал Финансового университета
при Правительстве Российской Федерации,
Липецк, Россия

⁴ Липецкий филиал РАНХиГС,
Липецк, Россия

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРЫЖКА ВВЕРХ У БАСКЕТБОЛИСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕНЗОДИНАМОМЕТРИИ

Аннотация. Вертикальный прыжок вверх с места является ключевым двигательным действием в баскетболе и определяет эффективность подбора, блок-шотов и атакующих действий. Однако в практике и ряде исследований оценка прыгучести часто сводится к измерению высоты прыжка без анализа биомеханической структуры отталкивания. Цель исследования — изучение динамической структуры прыжка вверх с места с подседом со взмахом рук у баскетболистов студенческой команды с применением тензодинамометрии. Семь спортсменов (19–23 года) выполнили по одному прыжку со взмахом рук. Данные регистрировались на платформе Bertec (1 000 Гц). Было рассчитано 28 биомеханических показателей, включая силовые, временные, пространственно-временные и мощностные характеристики. Впервые для прикладного анализа было использовано представление данных в координатах «скорость – сила», позволяющее выделить индивидуальные профили прыжка. Корреляционный анализ выявил как очевидные, так и скрытые взаимосвязи, в том числе влияние массы спортсменов на проявление силовых показателей и парадокс отрицательных связей силовых показателей в эксцентрическом режиме с целевыми характеристиками прыжка.

Ключевые слова: вертикальный прыжок, баскетбол, тензодинамическая платформа, тензодинамометрия, биомеханические профили прыжка

Финансирование: исследование не имело финансовой поддержки.

Research article

UDC 796.012.51

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-178-199

Andrey Aleksandrovich Pomerantsev¹,
Vladimir Borisovich Shklyarov²,
Roman Gennad'evich Solomentsev³,
Vladislav Vladimirovich Tsvetkov⁴

^{1, 2, 3, 4} Lipetsk State Pedagogical
 P. Semenov-Tyan-Shansky University,
 Lipetsk, Russia

¹ Financial University under the Government
 of the Russian Federation (Lipetsk branch),
 Lipetsk, Russia

⁴ Russian Presidential Academy of National
 Economy and Public Administration
 (Lipetsk branch),
 Lipetsk, Russia

FORCE PLATE ANALYSIS OF COUNTERMOVEMENT JUMP MECHANICS IN UNIVERSITY BASKETBALL PLAYERS

Abstract. The standing vertical jump is a key motor action in basketball and largely determines performance in rebounding, shot blocking, and offensive play. Nevertheless, in practice and in many studies, “jump ability” is often reduced to jump height assessment, without examining the biomechanical structure of the take-off phase. The aim of this study was to investigate the dynamic structure of a standing countermovement jump with an arm swing (CMJas) in collegiate basketball players using force plate analysis. Seven male athletes (19–23 years) performed one maximal CMJas with an arm swing; ground reaction force data were collected using a Bertec force plate at 1 000 Hz. Twenty-eight biomechanical variables were calculated, including force-, time-, spatiotemporal-, and power-related characteristics. For the first time in applied assessment, the jump data were additionally represented in force-velocity coordinates, enabling the identification of individual jump profiles. Correlation analysis revealed both expected and non-obvious relationships, including the influence of body mass on the interpretation of force metrics and a “paradoxical” negative association between eccentric-phase force indicators and key jump outcome variables.

Keywords: vertical jump, basketball, university sports, force plate, force plate analysis, jump profiling

Funding statement: no funding was received for writing this manuscript.

Введение

Вертикальный прыжок является одним из ключевых двигательных действий во многих видах спорта [6]. В баскетболе прыжок вверх определяет эффективность подбора, блок-шотов и бросков сверху [11; 18]. Несмотря на широкий научный и практический интерес к прыгучести,

большинство исследований ограничиваются оценкой высоты прыжка с помощью педагогических тестов, то есть без углубленного анализа биомеханической структуры отталкивания [3].

Современные тензометрические платформы позволяют регистрировать динамические характеристики с высокой точностью [8; 12; 14; 17], что открывает возможности для комплексного анализа динамограммы прыжка и использования этого метода срочного контроля в тренировочной практике [1; 5; 16].

Цель исследования: проанализировать динамическую структуру прыжка вверх с места у баскетболистов студенческой команды.

Задачи исследования: 1) определить динамические характеристики выполнения прыжка баскетболистами; 2) выявить индивидуальные биомеханические профили выполнения прыжка; 3) установить взаимосвязь биомеханических характеристик выполнения прыжка.

Материалы и методы исследования

Исследование проходило в игровом спортивном зале Липецкого государственного педагогического университета имени П. П. Семенова-Тян-Шанского. В исследовании приняли участие 7 баскетболистов основной команды университета, мужчины в возрасте 19–23 года. Каждый спортсмен выполнил по одному прыжку вверх с места со взмахом рук в полной координации с подседом. В зарубежной литературе такой прыжок характеризуют как counter movement jump arm swing (CMJas) [2; 4].

В процессе выполнения данного прыжка есть предварительный подсед, позволяющий задействовать мышечно-сухожильный комплекс для начального растяжения, и последующее отталкивание с рекуперацией энергии stretch-shortening cycle (SSC). Прыжок с предварительным подседом позволяет пропульсивным мышцам начать работать в эксцентрическом (плиометрическом) режиме с переходом в концентрический (миометрический) режим (рис. 1).

Предварительно была проведена разминка для достижения рабочих режимов работы мышц и снижения риска получения травмы.

В работе были использованы следующие методы: 1) анализ научной литературы; 2) тензодинамометрия; 3) математико-статистические методы.

Тензодинамометрия

Для получения динамических характеристик взаимодействия баскетболиста с опорой при выполнении прыжка вверх использовалась тензодинамическая платформа Bertec, размером 900 × 600 мм и частотой записи данных 1 000 Гц. Тензодинамометрия позволяет получить тензограмму выполнения прыжка высокой точности. Уже на этапе визуального анализа полученной кривой можно определить ряд ключевых характеристик, в том числе вес

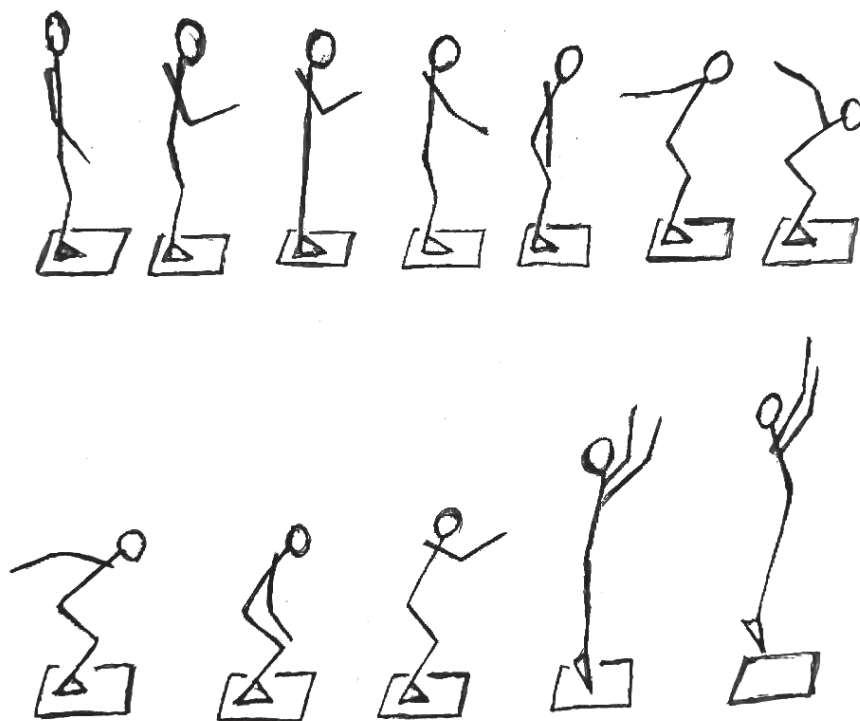


Рис. 1. Палочковая схема выполнения прыжка вверх со взмахом рук с подседанием (CMJas)

спортсмена, максимальную вертикальную нагрузку в фазе отталкивания, а также длительность опорного и безопорного периодов (см. рис. 2).

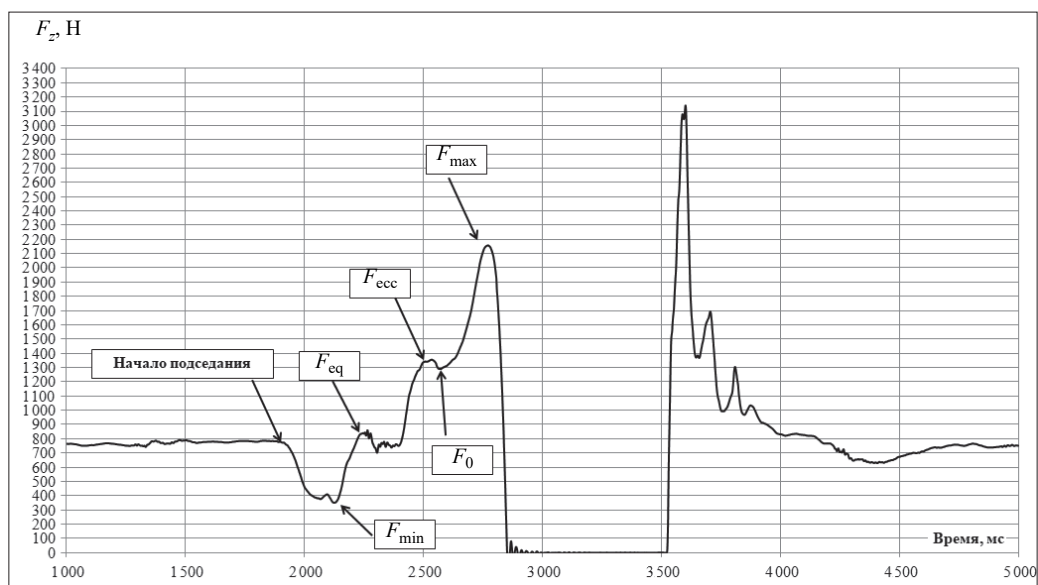


Рис. 2. Динамограмма выполнения прыжка вверх

Для описания динамики прыжка были использованы 28 биомеханических характеристик [7], подробное описание которых представлено в таблице 1.

Таблица 1

Биомеханические характеристики прыжка

№	Символ, единицы измерения	Описание характеристики
1	m , кг	Масса спортсмена находилась как: $m = \frac{P}{g},$ где $g \approx 9,81 \text{ м/с}^2$
2	P , Н	Вес спортсмена определялся как среднее значение вертикальной нагрузки F_z перед моментом начала выполнения прыжка
3	t_1 , мс	Время периода отталкивания определялось от момента начала фазы отталкивания до момента начала безопорной фазы
4	t_2 , мс	Время безопорного периода определялось как интервал, в течение которого тензоплатформа регистрировала нулевую нагрузку
5	I , Н*м	Импульс силы отталкивания определялся как площадь под кривой отклонения силы от величины статического веса во времени в течение фазы отталкивания
6	h_k , см	Высота прыжка (h_k) на основе времени полета (кинематический подход) определялась по формуле: $h_k = \frac{g(t_2)^2}{8}$
7	h_D , см	Высота прыжка (h_D) на основе импульса силы (динамический подход) определялась по формуле: $h_D = \frac{V^2}{2g}$
8	K	Коэффициент прыгучести определялся как $k = I_{cp} / P$, где средний импульс отталкивания (I_{cp}) находился по формуле: $I_{cp} = \frac{I}{t_1}$
9	V , м/с	Начальная вертикальная скорость определялась в конце фазы отталкивания: $V = \frac{I}{m}$
10	F_{max} , Н	Максимальная сила определялась как максимальное значение по вертикальной оси F_z в миометрическом режиме

№	Символ, единицы измерения	Описание характеристики
11	$F_{\min}$, Н	Минимальная сила определялась как минимальное значение по вертикальной оси F_z в плиометрическом режиме
12	F_{eq} , Н	Сила уравнивающая (эквивалирующая) — сила, примерно равная весу спортсмена (P) в момент перехода от фазы «ускоренного подседа» к фазе «замедленного подседа», в некоторых случаях характеризующаяся небольшим пиком F_z . В случае, если пика не наблюдалось, сила F_{eq} принималась равной весу спортсмена (P)
13	F_{ecc} , Н	Максимальная эксцентрическая сила F_z , наблюдаемая в плиометрическом режиме
14	F_0 , Н	Квазиизометрическая сила F_z фиксировалась в момент, когда $V = 0$
15	$G_{\max}$, Н/с	Максимальный градиент силы ($G_{\max}$) определялся как максимальное значение $\left(\frac{dF_z}{dt}\right)_{\max}$
16	$F_{\max} / P$	Сила $F_{\max}$, нормализованная к весу спортсмена (P)
17	$F_{\min} / P$	Сила $F_{\min}$, нормализованная к весу спортсмена (P)
18	F_{eq} / P	Сила F_{eq} , нормализованная к весу спортсмена (P)
19	F_{ecc} / P	Сила F_{ecc} , нормализованная к весу спортсмена (P)
20	F_0 / P	Сила F_0 , нормализованная к весу спортсмена (P)
21	$G_{\max} / P$, с ⁻¹	Градиент силы $G_{\max}$, нормализованный к весу спортсмена (P)
22	$N_{\max}$, Вт	Максимальная мощность, $N_{\max} = \max(F_i \times V_i)$,
23	$N_{\max} / P$, Вт/кг	Максимальная относительная мощность. Мощность $N_{\max}$, нормализованная к весу спортсмена (P)
24	$V(N_{\max})$, м/с	Скорость в момент проявления максимальной мощности
25	$F_z(N_{\max})$, Н	Сила в момент проявления максимальной мощности
26	Tn , мс	Диапазон времени, в течение которого проявляется 90 % $N_{\max}$
27	$V_{\min}$, м/с	Минимальная скорость, при которой фиксируется 90 % $N_{\max}$
28	$V_{\max}$, м/с	Максимальная скорость, при которой фиксируется 90 % $N_{\max}$

Высота прыжка находилась двумя способами: через время безопорного периода — кинематический подход, а также через расчет импульса силы отталкивания — динамический подход (см. рис. 3).

Инновационным в данной работе является представление данных прыжка в координатной системе «сила – скорость» ($F_z - V$). Это дает несколько практических плюсов по сравнению с привычным представлением кривой «сила – время» (см. рис. 4).

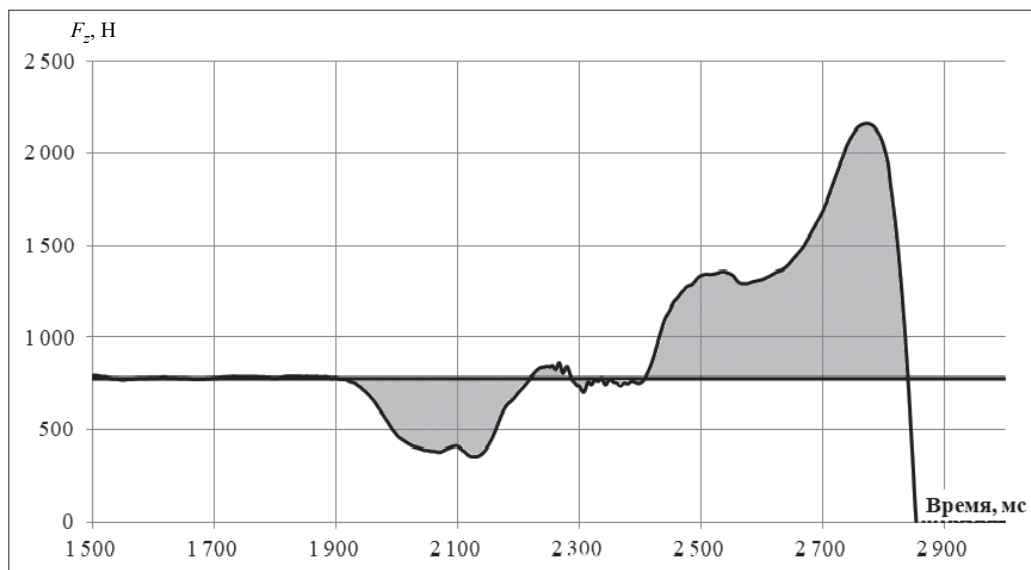


Рис. 3. Графическое представление импульса силы отталкивания, где горизонтальной линией обозначен вес спортсмена

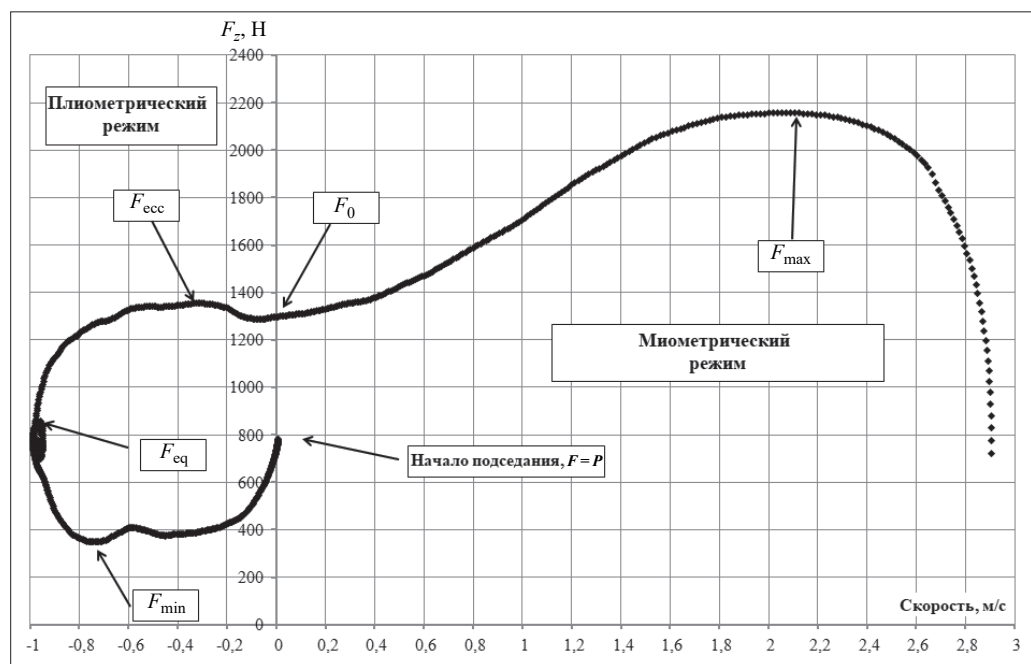


Рис. 4. Взаимосвязь проявляемой силы и скорости движения при выполнении прыжка вверх

Такой график наглядно позволяет увидеть и оценить режим работы пропульсивных мышц: отрицательные значения скорости (V) говорят об эксцентрическом (плиометрическом) режиме, а положительные — о концентрическом

(миометрическом) режиме. На рисунке 4 логичной и понятной выглядит петля эксцентрики (плиометрика) и ветвь концентрики (миометрика). Данный график позволяет оценить силу отталкивания при различных скоростях.

Такое представление является более предпочтительным для анализа спортивной техники выполнения прыжка. По форме и наклону концентрической части можно охарактеризовать профиль прыгуна: 1) спортсмен может проявлять большую силу на меньших скоростях (силовой профиль), но при этом не способен проявить силу на высокой скорости, или наоборот; 2) демонстрирует меньшее проявление силы на низкой скорости, но способен проявить значительную силу на высоких скоростях в конце фазы отталкивания (скоростной профиль).

Характеристический профиль графика «сила – скорость» связан со следующими биомеханическими закономерностями:

1) зависимость «сила – скорость»: чем выше скорость сокращения мышцы, тем меньше возможностей для проявления силы;

2) зависимость «сила – длина»: максимальная сила проявляется при средней длине мышцы;

3) зависимость проявления силы от геометрии рычагов: чем больше угол разгибания, тем легче проявить силу из-за более выгодных суставных углов;

4) зависимость проявления силы от степени растяжения мышечно-сухожильного аппарата, использования силы упругой деформации и рекуперации энергии (SSC): максимум силы проявляется при максимальном растяжении мышечно-сухожильного аппарата [10].

В совокупности эти четыре закономерности уравнивают возможность проявить силу на различных скоростях и режимах работы. Индивидуальность тензограммы каждого баскетболиста определяется особенностями строения, координации и иннервации мышц.

Также нами определялся максимальный градиент силы $G_{\max}$, Н/с. В зарубежной литературе этот показатель называют RFD (rate of force development). Некоторые авторы предлагают с большой осторожностью относиться к этому показателю, так как он сильно подвержен влиянию вибраций и других артефактов [13; 15].

В нашем исследовании для минимизации ошибки мы использовали цифровой фильтр «скользящее среднее» с окном в 5 значений. Благодаря единому подходу мы получили возможность сопоставлять градиент силы различных спортсменов (см. рис. 5).

Математико-статистические методы

Для получения усредненных значений и вариативности динамических характеристик использовались инструменты дескриптивного анализа. Взаимосвязи между динамическими характеристиками описывались с помощью коэффициентов корреляции по Брауэ – Пирсону.

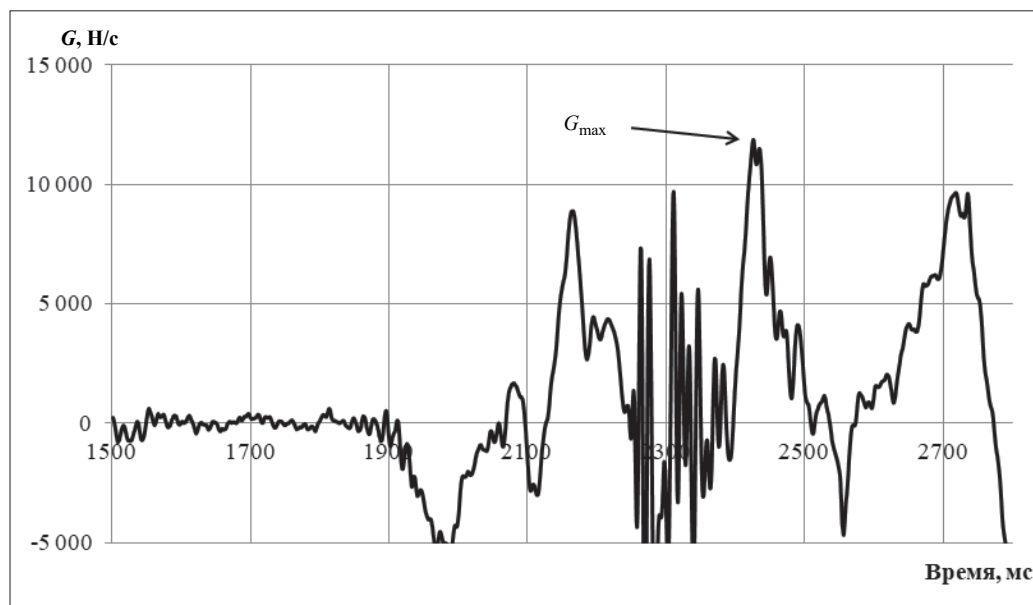


Рис. 5. График изменения градиента силы в процессе выполнения отталкивания

Результаты исследования

На рисунке 6 представлены графики, характеризующие динамическую структуру прыжка вверх для 7 баскетболистов студенческой команды. Несмотря на схожесть графиков, каждая динамограмма имеет свои особенности, связанные с уровнем развития скоростно-силовых и координационных способностей [9]. На основе представленных графиков можно выделить несколько профилей спортсменов.

Профиль I — «скоростной», наблюдается, когда максимальные значения силы проявляются на максимальной скорости в конце фазы отталкивания, в таком случае $F_{\max} > F_{\text{ecc}}$.

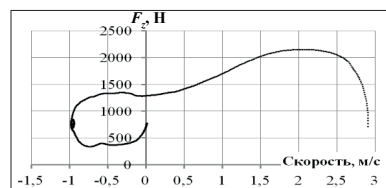
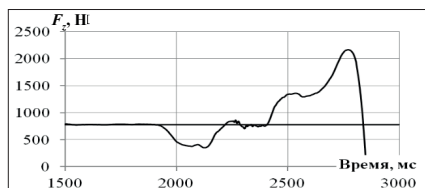
Профиль II — «силовой», наблюдается, когда максимум силы спортсмен проявляет в эксцентрическом режиме, в таком случае $F_{\max} < F_{\text{ecc}}$.

Профиль III — «скоростно-силовой», наблюдается, когда спортсмен проявляет примерно равную силу в эксцентрическом и концентрическом режимах: $F_{\max} \approx F_{\text{ecc}}$.

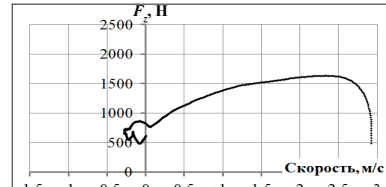
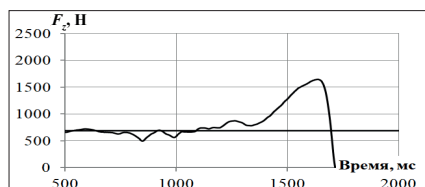
В соответствии с таким подходом баскетболистов можно распределить по соответствующим профилям: «скоростной профиль» — баскетболисты № 1, 2, 6, 7; «силовой профиль» — баскетболист № 3; «скоростно-силовой профиль» — баскетболисты № 4, 5.

Используя данные по силе F_z и скорости перемещения центра масс, для каждого спортсмена была определена проявляемая мощность и связанные с ней параметры (см. рис. 7).

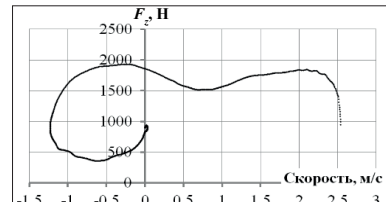
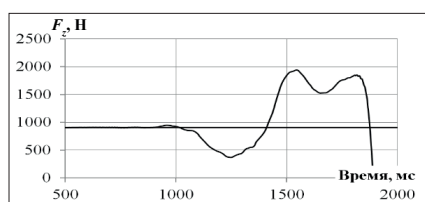
№ 1



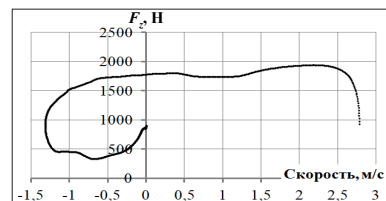
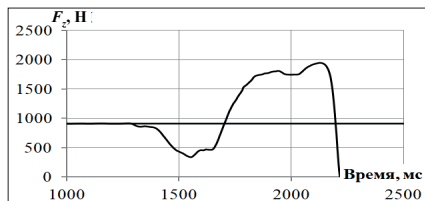
№ 2



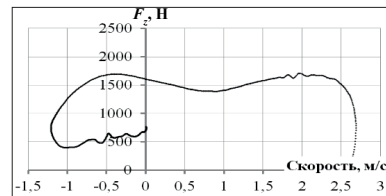
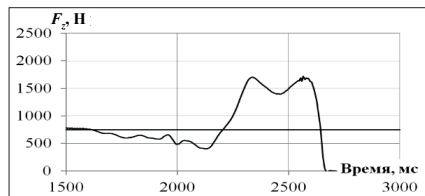
№ 3



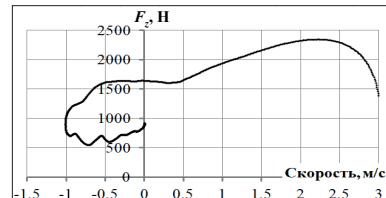
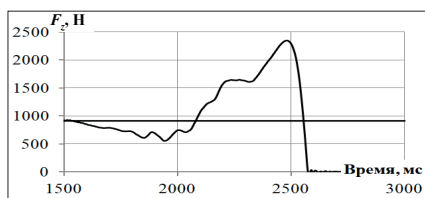
№ 4



№ 5



№ 6



№ 7

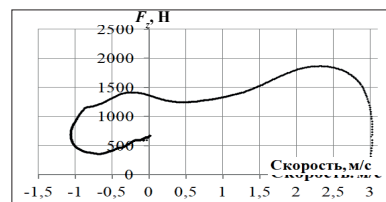
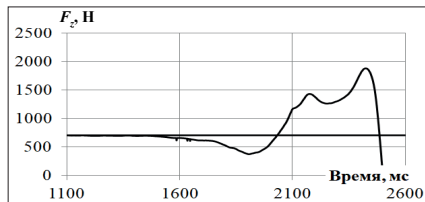


Рис. 6. Графики, характеризующие динамическую структуру прыжка

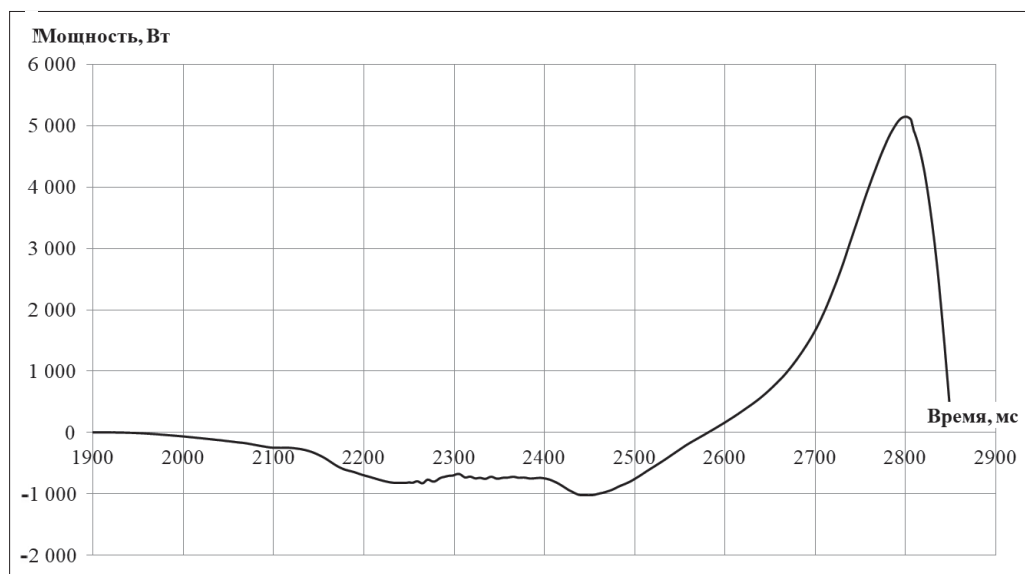


Рис. 7. График изменения мощности в процессе выполнения прыжка

Представление данных тензометрии прыжка в виде графика мощности ($N - t$) позволяет напрямую увидеть информацию, объясняющую прыгучесть. Если график силы по времени показывает, насколько сильно спортсмен давит на опору, то мощность показывает, насколько быстро спортсмен преобразует силу в движение. На рисунке 7 становятся видны ключевые моменты прыжка: отрицательная мощность, переход через ноль и положительная мощность.

Пиковая мощность и ее относительное значение (Вт/кг), время выхода на пик, а также плато мощности показывают, удерживает ли спортсмен высокую мощность на протяжении отталкивания или проявляет мощность в виде краткосрочного всплеска. График мощности также может служить удобным итоговым представлением по тензометрии прыжка для внесения коррекций в тренировочный процесс.

Важно отметить, что время проявления максимальной силы и максимальной мощности не совпадают. Пик мощности наступает примерно на 20–30 мс позже пика максимальной силы по причине того, что скорость продолжает возрастать при падении силы.

В таблице 2 представлены показатели мощности по 7 баскетболистам.

Из таблицы 2 видно, что наибольшую относительную мощность $N_{\max} / P$ прыжка проявляют представители скоростного профиля — баскетболисты № 1, 2, 6, 7; средние показатели имеют представители скоростно-силового профиля — баскетболисты № 4, 5, а представитель силового профиля — баскетболист № 3 — проявляет минимальную абсолютную ($N_{\max}$) и относительную мощность ($N_{\max} / P$).

Таблица 2

Мощность выполнения прыжка и показатели плато мощности

Спортсмен №	$N_{\max}$, Вт	$N_{\max} / P$, Вт/кг	$V(N_{\max})$, м/с	$F_z(N_{\max})$, Н	90 % $N_{\max}$, Вт/кг	$TN N \geq 90\%$ $N_{\max}$, мс	$V_{\min}$ (плато), м/с	$V_{\max}$ (плато), м/с
1	5 150	64,9	2,55	2 017	58,4	40	2,15	2,75
2	4 144	59,0	2,62	1 580	53,1	15	2,53	2,71
3	4 132	44,8	2,32	1 775	40,3	50	2,02	2,47
4	4 719	51,0	2,53	1 857	45,9	58	2,15	2,73
5	3 891	50,9	2,42	1 610	45,8	46	2,10	2,59
6	5 832	62,9	2,65	2 004	56,6	49	2,24	2,90
7	4 727	66,4	2,67	1 769	59,8	43	2,27	2,90
$\bar{x}$	4 656	57,1	2,54	1 802	51,4	43	2,21	2,72
$\pm sd$	678	8,3	0,13	172	7,5	14	0,16	0,16
Var	14,6	14,5	5,1	9,5	14,6	32,6	7,2	5,9

Если сравнивать показатели мощности с данными других исследователей, то максимальная мощность баскетболистов скоростного профиля сопоставима с мощностью высококвалифицированных спринтеров, показывающих результаты в беговом спринте на 100 метров от 10,34 до 10,65 с. Мощность прыжка баскетболистов $63,3 \pm 3,2$ Вт; мощность высококвалифицированных спринтеров $68,20 \pm 3,15$ Вт¹.

Корреляционный анализ (табл. 3) показывает, что существует достоверная зависимость между максимальной абсолютной мощностью, относительной мощностью и максимальной скоростью, при которой проявляется 90 % этой мощности ($r = 0,75$ и $r = 0,87$ соответственно). Чем меньше масса спортсмена, тем более островершинным является пик мощности и тем уже плато мощности ($r = 0,74$).

Таблица 3

Корреляционная матрица взаимосвязи показателей мощности

	$N_{\max}$	m	$N_{\max} / P$	$V(N_{\max})$	$F_z(N_{\max})$	TN	$V_{\min}$
m	39	—					
$N_{\max} / P$	63	–47	—				
$V(N_{\max})$	59	–37	88	—			
$F_z(N_{\max})$	88	56	39	23	—		
TN	27	74	–35	–35	49	—	
$V_{\min}$	04	–59	52	73	–33	–83	—
$V_{\max}$	75	–18	87	95	44	–06	47

Примечание: символы «0,» в таблице пропущены; выделенные коэффициенты корреляции являются достоверными на уровне значимости 0,05, критическое значение коэффициента корреляции Пирсона при $n = 7$ составляет $r = 0,754$.

¹ Beattie K., Tawiah-Dodoo J., Graham-Smith P. Countermovement jump characteristics of world-class elite and sub-elite male sprinters // Sport performance & science reports. 2020. Vol. 1, № 106. P. 1–4. URL: <https://sportperfsci.com/wp-content/uploads/2020/06/SPSR105Beattie.pdf>

Абсолютная максимальная мощность $N_{\max}$ имеет тесную корреляцию ($r = 0,88$) с силой $F_z(N_{\max})$, а относительная максимальная мощность имеет тесную корреляцию ($r = 0,88$) со скоростью $V(N_{\max})$.

В таблице 4 представлены количественные показатели динамической структуры прыжка по 7 баскетболистам.

Таблица 4

**Динамические характеристики прыжка вверх
баскетболистов студенческой команды**

Спортсмен	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7
m , кг	79,3	70,2	92,3	92,5	76,5	92,7	71,2
P , Н	778,3	688,6	905,6	907,3	749,9	909,7	698,5
t_1 , мс	956	903	991	915	1071	1058	999
t_2 , мс	681	580	565	629	594	627	679
I , Нм	226,2	204,4	227,1	255,4	199,6	279,4	213,4
h_K , см	83,5	71	69,3	77,1	73	77	83
h_D , см	41,4	43,2	30,1	38,9	35	46	45,8
K	0,3	0,33	0,25	0,31	0,25	0,29	0,31
V , м/с	2,85	2,91	2,46	2,76	2,61	3,01	3
$F_{\max}$, Н	2 115	1 650	1 930	1 940	1 703	2 346	1 871
$F_{\min}$, Н	354	495	370	336	408	576	370
F_{eq} , Н	862	730	906	907	750	910	699
F_{ecc} , Н	1 357	872	1 940	1 778	1 702	1 646	1 426
F_0 , Н	1 297	843	1 869	1 778	1 619	1 646	1 377
$G_{\max}$, Н/с	11 797	5 021	14 490	10 192	11 077	9 679	9 484
$F_{\max} / P$	2,72	2,40	2,13	2,14	2,27	2,58	2,68
$F_{\min} / P$	0,45	0,72	0,41	0,37	0,54	0,63	0,53
F_{eq} / P	1,11	1,06	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
F_{ecc} / P	1,74	1,27	2,14	1,96	2,27	1,81	2,04
F_0 / P	1,67	1,22	2,06	1,96	2,16	1,81	1,97
$G_{\max} / P$, с ⁻¹	15,2	7,3	16,0	11,2	14,8	10,6	13,6

Из таблицы 4 видно, что баскетболисты № 1, 2, 6, 7 — спортсмены скоростного профиля, имеют наилучшие показатели по высоте прыжка. У этих спортсменов соответственно наблюдаются наибольшие показатели скорости отталкивания (V). У спортсмена № 6 представлены рекордные значения по $F_{\max} = 2\,346$ Н и импульсу силы $I = 279,4$ Нс, при этом он является самым массивным: $m = 92,73$ кг. Этого спортсмена следует признать универсальным, способным проявлять высокую скорость движения при большой массе. У спортсмена № 2 проявляются высокие скоростные способности при низких проявлениях силы: I и $F_{\max}$ стремятся к минимальным значениям в группе. Спортсмен № 3 является самым «эксцентричным»: он проявляет максимум силы в плиометрическом режиме, но не может ее преобразовать в скорость. Спортсмены № 4 и 5, несмотря на хорошие показатели в эксцентрике, не способны проявить стабильный градиент силы в концентрическом режиме.

Из таблицы 5 видно, что наиболее вариативными являются показатели $G_{\max}$, $G_{\max} / P$, $F_{\min} / P$; наименее вариативными — t_1 , h_K , V .

Таблица 5

**Средние значения, стандартное отклонение
и коэффициенты вариации биомеханических характеристик**

	$\bar{x}$	$\pm sd$	$Var, \%$
m	82,1	10,2	12,4
P	805,4	100,2	12,4
t_1	984,7	65,1	6,6
t_2	622,1	45,8	7,4
I	229,4	28,8	12,5
h_K	76,3	5,6	7,3
h_D	40,1	5,9	14,6
K	0,3	0,0	10,6
V	2,8	0,2	7,3
$G_{\max}$	10 248,6	2 866,9	28,0
$F_{\max}$	1 936,4	238,2	12,3
$F_{\min}$	415,4	87,8	21,1
F_{ecc}	1 531,7	352,7	23,0
F_0	1 489,9	350,3	23,5
$F_{\max} / P$	2,4	0,2	10,2
$F_{\min} / P$	0,5	0,1	23,7
F_{ecc} / P	1,9	0,3	17,5
F_0 / P	1,8	0,3	17,1
$G_{\max} / P$	12,7	3,1	24,5

Для того, чтобы понять, как взаимосвязаны между собой динамические показатели прыжка, был проведен корреляционный анализ, результаты которого представлены в таблице 6.

Таблица 6 содержит очевидные и скрытые зависимости. К очевидным зависимостям следует отнести взаимосвязь веса и максимальных показателей силы. Также очевидным является ряд коэффициентов корреляции, значения которых связаны через функциональные зависимости в формулах. К неочевидным зависимостям следует отнести отрицательную взаимосвязь между градиентом силы $G_{\max}$, эксцентрической силой F_{ecc} , квазиизометрической силой F_0 и целевыми показателями прыжка: высотой прыжка h_D , скоростью V и коэффициентами прыгучести K . Это выглядит на первый взгляд нелогично, так как сила и скорость ее приращения должны способствовать совершению прыжка. Причина скрывается в массе спортсменов. Более тяжелые игроки проявляют большие показатели силы, но их масса не позволяет им набрать большую скорость движения. По этой же причине абсолютный импульс имеет слабую корреляцию с высотой прыжка.

Неочевидным на первый взгляд также является то, что время периода отталкивания не связано ни со скоростью, ни с высотой прыжка. Часто спортсмены

Таблица 6

Корреляционная матрица взаимосвязи динамических показателей прыжка

	<i>P</i>	<i>t</i> ₁	<i>t</i> ₂	<i>I</i>	<i>h_K</i>	<i>h_D</i>	<i>K</i>	<i>V</i>	<i>F_{max}</i>	<i>F_{min}</i>	<i>F_{eq}</i>	<i>F_{ecc}</i>	<i>F₀</i>	<i>G_{max}</i>	<i>F_{z max} / P</i>	<i>F_{min} / P</i>	<i>F_{eq} / P</i>	<i>F_{ecc} / P</i>	<i>F₀ / P</i>
<i>t</i> ₁	13	–																	
<i>t</i> ₂	–21	–02	–																
<i>I</i>	81	10	17	–															
<i>h_K</i>	–20	–01	1,00	18	–														
<i>h_D</i>	–35	–09	62	26	62	–													
<i>K</i>	–37	–70	42	09	41	77	–												
<i>V</i>	–34	–10	62	28	62	1,0	77	–											
<i>F_{max}</i>	64	29	42	86	44	31	–03	33	–										
<i>F_{min}</i>	03	32	–27	34	–26	47	14	47	29	–									
<i>F_{eq}</i>	94	–02	–10	79	–09	–30	–26	–28	70	00	–								
<i>F_{ecc}</i>	76	48	–15	41	–14	–60	–74	–60	34	–31	60	–							
<i>F₀</i>	80	45	–14	48	–12	–55	–69	–55	38	–27	64	1,0	–						
<i>G_{max}</i>	56	39	00	15	01	–68	–78	–67	33	–51	55	83	79	–					
<i>F_{max} / P</i>	–44	14	78	03	78	77	42	77	41	23	–30	–49	–49	–24	–				
<i>F_{min} / P</i>	–52	12	–19	–17	–19	56	35	55	–16	83	–52	–71	–70	–78	37	–			
<i>F_{eq} / P</i>	–38	–48	32	–25	32	22	41	23	03	–08	–06	–64	–66	–20	49	14	–		
<i>F_{ecc} / P</i>	32	63	01	–01	02	–54	–78	–55	04	–46	14	85	82	77	–31	–62	–62	–	
<i>F₀ / P</i>	40	62	02	10	03	–50	–74	–51	11	–43	21	89	87	75	–33	–64	–68	99	–
<i>G_{max} / P</i>	17	44	18	–18	19	–57	–73	–57	13	–61	18	63	57	91	–02	–68	–07	79	74

Примечание: символы «0,» в таблице пропущены; выделенные коэффициенты корреляции являются достоверными на уровне значимости 0,05, критическое значение коэффициента корреляции Пирсона при $n = 7$ составляет $r = 0,754$.

ошибочно полагают, что чем быстрее оттолкнуться, тем выше можно прыгнуть, или наоборот: чем глубже подсед и дольше отталкивание, тем выше прыжок.

Заключение

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Тензодинамометрия позволила детально описать структуру прыжка вверх с места с подседанием (СМJas), выполненных 7 баскетболистами студенческой команды с использованием 28 биомеханических показателей. Выборка данных была проанализирована с использованием инструментов дескриптивного анализа. Средняя относительная максимальная мощность группы составила $57,1 \pm 8,3$ Вт/кг, а средний импульс отталкивания — $229,4 \pm 28,8$ Нс. Показано, что пик максимальной силы и пик мощности не совпадают: максимум мощности наступает позже (примерно на 20–30 мс), поскольку скорость продолжает расти при снижении силы. Параметры плато мощности, такие как время удержания 90 % $N_{\max}$ и диапазон $V_{\min} - V_{\max}$, позволили оценить параметры проявления мощности в отталкивании.

2. Представление движения в координатах сила – скорость ($Fz - V$) позволило выделить три биомеханических профиля прыжка: скоростной ($F_{\max} > F_{\text{ecc}}$), силовой ($F_{\max} < F_{\text{ecc}}$) и скоростно-силовой ($F_{\max} \approx F_{\text{ecc}}$). По данным исследования, к скоростному профилю отнесены спортсмены № 1, 2, 6, 7; к силовому — № 3; к скоростно-силовому — № 4, 5. Наибольшая относительная мощность $N_{\max} / P$ наблюдается у представителей скоростного профиля (до 66,4 Вт/кг), тогда как у силового профиля зафиксирован минимум мощности (44,8 Вт/кг) при высоких эксцентрических проявлениях силы. Следовательно, ключевым критерием прыгучести выступает не величина силы сама по себе, а способность преобразовывать ее в скорость и мощность, что наглядно отражают значения, характеризующие плато мощности.

3. Корреляционный анализ позволил выявить как очевидные связи показателей, так и неочевидные зависимости. К ожидаемым относятся зависимости, обусловленные физическими формулами и закономерностями, например время полета (t_2) – высота прыжка (h_K) и взаимосвязь абсолютных силовых показателей с массой/весом. Среди скрытых закономерностей выявлены отрицательные связи максимального градиента силы ($G_{\max}$), экспоненциальной силы (F_{ecc}) и квазиизометрической силы (F_0) с целевыми показателями прыжка: высотой прыжка (h_D), вертикальной скоростью (V), коэффициентом прыгучести (K), что на первый взгляд противоречит представлению о роли предварительного растяжения и упругой деформации мышечно-сухожильного комплекса. Объяснение этому связано с массой: более тяжелые спортсмены демонстрируют большие абсолютные силы и градиенты силы, но их масса ограничивает набор скорости отрыва, поэтому абсолютный импульс слабо связан с высотой. Также показано, что длительность отталкивания (t_1)

практически не связана с высотой и скоростью, что опровергает распространенные среди спортсменов представления о прямой зависимости результата прыжка от времени отталкивания.

Практические рекомендации

Полученные данные показывают, что тензодинамический контроль целесообразно использовать для совершенствования прыжковой подготовки баскетболистов. В отличие от обычных педагогических тестов, тензоплатформа позволяет установить, за счет каких биомеханических компонентов достигается результат в прыжке.

Для оперативного контроля рекомендуется отслеживать не только высоту выпрыгивания (h_D), но и другие показатели, характеризующие прыжок: вертикальную скорость отталкивания (V), мощность (N), а также изменение силы (F_z) при различных режимах работы мышц.

Полученные данные тензометрии целесообразно представлять в виде графиков изменения силы по времени ($F_z - t$), изменения силы по скорости ($F_z - V$), а также изменения мощности по времени ($N - t$). Такой подход позволяет выявить индивидуальную специфику отталкивания и соотнести спортсмена с одним из возможных профилей: скоростного, силового или скоростно-силового типа. Профилирование, в свою очередь, позволяет более обоснованно подбирать средства и методы подготовки баскетболистов с учетом индивидуальных особенностей.

Тензодинамометрия должна стать неотъемлемой частью биомеханического контроля баскетболистов любого уровня подготовленности, так как позволяет быстро и объективно оценивать биомеханическую структуру выполнения прыжка. У менее подготовленных спортсменов тензодинамометрия позволяет выявлять ошибки техники, а у высококвалифицированных спортсменов — контролировать профиль взрывной силы и индивидуально подбирать тренировочные задания.

Список источников

1. Алиев Н. Б., Германов Г. Н., Кулишенко И. В. Модели скоростно-силовой подготовленности спортсменов — женщин-самбистов высокой квалификации различных весовых категорий // Ученые записки университета им. П. Ф. Лесгафта. 2023. № 9 (223). С. 13–16. <https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2023.09.p13-17>. EDN: FFPZHK.
2. Дубинин Г. В. Скоростно-силовые возможности десятиборцев разной квалификации / Г. В. Дубинин, В. Д. Кряжев, М. В. Еремин, А. И. Милюков // Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта. 2022. № 4 (206). С. 126–130. <https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2022.4.p126-130>. EDN: TBTEUO.
3. Локтионов С. Э., Оганджанов А. Л. Методика совершенствования скоростно-силовых способностей юных футболистов на основе использования легкоатлетических средств // Известия Тульского государственного университета. Физическая

культура. Спорт. 2023. № 8. С. 60–68. 2023. <https://doi.org/10.24412/2305-8404-2023-8-60-68>. EDN: JLZBNE.

4. Седоченко С. В., Савинкова О. Н., Черных А. В. Оценка биомеханических характеристик эксцентрической и концентрической фаз прыжка СМJAS волейболистов // Физическая культура. Спорт. Туризм. Двигательная рекреация. 2023. Т.8. № 2. С. 70–76. EDN: LQLPXR.

5. Тычина Е. Г. Взаимосвязь показателей тензодинамо-метрического прыжкового теста и Вингейт-теста спортсменов циклических видов спорта. 2023. // Прикладная спортивная наука. 2023. № 2 (18). С. 31–40. EDN: NRGWYP.

6. Тычина Е. Г. Сравнительный анализ тензодинамометрических показателей прыжкового теста белорусских спортсменов // Прикладная спортивная наука: традиции, реалии, перспективы: тезисы докладов II Международной научно-практической конференции (Минск, 17–18 мая 2024 г.). Минск: Республиканский научно-практический центр спорта, 2024. С. 62–65. EDN VXBME.

7. Aničić Z. Assessment of countermovement jump: What should we report? / Z. Aničić, D. Janićević, O. M. Knežević et al. // Life. 2023. Vol. 13. № 1. Art. 190. <https://doi.org/10.3390/life13010190>. EDN: MQLLQX.

8. Baritză M. I. Video system correlated with force plate recordings for vertical jump biomechanics analysis / M. I. Baritză et al. // Procedia manufacturing. 2020. Vol. 46. P. 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.016>. EDN: PQEWWC.

9. Bobbert M. F., van Ingen Schenau G. J. Coordination in vertical jumping // Journal of biomechanics. 1988. Vol. 21. № 3. P. 249–262. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(88\)90175-3](https://doi.org/10.1016/0021-9290(88)90175-3).

10. Cormie P., McGuigan M. R., Newton R. U. Developing Maximal neuromuscular power. Part 1. Biological basis of maximal power production // Sports medicine. 2011. Vol. 41. № 1. P. 17–38. <https://doi.org/10.2165/11537690-000000000-00000>. EDN: YEPJFP.

11. Keogh J. A. J. Tracking the Reliability of Force Plate-Derived Countermovement Jump Metrics Over Time in Female Basketball Athletes: A Comparison of Principal Component Analysis vs. Conventional Methods / J. A. J. Keogh, Ch. Bishop, M. C. Ruder, D. Kobsar // Journal of Science in Sport and Exercise. 2023. <https://doi.org/10.1007/s42978-023-00239-8>. EDN: NLRWWP.

12. Linthorne N. P. Analysis of standing vertical jumps using a force platform // American Journal of Physics. 2001. Vol. 69. № 11. P. 1198–1204. <https://doi.org/10.1119/1.1397460>

13. Maffiuletti N. A. Rate of force development: physiological and methodological considerations / N. A. Maffiuletti, P. Aagaard, A. J. Blazevich et al. // European journal of applied physiology. 2016. Vol. 116. P. 1091–1116. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3346-6>. EDN: DMCJXS.

14. Merrigan J. J. Identifying reliable and reliable force-time metrics in athletes-considerations for the isometric mid-thigh pull and countermovement jump / J. J. Merrigan, J. D. Stone et al. // Sports. 2020. Vol. 9. № 1. Art. 4. <https://doi.org/10.3390/sports9010004>. EDN: RMCVFG

15. Merrigan J. J. Countermovement jump force-time curve analyses: reliability and comparability across force plate systems / J. J. Merrigan, A. Strang, J. Eckerle et al. // Journal of strength and conditioning research. 2024. Vol. 38. № 1. P. 30–37. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004586>. EDN: DWQVQR.

16. Philipp N. M. Changes in countermovement jump force-time characteristic in elite male basketball players: A season-long analyses / N. M. Philipp, D. Cabarkapa, R. M. Nijem, A. C. Fry // PLoS ONE. 2023. Vol. 18. № 9. P. e0286581. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286581>. EDN: IGVMAZ.

17. Plakoutsis G. Reliability and validity of the portable kforce plates for measuring countermovement jump (CMJ) / G. Plakoutsis et al. // Applied sciences. 2023. Vol. 13. № 20. Art. 11200. <https://doi.org/10.3390/app132011200>. EDN: TPMZDN.

18. Suárez-Balsera C. Profiling the countermovement jump characteristics of basketball players across competitive levels and playing positions / C. Suárez-Balsera, D. Ferioli, E. Marín-Cascales et al. // Journal of human kinetics. 2025. Vol. 96. P. 83–95. <https://doi.org/10.5114/jhk/196138>. EDN: XTOYGG.

References

1. Aliev N. B., Germanov G. N., Kulishenko I. V. Models of speed-strength preparedness of highly qualified female sambo wrestlers of various weight categories. Scientific Notes of the P. F. Lesgaft University. 2023;(223):13–16. (In Russ.). <https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2023.09.p13-17>. EDN: FFPZHK.

2. Dubinin G. V., Kryazhev V. D., Eremin M. V., Milyukov A. I. Speed-strength capabilities of decathletes of different qualifications. Scientific Notes of the P. F. Lesgaft University. 2022;(206):126–130. (In Russ.). <https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2022.4.p126-130>. EDN: TBTEUO.

3. Loktionov S. E., Oganjanov A. L. Methodology for improving speed-strength abilities of young football players based on the use of athletics means. Izvestiya of Tula State University. Physical Culture. Sport. 2023;(8):60–68. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2305-8404-2023-8-60-68>. EDN: JLZBNE.

4. Sedochenko S. V., Savinkova O. N., Chernykh A. V. Assessment of biomechanical characteristics of eccentric and concentric phases of CMJAS jump in volleyball players. Physical Culture. Sport. Tourism. Motor Recreation. 2023;8(2):70–76. EDN: LQLPXR. (In Russ.).

5. Tychina E. G. Relationship between indicators of tenziodynamic metric jump test and Wingate test of athletes of cyclic sports. Applied Sports Science. 2023;(18):31–40. EDN: NRGWYP. (In Russ.).

6. Tychina E. G. Comparative analysis of tenziodynamic indicators of the jump test of Belarusian athletes. Applied Sports Science: Traditions, Realities, Prospects: abstracts of the II International Scientific and Practical Conference (Minsk, May 17–18, 2024). Minsk: Republican Scientific and Practical Center for Sports. 2024:62–65. EDN: VXBMFE. (In Russ.).

7. Aničić Z., Janićijević D., Knežević O. M. et al. Assessment of countermovement jump: What should we report? Life. 2023;13(1):190. <https://doi.org/10.3390/life13010190>. EDN: MQLLQX.

8. Baritză M. I. et al. Video system correlated with force plate recordings for vertical jump biomechanics analysis. Procedia Manufacturing. 2020;46:125–132. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.016>. EDN: PQEWWC.

9. Bobbert M. F., van Ingen Schenau G. J. Coordination in vertical jumping. Journal of Biomechanics. 1988;21(3):249–262. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(88\)90175-3](https://doi.org/10.1016/0021-9290(88)90175-3)

10. Cormie P., McGuigan M. R., Newton R. U. Developing maximal neuromuscular power. Part 1. Biological basis of maximal power production. Sports Medicine. 2011;41(1):17–38. <https://doi.org/10.2165/11537690-000000000-00000>. EDN: YEPJFP.

11. Keogh J. A. J., Bishop Ch., Ruder M. C., Kobsar D. Tracking the reliability of force plate-derived countermovement jump metrics over time in female basketball athletes: a comparison of principal component analysis vs. conventional methods. *Journal of Science in Sport and Exercise*. 2023. <https://doi.org/10.1007/s42978-023-00239-8>. EDN: NLRWWP.
12. Linthorne N. P. Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*. 2001;69(11):1198–1204. <https://doi.org/10.1119/1.1397460>
13. Maffiuletti N. A., Aagaard P., Blazevich A. J., Folland J., Tillin N., Duchateau J. Rate of force development: physiological and methodological considerations. *European Journal of Applied Physiology*. 2016;116:1091–1116. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3346-6>. EDN: DMCJXS.
14. Merrigan J. J., Stone J. D. et al. Identifying reliable and reliable force-time metrics in athletes-considerations for the isometric mid-thigh pull and countermovement jump. *Sports*. 2020;9(1):4. <https://doi.org/10.3390/sports9010004>. EDN: RMCVFG.
15. Merrigan J. J., Strang A., Eckerle J. et al. Countermovement jump force-time curve analyses: reliability and comparability across force plate systems. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2024;38(1):30–37. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004586>. EDN: DWQVQR.
16. Philipp N. M., Cabarkapa D., Nijem R. M., Fry A. C. Changes in countermovement jump force-time characteristic in elite male basketball players: a season-long analyses. *PLoS ONE*. 2023;18(9):e0286581. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286581>. EDN: IGVMAZ.
17. Plakoutsis G. et al. Reliability and validity of the portable kforce plates for measuring countermovement jump (CMJ). *Applied Sciences*. 2023;13(20):11200. <https://doi.org/10.3390/app132011200>. EDN: TPMZDN.
18. Suárez-Balsera C., Ferioli D., Marín-Cascales E. et al. Profiling the countermovement jump characteristics of basketball players across competitive levels and playing positions. *Journal of Human Kinetics*. 2025;96:83–95. <https://doi.org/10.5114/jhk/196138>. EDN: XTOYGG.

Информация об авторах / Information about the authors:

Померанцев Андрей Александрович — кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры физической культуры, физиологии и медико-биологических дисциплин, Липецкий государственный педагогический университет имени П. П. Семёнова-Тян-Шанского, Липецк, Россия; доцент кафедры менеджмента и общегуманитарных дисциплин, Липецкий филиал Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, Липецк, Россия.

Pomerantsev Andrey Alexandrovich — Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physical Culture, Physiology and Biomedical Disciplines, Lipetsk State Pedagogical P. Semyonov-Tyan-Shansky University, Lipetsk, Russia; Associate Professor of the Department of Management and General Humanitarian Disciplines, Lipetsk Branch of the Financial University under the Government of the Russian Federation, Lipetsk, Russia.

ldlipetsk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4197-2183>.

Шкляров Владимир Борисович — кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры спортивных дисциплин, Липецкий государственный педагогический университет имени П. П. Семенова-Тян-Шанского, Липецк, Россия.

Shklyarov Vladimir Borisovich — Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Sports Disciplines, Lipetsk State Pedagogical P. Semyonov-Tyan-Shansky University, Lipetsk, Russia.

shklyarov_vb@lspu-lipetsk.ru <https://orcid.org/0009-0005-7652-1747>

Соломенцев Роман Геннадьевич — магистрант Института физической культуры и спорта, Липецкий государственный педагогический университет имени П. П. Семенова-Тян-Шанского, Липецк, Россия.

Solomentsev Roman Gennadievich — Master's Student at the Institute of Physical Culture and Sports, Lipetsk State Pedagogical P. Semyonov-Tyan-Shansky University, Lipetsk, Russia.

romansolometsev@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-2953-8258>

Цветков Владислав Владимирович — аспирант кафедры физической культуры, физиологии и медико-биологических дисциплин, Липецкий государственный педагогический университет имени П. П. Семенова-Тян-Шанского; преподаватель, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (Липецкий филиал), Липецк, Россия.

Tsvetkov Vladislav Vladimirovich — Postgraduate Student of the Department of Physical Culture, Physiology and Biomedical Disciplines, Lipetsk State Pedagogical P. Semyonov-Tyan-Shansky University; Lecturer, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (Lipetsk Branch), Lipetsk, Russia.

vlad.tsvetkov4899@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-9963-6430>

Вклад авторов:

Андрей Александрович Померанцев — общая концепция, проведение тензометрии.

Владимир Борисович Шкляров — организация тестирования команды, анализ данных, формулировка практических рекомендаций.

Роман Геннадьевич Соломенцев — анализ тензограмм.

Владислав Владимирович Цветков — математико-статистический анализ, написание и редактирование текста статьи.

Authors' contributions:

Andrey Alexandrovich Pomerantsev — general concept, conducting tensometric measurements.

Vladimir Borisovich Shklyarov — organization of team testing, data analysis, formulation of practical recommendations.

Roman Gennadievich Solomentsev — analysis of tensograms.

Vladislav Vladimirovich Tsvetkov — mathematical and statistical analysis, writing and editing of the article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the author declare no relevant conflict of interests.

Статья поступила в редакцию: 10.02.2026;
одобрена после доработки: 07.03.2026;
принята к публикации: 10.03.2026.

The article was submitted: 10.02.2026;
approved after reviewing: 07.03.2026;
accepted for publication: 10.03.2026.



Исследовательская статья

УДК 796

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-200-211

**Горская Инесса Юрьевна¹,
Мартынова Анна Сергеевна²,
Клименко Анна Александровна³**

¹ Сибирский государственный университет физической культуры и спорта,
Омск, Россия

^{2,3} Омский государственный университет путей сообщения,
Омск, Россия

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФИТНЕС-ДЖАМПИНГА ДЛЯ РАЗВИТИЯ ВЫНОСЛИВОСТИ И УЛУЧШЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕНЩИН 35–45 ЛЕТ

Аннотация. Цель исследования — изучение влияния занятий фитнес-джампингом на показатели выносливости и функционального состояния женщин 35–45 лет. В ходе исследования была проведена экспериментальная апробация методики занятий фитнес-джампингом, адаптированной для женщин зрелого возраста. Основными задачами методики являлось: развитие выносливости (аэробной и скоростно-силовой); улучшение функциональных показателей кардиореспираторной системы; поддержание интереса к занятиям и формирование устойчивой потребности в регулярной двигательной активности. В сравнении с фитнес-программами сходной направленности (степ-аэробика), применение фитнес-джампинга в зрелом возрасте способствует более выраженным положительным изменениям показателей физической подготовленности и функционального состояния, о чем свидетельствуют достоверно значимые значения приростов по результатам проведения гарвардского степ-теста, гипоксических проб, пробы Ромберга, тестов, оценивающих силовую и скоростно-силовую выносливость.

Применение фитнес-джампинга в системе физкультурно-оздоровительных мероприятий является эффективным средством развития разных компонентов выносливости и улучшения функционального состояния женщин 35–45 лет, относящихся к 1-й медицинской группе здоровья, при условии соблюдения принципов систематичности, постепенности наращивания нагрузок, доступности (соответствия возрастным особенностям и уровню подготовленности).

Ключевые слова: фитнес-джампинг, женщины зрелого возраста, физкультурно-оздоровительные технологии, функциональное состояние, выносливость, аэробные нагрузки, кардио-респираторная система

Финансирование: исследование не имело финансовой поддержки.

Research article

UDC: 796

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-200-211

**Gorskaya Inessa Yuryevna¹,
Martynova Anna Sergeevna²,
Klimenko Anna Alexandrovna³**

¹ Siberian State University of Physical Education and Sports,
Omsk, Russia

^{2,3} Omsk State University of Railway Engineering,
Omsk, Russia

THE POTENTIAL OF FITNESS JUMPING FOR DEVELOPING ENDURANCE AND IMPROVING THE FUNCTIONAL STATE OF WOMEN AGED 35–45 YEARS

Abstract. The aim of this study was to investigate the impact of fitness jumping on endurance and functional status in women aged 35–45. A fitness jumping methodology adapted for mature women was experimentally tested. The main objectives of the methodology were to develop endurance (aerobic and speed-strength); improve cardiorespiratory performance; maintain interest in the exercises; and foster a sustainable need for regular physical activity. Compared to similar fitness programs (step aerobics), fitness jumping in mature women resulted in more pronounced positive changes in physical fitness and functional status, as evidenced by significantly increased scores on the Harvard step test, hypoxic tests, Romberg test, and tests assessing strength and speed-strength endurance. The use of fitness jumping in a system of physical fitness and wellness programs is an effective means of developing various components of endurance and improving the functional status of women aged 35–45 years belonging to the first medical health group, provided that the principles of consistency, gradual increase in loads, and accessibility (appropriate to age characteristics and fitness level) are observed.

Keywords: fitness jumping, mature women, physical fitness and wellness technologies, functional status, endurance, aerobic exercise, cardiorespiratory system

Funding statement: no funding was received for writing this manuscript.

Введение

Актуальность исследования

Основной формой организованной двигательной активности взрослого населения на современном этапе являются групповые физкультурно-оздоровительные занятия в фитнес-клубе под руководством фитнес-инструктора. Фитнес-индустрия активно развивается, что отражается на увеличении количества фитнес-клубов, расширении состава предлагаемых физкультурно-оздоровительных программ, обеспечении ценовой, транспортной доступности для различных категорий населения. Вовлечение все большего количества людей разного возраста в регулярные занятия на базе фитнес-клубов свидетельствует о росте уровня физической культуры населения, понимания роли системно организованной двигательной активности для сохранения здоровья и качества жизни [1; 5]. Несмотря на положительную динамику в популяризации фитнес-технологий, остается достаточно много проблемных аспектов, лимитирующих качество реализации фитнес-программ. В частности, до сих пор отсутствует стандартизация и контроль выполнения требований к содержанию реализуемых фитнес-программ, слабо учитываются возрастные особенности в групповых формах занятий, отсутствуют научно обоснованные подходы к дозированию нагрузок в соответствии с уровнем функционального состояния занимающихся, переносимости предъявляемых нагрузок. Ситуация усложняется противоречием: с одной стороны, постоянное появление новых фитнес-программ и течений обеспечивает поддержание конкурентоспособности фитнес-клуба и увеличение интереса населения к занятиям, а с другой стороны, появляющиеся новые программы не апробированы на занимающихся разных возрастных групп, с разным уровнем подготовленности, что увеличивает риск некорректного дозирования нагрузок, травмоопасность. Чаще всего инновационные фитнес-технологии представляют собой заимствование из зарубежного опыта или модификацию ранее известных программ, интеграцию нескольких видов двигательной активности, применение нового инвентаря и оборудования, что обуславливает необходимость и актуальность научных исследований, направленных на отслеживание влияния применяемых технологий на показатели функционального состояния занимающихся разных возрастных групп.

Получившая широкое распространение на современном этапе технология фитнес-джампинга реализуется в фитнес-клубах в ходе групповых занятий и пользуется популярностью за счет динамичных нагрузок, музыкального сопровождения, необычного инвентаря (индивидуальные мини-батуты), повышенного положительного эмоционального фона занятий, возможности быстрого достижения выраженных эффектов улучшения функционального состояния [3; 7]. Однако научно обоснованных сведений о возможностях применения фитнес-джампинга для занятий с женщинами зрелого возраста явно недостаточно.

Анализ имеющихся научных публикаций показал, что в большей степени исследовательский интерес охватывает методические аспекты применения фитнес-джампинга для детей младшего и среднего школьного возраста. Достаточно много исследований, направленных на изучение положительных эффектов применения джампинга в качестве вспомогательного средства повышения двигательной активности у женщин пожилого возраста (период постменопаузы), при этом отмечается особенно выраженная эффективность джампинга в отношении показателей аэробной выносливости и вестибулярной устойчивости [9; 12]. В отдельных исследованиях отражены результаты влияния занятий фитнес-джампингом и прыжков со скакалкой на морфофункциональное состояние женщин зрелого возраста [2; 6; 11; 13]. В частности, в исследовании Г. И. Семеновой (2020) отмечается прирост показателей функционального состояния сердечно-сосудистой системы женщин 40–55 лет, занимающихся по программе фитнес-джампинга [2]. Это соотносится с данными, полученными в исследовании зарубежных авторов, проведенном с участием женщин среднего возраста, в котором выявлены положительные эффекты нагрузок прыжкового характера на показатели аэробной выносливости и состав тела [11]. Продолжение исследований в этом направлении будет способствовать научному обоснованию планирования параметров нагрузок при применении фитнес-джампинга с учетом возрастных особенностей занимающихся, получению информации о прогнозируемых эффектах влияния таких занятий на показатели физической подготовленности и функционального состояния женщин зрелого возраста.

Цель исследования — изучение влияния занятий фитнес-джампингом на показатели выносливости и функционального состояния женщин 35–45 лет.

Материалы и методы исследования

Исследование было проведено с участием 24 женщин 35–45 лет (средний возраст на момент начала эксперимента — 38,5 года) на базе кафедры естественно-научных дисциплин СибГУФК и фитнес-клуба Jumping Fitness Studio (Омск). Применялись следующие методы исследования: медико-биологические (ЧСС, проба Руфье, проба Ромберга, поза аиста, проба Штанге, проба Генчи); педагогическое тестирование (тесты «приседания за 60 с», «удержание позы “планка”», Гарвардский степ-тест (высота ступени — 40 см)); педагогический эксперимент; методы математической статистики (описательная статистика: среднегрупповые значения, стандартное отклонение, процент прироста показателей). Формирование экспериментальной и контрольной групп было проведено методом случайного распределения на основе добровольного желания женщин посещать групповые занятия под руководством конкретного фитнес-инструктора с целью улучшения функционального состояния

(ЭГ посещала занятия фитнес-джампингом, КГ — степ-аэробикой), режим занятий (продолжительность, уровень нагрузки, время и частота проведения) был максимально приближен в ЭГ и КГ. Все участницы эксперимента не имели противопоказаний к занятиям (медицинский допуск, 1-я группа здоровья) и соответствовали критериям: отсутствие нарушений опорно-двигательного аппарата, варикозного расширения вен, ожирения высокой степени (индекс массы тела — не более 28), отсутствие беременности, наличие предшествующего опыта регулярных занятий в фитнес-клубе (все женщины посещали занятия степ-аэробикой в течение 3–5 месяцев). Проверка нормальности распределения была проведена по критерию Шапиро – Уилка. Ввиду несоответствия выборок нормальному распределению оценка достоверности различий между показателями на разных этапах эксперимента была проведена по *U*-критерию Манна – Уитни (5 %-ный уровень значимости). До начала эксперимента достоверно значимых различий по исследуемым показателям между ЭГ и КГ не выявлено.

Результаты исследования

В ходе исследования была проведена экспериментальная апробация методики занятий фитнес-джампингом, адаптированной для женщин зрелого возраста. Основными задачами методики являлось: развитие выносливости (аэробной и скоростно-силовой); улучшение функциональных показателей кардиореспираторной системы; поддержание интереса к занятиям и формирование устойчивой потребности в регулярной двигательной активности (рис.).

Экспериментальная апробация методики проводилась в течение 3 месяцев. Методика была выстроена с поэтапным увеличением нагрузки. В первом месяце на адаптационном этапе предусматривалось постепенное освоение предлагаемых упражнений, происходила адаптация к предъявляемым нагрузкам, количество занятий в неделю — 2. На данном этапе использовались упражнения низкой и средней степени сложности. На втором этапе — развивающем — постепенно включались более сложные упражнения, а также комбинации прыжков и танцевальных элементов аэробики, третий этап — совершенствование и усложнение — предусматривал увеличение доли сложных упражнений и комбинаций, а также частое применение вариаций упражнений. На втором и третьем этапах количество занятий в неделю было увеличено до 3. Длительность каждого занятия составляла 45 мин. на первом этапе и 50–60 мин. — на втором и третьем этапах.

Постепенное увеличение нагрузки от этапа к этапу обеспечивалось увеличением амплитуды и высоты прыжков, сокращением интервалов отдыха, усложнением применяемых средств и их вариативности. Поскольку основной

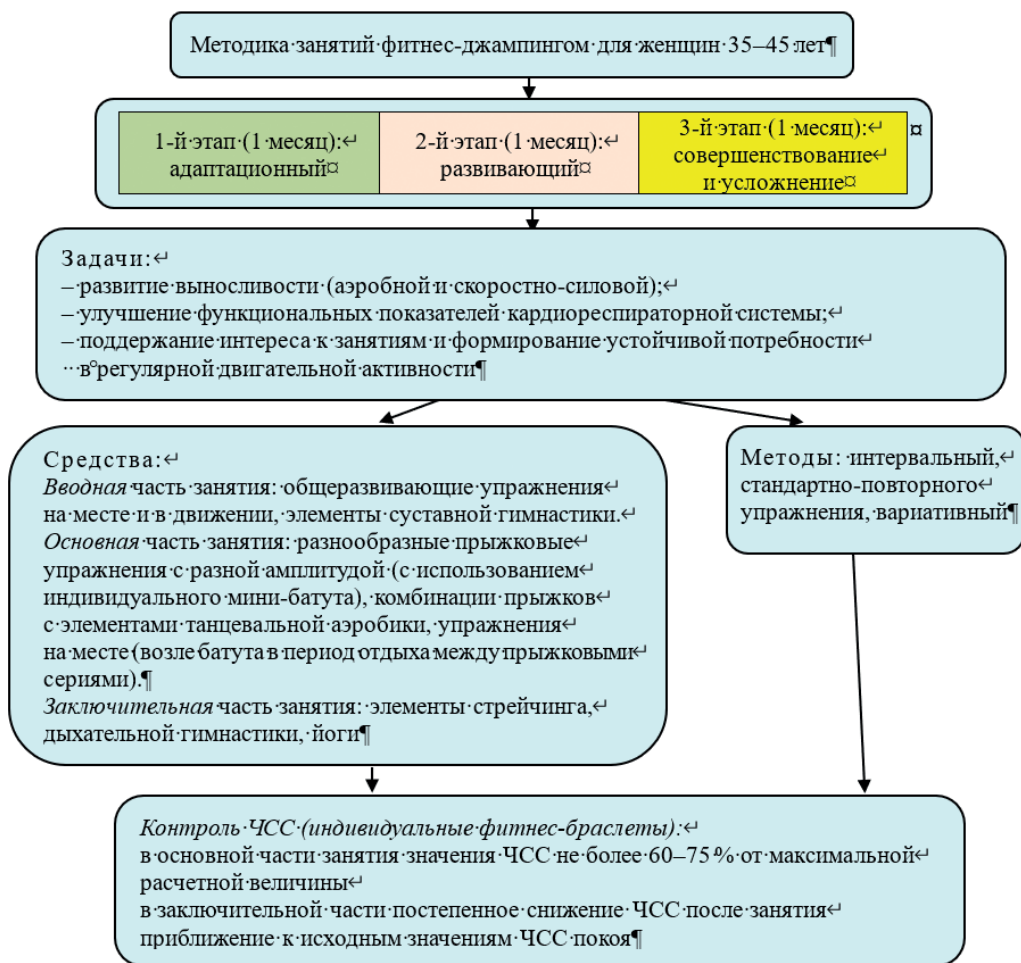


Рис. Схема содержания методики фитнес-джампинга для женщин 35–45 лет

целью методики являлось развитие выносливости, то нагрузки выполнялись преимущественно в аэробном режиме, что обеспечивалось перманентным контролем ЧСС с применением индивидуальных пульсометров (фитнес-браслеты). Контроль ЧСС проводился перед началом занятия, в основной части занятия (не менее 3 раз), сразу после выполнения серии упражнений в интервале отдыха, а также в заключительной части занятия. В основной части занятия значения ЧСС находились в диапазоне 60–75 % от максимальной расчетной величины, что соответствовало в среднем 130–145 уд/мин. Более высокие значения ЧСС допускались в середине основной части лишь кратковременно на 2-м и 3-м этапах реализации занятий.

Отслеживание эффективности применения занятий фитнес-джампингом для женщин 35–45 лет было проведено посредством организации и реализации эксперимента в течение 3 месяцев. Экспериментальная группа занималась по методике фитнес-джампинга, контрольная группа занималась в аналогичном

режиме с применением средств степ-аэробики. Сравнение исходных показателей двух групп показало идентичность по показателям выносливости и функционального состояния. Все женщины, участвующие в эксперименте, выразили осознанное желание и интерес к регулярным занятиям, предъявили медицинский допуск (были отнесены к 1-й медицинской группе здоровья). При анализе итогов эксперимента учитывались только показатели женщин, посетивших не менее 80 % занятий.

В таблице приведены результаты сравнения исходного и конечного тестирования женщин — участниц эксперимента, в ходе которого было выявлено, что как в группе ЭГ, так и в КГ отмечаются положительные статистически значимые изменения показателей функционального состояния. Однако в выборке женщин экспериментальной группы изменения более выражены, особенно по показателям, характеризующим аэробную и силовую выносливость, а также функции равновесия.

Таблица

Динамика показателей выносливости и функционального состояния женщин 35–45 лет в ходе эксперимента

Показатель	ЭГ (<i>n</i> = 12)		КГ (<i>n</i> = 12)	
	До эксперимента	После	До эксперимента	После
ЧСС покой	82,5 ± 8,4	74,2 ± 6,0*	83,0 ± 7,2	77,0 ± 6,5*
Индекс Руффье	15,5 ± 2,5	9,7 ± 2,0*	15,2 ± 3,5	12,4 ± 3,2*≠
Проба Штанге, с	34,5 ± 8,0	42,0 ± 8,0*	34,0 ± 5,8	38,2 ± 6,5≠
Проба Генче, с	22,4 ± 5,5	28,2 ± 7,5*	21,8 ± 6,5	24,0 ± 4,5
Проба Ромберга, поза «аист» без зрит. контроля, с	3,5 ± 1,4	6,0 ± 2,2*	3,6 ± 0,8	4,3 ± 1,2≠
Гарвардский степ-тест	67,8 ± 4,2	82,5 ± 4,6*	68,1 ± 4,0	73,2 ± 4,3*≠
Приседания за 60 с, кол-во	18,5 ± 3,4	28,5 ± 3,0*	17,9 ± 3,5	22,0 ± 4,5*≠
Время удержания позы «планка», с	48,6 ± 6,2	82,3 ± 7,0*	49,1 ± 6,0	61,5 ± 6,5*≠

Примечание: * — статистически значимые различия между показателями в одной выборке на разных этапах эксперимента при уровне значимости 5 %; ≠ — статистически значимые различия между показателями в ЭГ и КГ на одном этапе эксперимента при уровне значимости 5 %.

Так, среднегрупповые значения индекса Руффье до эксперимента в ЭГ и КГ находились в диапазоне, соответствующем низкому уровню работоспособности. После эксперимента у большинства женщин экспериментальной группы было выявлено соответствие среднему уровню (только у трех испытуемых удовлетворительный уровень), тогда как в выборке КГ среднегрупповые показатели находятся на удовлетворительном уровне. Показатели результатов выполнения Гарвардского степ-теста после эксперимента в ЭГ соответствуют хорошему уровню скорости восстановления после нагрузки, а среднегрупповые значения в КГ — среднему уровню. Значимые приросты выявлены по показателям силовой и скоростно-силовой выносливости, о чем свидетельствуют высокие

достоверно значимые приросты в экспериментальной группе в тестах «удержание позы “планка”», «приседания за 60 секунд». При этом в КГ приросты также выражены на достоверно значимом уровне, но абсолютные значения результатов после эксперимента в ЭГ превышают результаты в контрольной группе.

Результаты анализа заключительного экспресс-анкетирования, направленного на субъективную оценку психоэмоционального состояния женщин в процессе занятий, свидетельствуют о более выраженной положительной ответной реакции в ЭГ (применялась анкета фитнес-клуба «Мои впечатления о занятиях», блок, касающийся настроения, самочувствия и удовлетворенности достигнутыми результатами). Большинство женщин ЭГ (10 человек) ответили, что перед началом занятия ощущают повышение настроения, прилив сил и энергии, после занятия чувствуют приятную усталость и удовлетворенность, тогда как в КГ таких ответов было только 4. На вопрос об ощущениях во время занятия все женщины ЭГ выбрали ответ, что чувствуют уверенность в своих силах и радость движения, в сравнении с КГ, где таких ответов было 7. Преобладание ответов о полной удовлетворенности результатами занятий в ЭГ соотносится с ответами о намерении продолжения занятий (12 ответов), при этом в КГ только 6 женщин дали аналогичные ответы, а причинами неудовлетворенности указали однообразие и отсутствие желаемого эффекта от занятий. Таким образом, можно предположить, что занятия фитнес-джампингом более выражено способствуют поддержанию психоэмоционального состояния, а следовательно, интереса и мотивации к продолжению занятий.

Выводы

Применение фитнес-джампинга в системе физкультурно-оздоровительных мероприятий является эффективным средством развития разных компонентов выносливости и улучшения функционального состояния женщин 35–45 лет, относящихся к 1-й медицинской группе здоровья, при условии соблюдения принципов систематичности, постепенности наращивания нагрузок, доступности (соответствия возрастным особенностям и уровню подготовленности). В сравнении с фитнес-программами сходной направленности (степ-аэробика), применение фитнес-джампинга в зрелом возрасте способствует более выраженным положительным изменениям показателей физической подготовленности и функционального состояния, о чем свидетельствуют достоверно значимые значения приростов по результатам проведения Гарвардского степ-теста, гипоксических проб, пробы Ромберга, тестов, оценивающих силовую и скоростно-силовую выносливость.

Безусловно, проведенное исследование можно считать лишь промежуточным этапом для формирования устойчивых представлений о влиянии занятий фитнес-джампингом на функциональное состояние женщин зрелого возраста,

так как было вовлечено ограниченное количество участниц эксперимента, что обусловлено объективными сложностями организации полновесного масштабного исследования в условиях работы коммерческой структуры (фитнес-клуба). Перспективы использования результатов проведенного исследования просматриваются в направлении дальнейшего уточнения и расширения поля научных данных с участием более объемной выборки женщин зрелого возраста, а также с участием других возрастных групп, отслеживания отставленных эффектов занятий джампингом по более широкому спектру показателей функционального состояния.

Список источников

1. Анциферова К. А., Лаптева В. В. Влияние фитнес-технологий на функциональное состояние женщин зрелого возраста // Медицина. Социология. Философия. Прикладные исследования. 2023. № 4. С. 88–91. EDN: OZDRON.
2. Каныгина А. В., Новицкий П. И. Физкультурно-оздоровительные занятия фитнес-джампингом с женщинами среднего возраста // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. 2019. № 3 (104). С. 154–160. EDN: LSYSdT.
3. Овсянникова М. А. Джампинг-фитнес как новое увлечение населения // Роль организационно-управленческой деятельности и спортивного администрирования в развитии спорта и физической культуры населения: материалы I Всероссийской научно-практической конференции. Омск: СибГУФК, 2021. С. 246–249. EDN: AHMVQB.
4. Подосинникова А. А. Оздоровительная роль джампинга у детей // Актуальные вопросы психолого-педагогической кинезиологии, оздоровительной и адаптивной физической культуры: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Ростов-на-Дону, 2022. С. 157–163. EDN: WCENHT.
5. Предпочтения потребителей и качество реализации услуг в сфере физической культуры и спорта / И. Ю. Горская, Т. А. Кравчук, А. И. Кравчук, А. С. Белякова // Теория и практика физической культуры. 2023. № 12. С. 6–8. EDN: GUXVCQ.
6. Сударь В. В., Комнатная Л. С. Влияние групповых занятий фитнесом разной направленности на показатели физической подготовленности женщин второго периода зрелого возраста // Ученые записки университета им. П. Ф. Лесгафта. 2021. № 8 (198). С. 298–302. <https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2021.8.p298-302>. EDN: GNSSPM.
7. Химич М. Н. Джампинг как новый способ оздоровления // Физическая культура и спорт: интеграция науки и практики: материалы XV Международной научно-практической конференции. Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2018. С. 269–270. EDN: VSIQJJ.
8. Шестаков М. М., Ластовская Е. В. Процессуальные компоненты методики коррекции профиля общей физической подготовленности детей младшего школьного возраста средствами джампинг-фитнеса // Физическая культура, спорт — наука и практика. 2025. № 3. С. 52–59. https://doi.org/10.53742/1999-6799/3_2025_52-59. EDN: IGTXJD.
9. Mini-Trampoline Jumping as an Exercise Intervention for Postmenopausal Women Who Experienced a Stroke: A Case Report / A. Fricke, Ph. W. Fink, S. D. Lark et al. // Journal of Women's Health Physical Therapy. 2021. Vol. 45. № 4. P. 201–208. <https://doi.org/10.1097/jwh.0000000000000212>. EDN: JIGNYP.

10. Mini-Trampoline Training Enhances Executive Functions and Motor Skills in Preschoolers / M. A. Ltifi, Y. Cherni, E. A. Panaet et al. // *Children* (Basel). 2025. Vol. 12. № 10. P. 1405. <https://doi.org/10.3390/children12101405>. EDN: TTMIDF.
11. O'Brien M. W., Johns J. A., Robinson S. A., Bungay A., Mekary S., Kimmerly D. S. Impact of High-Intensity Interval Training, Moderate-Intensity Continuous Training, and Resistance Training on Endothelial Function in Older Adults // *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2020. Vol. 52. № 5. P. 1057–1067. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002226>
12. Perceptions of a 12-week mini-trampoline exercise intervention for postmenopausal women // *The Journal of Sport and Exercise Science*. 2023. Vol. 1. № 1. P. 53–59. <https://doi.org/10.36905/jses.2023.01.07>. EDN: NWYZYN.
13. Rodrigues G. Mini-trampoline enhances cardiovascular responses during a stationary running exergame in adults / G. Rodrigues, P. Rodrigues, F. Silva, P. Nakamura, W. Higino, R. Souza // *Biology of Sport*. 2018. Vol. 35. Iss. 4. P. 335–342. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2018.78052>

References

1. Antsiferova K. A., Lapteva V. V. Influence of fitness technologies on the functional state of mature women. *Medicine. Sociology. Philosophy. Applied Research*. 2023;(4):88–91. EDN: OZDRON. (In Russ.).
2. Kanygina A. V., Novitsky P. I. Physical culture and health-improving fitness jumping classes with middle-aged women. *Vestnik of Vitebsk State University*. 2019;(104):154–160. EDN: LSYSOT. (In Russ.).
3. Ovsyannikova M. A. Jumping fitness as a new hobby of the population. The role of organizational and managerial activities and sports administration in the development of sports and physical culture of the population: materials of the 1st All-Russian Scientific and Practical Conference. Omsk: SibSUPC. 2021:246–249. EDN: AHMVQB. (In Russ.).
4. Podosinnikova A. A. Health-improving role of jumping in children. Current issues of psychological and pedagogical kinesiology, health-improving and adaptive physical culture: collection of materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Rostov-on-Don. 2022:157–163. EDN: WCENHT. (In Russ.).
5. Gorskaya I. Yu., Kravchuk T. A., Kravchuk A. I., Belyakova A. S. Consumer preferences and quality of service delivery in the field of physical culture and sports. *Theory and Practice of Physical Culture*. 2023;(12):6–8. EDN: GUXVCQ. (In Russ.).
6. Sudar V. V., Komnatnaya L. S. Influence of group fitness classes of different directions on physical fitness indicators of women of the second period of mature age. *Scientific Notes of the P. F. Lesgaft University*. 2021;(198):298–302. (In Russ.). <https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2021.8.p298-302>. EDN: GNSSPM.
7. Khimich M. N. Jumping as a new way of healing. Physical culture and sports: integration of science and practice: materials of the XV International Scientific and Practical Conference. Stavropol: NCFU Publishing House. 2018:269–270. EDN: VSIQJJ. (In Russ.).
8. Shestakov M. M., Lastovskaya E. V. Procedural components of the methodology for correcting the general physical fitness profile of primary school children by means of jumping fitness. *Physical Culture, Sport — Science and Practice*. 2025;(3):52–59. (In Russ.). https://doi.org/10.53742/1999-6799/3_2025_52-59. EDN: IGTXJD.

9. Fricke A., Fink Ph. W., Lark S. D. et al. Mini-trampoline jumping as an exercise intervention for postmenopausal women who experienced a stroke: a case report. *Journal of Women's Health Physical Therapy*. 2021;45(4):201–208. <https://doi.org/10.1097/jwh.0000000000000212>. EDN: JIGNYP.
10. Ltifi M. A., Cherni Y., Panaet E. A. et al. Mini-trampoline training enhances executive functions and motor skills in preschoolers. *Children (Basel)*. 2025;12(10):1405. <https://doi.org/10.3390/children12101405>. EDN: TTMIDF.
11. O'Brien M. W., Johns J. A., Robinson S. A., Bungay A., Mekary S., Kimmerly D. S. Impact of high-intensity interval training, moderate-intensity continuous training, and resistance training on endothelial function in older adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2020;52(5):1057–1067. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002226>
12. Perceptions of a 12-week mini-trampoline exercise intervention for postmenopausal women. *The Journal of Sport and Exercise Science*. 2023;1(1):53–59. <https://doi.org/10.36905/jses.2023.01.07>. EDN: NWZYZN.
13. Rodrigues G., Rodrigues P., Silva F., Nakamura P., Higino W., Souza R. Mini-trampoline enhances cardiovascular responses during a stationary running exergame in adults. *Biology of Sport*. 2018;35(4):335–342. <https://doi.org/10.5114/biol sport.2018.78052>

Информация об авторах / Information about the authors:

Горская Инесса Юрьевна — доктор педагогических наук, профессор, профессор кафедры естественно-научных дисциплин, Сибирский государственный университет физической культуры и спорта, Омск, Россия.

Gorskaya Inessa Yuryevna — Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Professor of the Department of Natural Sciences, Siberian State University of Physical Education and Sports, Omsk, Russia.

mbofkis@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1813-4387>

Мартынова Анна Сергеевна — кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры физического воспитания и спорта, Омский государственный университет путей сообщения, Омск, Россия.

Martynova Anna Sergeevna — Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physical Education and Sports, Omsk State University of Railway Engineering, Omsk, Russia.

anna_omsk81@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4272-4579>

Клименко Анна Александровна — старший преподаватель кафедры физического воспитания и спорта, Омский государственный университет путей сообщения, Омск, Россия.

Klimenko Anna Alexandrovna — Senior Lecturer at the Department of Physical Education and Sports, Omsk State University of Railway Engineering, Omsk, Russia.

annaklimenko85@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9599-8931>

Вклад авторов:

Инесса Юрьевна Горская — общая идея, анализ состояния проблемы исследования, организация и руководство проведением исследования, интерпретация результатов, обобщение.

Анна Сергеевна Мартынова — участие в тестировании, анализ и описание результатов исследования.

Анна Александровна Клименко — участие в тестировании, статистическая обработка, оформление рисунка и таблицы.

Authors' contributions:

Inessa Yuryevna Gorskaya — general idea, analysis of the current state of the research problem, organization and supervision of the research, interpretation of the results, summarization.

Anna Sergeevna Martynova — participation in testing, analysis and description of the research results.

Anna Alexandrovna Klimenko — participation in testing, statistical processing, design of the figure and table.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no relevant conflict of interests.

Статья поступила в редакцию: 09.03.2026;
одобрена после доработки: 18.05.2026;
принята к публикации: 19.05.2026.

The article was submitted: 09.03.2026;
approved after reviewing: 18.05.2026;
accepted for publication: 19.05.2026.

Исследовательская статья

УДК: 615.851:616-001-036.82:004.946

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-212-224

**Кристина Михайловна Назарова¹,
Анна Николаевна Голикова²,
Лариса Александровна Марченкова³**

^{1, 2, 3} Национальный медицинский исследовательский
центр реабилитации и курортологии
Минздрава России,
Москва, Россия

ВЛИЯНИЕ РЕАБИЛИТАЦИИ В УСЛОВИЯХ ВИРТУАЛЬНОЙ СРЕДЫ НА УРОВЕНЬ ТРЕВОЖНОСТИ И СТРАХ ПОВТОРНОЙ ТРАВМЫ У ПАЦИЕНТОВ ПОСЛЕ ТРАВМ И ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

Аннотация. Цель исследования — оценить влияние VR-реабилитации¹ с элементами когнитивно-поведенческой терапии на ситуативную тревожность и кинезиофобию у пациентов после травм и операций на нижних конечностях.

60 пациентов были рандомизированы в группу ЛФК + VR ($n = 30$) и контрольную группу (только ЛФК, $n = 30$). VR-программа сочетала релаксацию и градуированную экспозицию. Результаты измеряли через 4 недели и спустя 3 месяца. В группе VR, по сравнению с группой контроля, достоверно снизились кинезиофобия (на 34,2 %), ситуативная тревожность (38,7 %), катастрофизация боли (41,3 %) и боль при ходьбе (58,3 %); функциональный статус вырос на 47,2 %. Эффект сохранялся на протяжении 3 месяцев. По результатам эксперимента были сделаны выводы, что VR-терапия значительно превосходит стандартную реабилитацию по влиянию на психоэмоциональные барьеры и функции, что подтверждает целесообразность ее клинического применения.

Ключевые слова: виртуальная реальность, кинезиофобия, ситуативная тревожность, реабилитация, нижние конечности, эндопротезирование, травмы, когнитивно-поведенческая терапия, градуированная экспозиция

Финансирование: исследование выполнено в рамках государственного задания «Разработка программного обеспечения нового метода медицинской реабилитации на основе технологии виртуальной реальности для восстановления двигательной функции и физиологического паттерна походки у пациентов после травм и хирургического лечения нижних конечностей».

¹ VR-реабилитация — это современный метод восстановления, использующий шлемы виртуальной реальности для полного погружения пациента в интерактивную среду.

Research article

UDC 615.851:616-001-036.82:004.946

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-212-224

Kristina Mikhailovna Nazarova¹,
Anna Nikolaevna Golikova²,
Larisa Aleksandrovna Marchenkova³

^{1, 2, 3} National Medical Research Center
for Rehabilitation and Balneology,
Moscow, Russia

THE IMPACT OF VIRTUAL REHABILITATION ON ANXIETY LEVELS AND RE-INJURY FEAR IN PATIENTS AFTER LOWER LIMB INJURIES AND SURGERIES

Abstract. Goal — to evaluate the impact of VR rehabilitation with elements of cognitive behavioral therapy on situational anxiety and kinesiophobia in patients after lower limb injuries and surgeries. Materials and methods. 60 patients were randomized into the exercise therapy + VR group ($n = 30$) and the control group (exercise therapy only, $n = 30$). The VR program combined relaxation and graduated exposure. The results were measured after 4 weeks and after 3 months.

In the VR group, compared with the control, kinesiophobia (by 34.2 %), situational anxiety (38.7 %), pain catastrophization (41.3 %) and pain when walking (58.3 %) significantly decreased; functional status increased by 47.2 %. The effect persisted for 3 months. VR therapy significantly surpasses standard rehabilitation in terms of its effect on psychoemotional barriers and functions, which confirms the expediency of its clinical application.

Keywords: virtual reality, kinesiophobia, situational anxiety, rehabilitation, lower extremities, arthroplasty, trauma, cognitive behavioral therapy, graduated exposure

Funding statement: this study was conducted as part of the state-funded project “Development of Software for a Novel Medical Rehabilitation Method Using Virtual Reality Technology to Restore Motor Function and Physiological Gait Pattern in Patients following Lower Extremity Injuries and Surgical Treatment”.

Введение

Травмы и хирургические вмешательства на нижних конечностях относятся к числу наиболее распространенных причин временной нетрудоспособности. Ежегодно в мире выполняются миллионы операций по эндопротезированию крупных суставов и применению реконструктивных технологий после травм [14]. Однако даже при технически успешно выполненном хирургическом вмешательстве и адекватном восстановлении объема движений до 40–65 % пациентов не возвращаются к прежнему уровню физической активности и занятиям спортом [15].

Ключевым фактором, лимитирующим восстановление функций нижних конечностей, выступают психологические барьеры, среди которых ведущую роль играют страх повторной травмы и ситуативная тревожность, связанная с выполнением движений. Кинезиофобия определяется как чрезмерный, иррациональный страх перед движением и физической активностью, возникающий из-за ощущения уязвимости к повторной травме или болевому ощущению [9]. Этот страх формирует порочный круг: пациент избегает движений, которые кажутся ему опасными, что приводит к детренированности, мышечному дисбалансу и закреплению патологического двигательного стереотипа, что, в свою очередь, повышает реальный риск повторной травмы [5; 7].

Традиционные программы реабилитации в травматологии и ортопедии преимущественно ориентированы на восстановление параметров биомеханики ходьбы и, как правило, не включают систематической психологической коррекции. Международные исследования последних лет демонстрируют растущий интерес к применению технологий виртуальной реальности (VR) для решения этой проблемы [8; 11].

VR-технологии обладают уникальным потенциалом для воздействия на психоэмоциональный статус пациентов. Во-первых, иммерсивная среда позволяет создавать контролируемые условия для градуированной экспозиции — метода когнитивно-поведенческой терапии, при котором пациент постепенно сталкивается с пугающими ситуациями (например, ходьба по неровной поверхности, перенос веса на оперированную ногу) в безопасном виртуальном пространстве. Во-вторых, включение элементов медитации и релаксации в VR-среду способствует снижению общего уровня тревожности и стресса. В-третьих, наблюдение за движениями аватара (феномен воплощения) может активировать нейронные механизмы, способствующие моторному переобучению и снижению страха [12; 13].

Метаанализы последних лет подтверждают эффективность VR-вмешательств в отношении боли и кинезиофобии при хронических болевых синдромах, особенно при хронической боли в спине. Так, по результатам исследования Ран Ли и соавторов (2024) [15], сразу после курса VR-терапии метаанализ показал снижение боли на 1,43 % и страха, связанного с болью — на 5,46 %. По результатам исследования Ванг Су и соавторов (2023) [16] метаанализ продемонстрировал умеренный эффект VR в снижении кинезиофобии, причем наибольшая эффективность отмечена при сочетании VR с физическими упражнениями.

Однако большинство имеющихся исследований сфокусированы на пациентах с хроническим болевым синдромом (преимущественно с болью в спине). Данные об эффективности VR в коррекции тревожности и страха повторной травмы у пациентов ортопедического профиля, в особенности после травм и операций на нижних конечностях, остаются ограниченными. Пилотные исследования демонстрируют обнадеживающие результаты в отношении выполнимости и предварительной эффективности таких вмешательств [1; 4; 16].

Цель настоящего исследования — оценить эффективность программы виртуальной реабилитации, включающей элементы когнитивно-поведенческой терапии и иммерсивного тренинга, в снижении уровня ситуационной тревожности и кинезиофобии у пациентов после травм и хирургического лечения нижних конечностей.

Материалы и методы исследования

На базе Национального медицинского исследовательского центра реабилитации и курортологии в период с марта по декабрь 2025 года было проведено проспективное рандомизированное контролируемое исследование с двумя параллельными группами и периодом наблюдения 3 месяца. Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом (протокол № 12/2024). Все пациенты подписали информированное согласие.

Критерии включения: пациенты в возрасте от 18 до 70 лет; состояние после первичного эндопротезирования тазобедренного или коленного сустава (срок после операции — 6–12 недель), либо после хирургического лечения травм голеностопного сустава (переломы, повреждения связок) со сроком после операции 8–16 недель; наличие признаков кинезиофобии (исходный балл Тампской шкалы кинезиофобии (TSK-11) > 37); способность к самостоятельному передвижению с опорой или без; отсутствие опыта использования VR.

Критерии исключения: острые тромбозы глубоких вен; эпилепсия; выраженные когнитивные нарушения (MoCA < 24); вестибулярные расстройства в стадии обострения; нестабильность эндопротеза или другие хирургические осложнения; отказ от участия.

Характеристика выборки. В исследование было включено 60 пациентов (34 женщины, 26 мужчин). Средний их возраст составил 44,6 (37,2–67,1) года. Распределение по нозологиям: эндопротезирование тазобедренного сустава ($n = 22$), эндопротезирование коленного сустава ($n = 18$), операции на голеностопном суставе ($n = 20$). Исходно группы не различались по демографическим и клиническим характеристикам ($p > 0,05$).

Рандомизация. Методом случайной выборки (компьютерная генерация случайных чисел) пациенты были разделены на две группы по 30 человек. Основная группа получала на занятиях стандартный комплекс лечебной физической культуры (ЛФК) № 12 по 30 минут и сеансы VR-терапии № 12 по 30 минут. Контрольная группа получала на занятиях только стандартный комплекс ЛФК № 12 по 30 минут.

Пациенты экспериментальной группы дополнительно получали 15-минутные сеансы VR-терапии с использованием гарнитуры HTC Vive Pro Eye и специализированного программного обеспечения, разработанного в рамках государственного задания. Программа включала два модуля:

1. Модуль релаксации (первые 10 минут). Пациент находился в виртуальной среде с элементами природы (лес, морское побережье). Использовались техники диафрагмального дыхания с визуальной и звуковой обратной связью. Этот компонент терапии направлен на снижение базового уровня тревоги.

2. Модуль градуированной экспозиции (20 минут). Пациент выполнял двигательные задания, постепенно приближавшие его к пугающим сценариям. На базовом уровне предлагались простые движения (перенос веса, отведение ноги) в спокойной обстановке без двойных задач. По мере прогресса добавлялись элементы, провоцирующие страх, например: изменение рельефа поверхности, появление виртуальных препятствий, необходимость переноса опоры на оперированную конечность. Пациент наблюдал за движениями аватара от первого лица, что усиливало эффект воплощения. Важно подчеркнуть, что пациент контролировал темп передвижения и мог в любой момент снизить уровень сложности.

Методы оценки. Оценка проводилась слепым методом (исследователь, проводивший оценку, не знал распределения по группам) в три временных точки: до начала вмешательства, после завершения курса (4 недели), через 3 месяца после окончания курса. Использовались следующие инструменты: шкала Тампа (TSK-11) — сокращенная версия шкалы кинезиофобии Тампа, шкала ситуативной тревожности Спилбергера – Ханина, шкала катастрофизации боли, визуально-аналоговая шкала (ВАШ) для оценки интенсивности боли при ходьбе, функциональная шкала нижних конечностей (LEFS), оценка удовлетворенности (по окончании курса, 5-балльная шкала Лайкерта).

Статистический анализ. Проверка нормальности распределения проводилась по критерию Шапиро – Уилка. Внутригрупповые различия оценивались по критерию Вилкоксона, межгрупповые — по критерию Манна – Уитни. Для множественных сравнений применялась поправка Бонферрони. Корреляционный анализ был выполнен по Спирмену, данные представлены как $M [Q1; Q3]$, уровень значимости — $p < 0,05$.

Результаты исследования

Все 60 пациентов завершили полный курс реабилитации. В экспериментальной группе все пациенты успешно прошли 12 сеансов VR-терапии. Побочных эффектов (выраженного киберукачивания, головокружения) не зафиксировано, трое пациентов отметили легкий дискомфорт на первом сеансе, который не потребовал прекращения тренировок.

Исходно обе группы имели сопоставимый уровень кинезиофобии (T_0). После завершения курса в экспериментальной группе было зафиксировано достоверное снижение балла по шкале Тампа (TSK-11) на 34,2 % ($p < 0,001$), тогда как в контрольной группе улучшение составило лишь 12,4 % ($p = 0,03$). Межгрупповые различия на T_1 высоко достоверны ($p < 0,001$). Через 3 месяца (T_2)

в экспериментальной группе сохранялось стойкое улучшение (незначимое повышение относительно T1, $p > 0,05$), тогда как в группе контроля наблюдалась тенденция к возврату показателей (табл. 1).

Таблица 1

Динамика уровня кинезиофобии в группах до и после курса реабилитации (шкала Тампа – 11, баллы) в исследуемых группах

Точка контроля	Основная группа (VR + ЛФК) ($n = 30$)	Контрольная группа (ЛФК) ($n = 30$)	p
T0 (исходно)	$46,3 \pm 4,8$	$45,8 \pm 5,1$	0,72
T1 (4 недели)	$30,5 \pm 4,1^*$	$40,1 \pm 4,7^\#$	$< 0,001$
T2 (3 месяца)	$32,1 \pm 4,5^*$	$42,3 \pm 5,2$	$< 0,001$
$\Delta\%$ T0–T1	–34,2 %	–12,4 %	

Примечание: $p < 0,05$ при сравнении с T0 внутри группы; * — различия достоверны относительно контрольной группы; # — различия достоверны относительно основной группы.

Похожая динамика наблюдалась и в отношении ситуационной тревожности. Так, в группе VR снижение по шкале ситуативной тревожности Спилбергера – Ханина составило 38,7 % ($p < 0,001$), в группе контроля — лишь 10,2 % ($p = 0,08$, изменения статистически не значимы), на T1 и T2 различия между группами высоко достоверны ($p < 0,001$) (табл. 2).

Таблица 2

Динамика ситуационной тревожности в группах до и после курса реабилитации (шкала ситуативной тревожности Спилбергера – Ханина, баллы)

Точка контроля	Основная группа (VR + ЛФК) ($n = 30$)	Контрольная группа (ЛФК) ($n = 30$)	p
T0 (исходно)	$48,3 \pm 5,6$	$47,9 \pm 6,1$	0,81
T1 (4 недели)	$29,6 \pm 4,3^*$	$43,0 \pm 5,8$	$< 0,001$
T2 (3 месяца)	$31,2 \pm 4,8^*$	$44,1 \pm 5,9$	$< 0,001$
$\Delta\%$ T0–T1	–38,7 %	–10,2 %	

Примечание: $p < 0,05$ при сравнении с T0 внутри группы; * — различия достоверны относительно контрольной группы.

Шкала катастрофизации боли продемонстрировала наиболее выраженную динамику в группе VR в виде снижения на 41,3 % против 9,8 % в группе контроля ($p < 0,001$). Функциональный статус нижней конечности повысился в обеих группах, но в группе VR прирост был достоверно выше (47,2 % против 21,5 % в контрольной, $p = 0,002$). Интенсивность боли при ходьбе снизилась на 58,3 % в группе VR и на 27,1 % в группе контроля ($p < 0,001$) (см. табл. 3).

В экспериментальной группе была выявлена сильная отрицательная корреляция между динамикой кинезиофобии и динамикой функционального статуса нижней конечности ($\rho = -0,68$, $p < 0,01$). Это означает, что чем больше снижался

Таблица 3

**Динамика функциональных показателей
в группах до и после курса реабилитации**

Точка контроля	Основная группа (VR + ЛФК) (n = 30)	Контрольная группа (ЛФК) (n = 30)	p
Шкала катастрофизации боли, баллы			
T0 (исходно)	24,5 ± 4,2	23,9 ± 4,5	0,64
T1 (4 недели)	14,4 ± 3,6*	21,6 ± 4,1	< 0,001
Функциональный статус нижней конечности, баллы			
T0	41,3 ± 6,2	42,1 ± 5,8	0,59
ВАШ, баллы			
T0	4,9 ± 0,8	4,7 ± 0,9	0,67
T1	2,0 ± 0,5*	3,4 ± 0,7 [#]	< 0,001

Примечание: $p < 0,05$ при сравнении с T0 внутри группы; * — различия достоверны относительно контрольной группы; [#] — различия достоверны относительно основной группы.

страх движения, тем значительно улучшалась функциональная способность пациента. Кроме того, нам удалось выявить устойчивую связь: чем сильнее у пациентов снижалась тревожность, тем меньше становилась интенсивность боли ($\rho = 0,54$; $p = 0,02$).

В экспериментальной группе 28 человек из 30 (93,3 %) оценили свой опыт взаимодействия с VR как положительный или очень положительный. Никто из участников не сообщил о дискомфорте или чувстве незащищенности во время сеансов — даже несмотря на то, что задания включали пугающие стимулы.

Обсуждение результатов

Добавление программы виртуальной реабилитации с элементами психологической коррекции к стандартному курсу ЛФК дало следующий результат: у пациентов после травм и операций на нижних конечностях достоверно снизились и ситуативная тревога, и страх повторной травмы. Этот вывод согласуется с данными зарубежных метаанализов и одновременно уточняет их — показывает, что эффект работает именно для данной клинической группы.

Судя по всему, здесь действуют два механизма. Первый — релаксация за счет погружения в иммерсивную среду. В пользу этого говорит динамика по шкале Спилберга – Ханина: уже после первого сеанса базовый уровень тревожности значительно падал. Второй механизм — градуированная экспозиция: пациент в безопасных условиях шаг за шагом сталкивается с теми движениями,

которые в обычной жизни вызывают страх. Это позволяет этот страх преодолеть.

Обращает на себя внимание другое: в VR-группе заметно снизилась катастрофизация боли. Напомним, что катастрофизацию рассматривают как ключевой когнитивный фактор, через который боль и страх влияют друг на друга. Уменьшение склонности преувеличивать угрозу — это, вероятно, следствие когнитивной перестройки, которая происходит прямо в ходе тренинга. Человек на собственном опыте убеждается, что если выполнить то самое пугающее движение, повторной травмы не случится и сильной боли не будет.

Важный момент — положительный эффект сохранился и через три месяца. Хотя в метаанализах иногда отмечают, что со временем действие VR может ослабевать, в нашем случае снижение показателей оказалось минимальным. Мы предполагаем, что дело вот в чем: уход страха позволил пациентам больше двигаться в повседневной жизни, а эта активность, в свою очередь, поддерживала и закрепляла достигнутый результат.

Важно подчеркнуть, что положительный эффект сохранялся и спустя три месяца наблюдения. Хотя метаанализы указывают на возможное угасание эффекта VR в отдаленной перспективе, в нашем исследовании редукция показателей была минимальной. По-видимому, это объясняется тем, что снижение страха позволило пациентам проявлять бóльшую повседневную активность, которая, в свою очередь, поддерживала и закрепляла достигнутый результат.

Интересно сопоставить наши данные с исследованием Чарльза Эклестона и соавторов (2022) [14], которые применяли VR-терапию при хронической боли в спине и также наблюдали значимое снижение страха движения по сравнению с группой плацебо. Однако, в отличие от их работы, мы включили в наше исследование только пациентов с исходно высоким уровнем кинезиофобии (шкала Тампа (TSK-11) > 37), что позволило выделить группу, наиболее нуждающуюся в психологической коррекции.

Ограничения исследования:

- относительно небольшой размер выборки, не позволивший провести стратифицированный анализ по нозологическим группам (эндопротезирование тазобедренного сустава, коленного сустава, травмы голеностопного сустава);
- отсутствие группы плацебо-контроля, что не позволяет полностью исключить эффект новизны и внимания;
- исследование проводилось на базе одного центра;
- отсутствие оценки нейрофизиологических параметров (электроэнцефалография, вызванные потенциалы), которые могли бы подтвердить центральные механизмы наблюдаемых изменений.

Заключение

Если суммировать наши данные, то картина получается следующая. Программа виртуальной реабилитации — с включением релаксационных блоков и VR-тренировок — заметно повышает эффективность стандартного восстановления после травм и операций на нижних конечностях. В цифрах это выглядит так: кинезиофобия падает на 34,2 %, ситуативная тревожность — на 38,7 %, катастрофизация боли — на 41,3 %. А интенсивность самой боли снижается почти на 60 % (59,2 %, если точно). И все это сопровождается реальным улучшением того, как пациенты себя чувствуют в повседневной жизни — их функциональный статус становится выше. Плюс эффект держится как минимум три месяца после того, как курс завершен. С практической точки зрения это означает, что такие психологически ориентированные VR-технологии вполне можно и нужно внедрять в работу реабилитационных центров — полученные данные дают для этого веские основания.

Список литературы

1. Бодрова Р. А., Петрова Р. В., Делян А. М. и др. Современный подход к реабилитации пациентов с переломами костей нижних конечностей // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2023. Т. 5. № 1. С. 40–51. <https://doi.org/10.36425/rehab233510>. EDN: RHIXYK.
2. Варламов А. В., Яковлева Н. В. Психофизиологические особенности взаимодействия с пугающим образом в виртуальной реальности // Наука молодых — Eruditio Juvenium. 2023. Т. 11. № 3. С. 345–360. <https://doi.org/10.23888/HMJ2023113345-360>. EDN: DBWCSA.
3. Васильева В. А., Марченкова Л. А., Ответчикова Д. И. и др. Медицинская реабилитация после травм нижних конечностей у пациентов с сахарным диабетом: обзор литературы // Вестник восстановительной медицины. 2024. Т. 23. № 3. С. 61–68. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-61-68>. EDN: AWBCPO.
4. Воловик М. Г., Белова А. Н., Кузнецов А. Н. и др. Технологии виртуальной реальности в реабилитации участников боевых действий с посттравматическим стрессовым расстройством (обзор) // Современные технологии в медицине. 2023. Т. 15. № 1. С. 74–86. <https://doi.org/10.17691/stm2023.15.1.08>. EDN: NTPCZA.
5. Гурбанова М. Ш. Виртуальная реальность (VR) в клинической медицине // Вестник науки и образования. 2025. № 3 (158)-2. С. 60–61. EDN: KCFXLZ.
6. Дистанционная реабилитация пациентов с эндопротезированием тазобедренного или коленного сустава: проспективное многоцентровое рандомизированное контролируемое сравнительное исследование / Г. Е. Шейко, Н. Н. Карякин, А. Н. Белова и др. // Вестник восстановительной медицины. 2026. Т. 25. № 1. С. 10–20. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-1-10-20>. EDN: PKGCQS.
7. Коновалова Н. Г., Васильченко Е. М., Хохлова О. И. Виртуальная реальность в реабилитации пациентов с повреждением спинного мозга. Обзор литературы // Политравма. 2025. № 3. С. 75–82. <https://doi.org/10.24412/1819-1495-2025-3-75-82>. EDN: LIHWGD.

8. Маринова М. М. Влияние VR-среды на уровень тревожности // Экспериментальная психология. 2022. Т. 15. № 2. С. 49–58. <https://doi.org/10.17759/exppsy.2022150204>. EDN: UYZLWM.
9. Погонченкова И. В., Макарова М. Р., Сомов Д. А. и др. Технологии виртуальной реальности в коррекции двигательных нарушений и кинезиофобии у пациентов с патологией опорно-двигательной системы // Вестник медицинского института «Реавиз»: реабилитация, врач и здоровье. 2025. Т. 15. № 1. С. 52–60. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2025.1.CLIN.4>. EDN: HJQHYX.
10. Понизовский П. А., Шмуклер А. Б. Технологии виртуальной реальности в рамках психосоциальной реабилитации при шизофрении // Социальная и клиническая психиатрия. 2024. Т. 34. № 1. С. 103–111. <https://doi.org/10.34757/0869-4893.2024.34.1.010>. EDN: LIXIJS.
11. Самофалов Д. А., Дегтерев Д. А., Печенина Д. Н. Использование виртуальной реальности в сочетании с интерфейсом «мозг-компьютер» в двигательной реабилитации // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2025. № 1 (51). С. 79–89. <https://doi.org/10.21685/2307-5538-2025-1-10>. EDN: RVAXBI.
12. Сравнительный анализ использования баланс-платформ у пациентов после пластики передней крестообразной связки / Р. А. Жаворонков, М. Ю. Яковлев, Л. А. Марченкова и др. // Вестник восстановительной медицины. 2025. Т. 24. № 5. С. 131–141. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-5-131-141>. EDN: KJUQEX.
13. Ходькова Ю. В., Усова Н. Н. Кинезиофобия и ее составляющие в характеристике психоэмоционального состояния пациентов пожилого возраста с хроническим болевым синдромом // Неврология и нейрохирургия. Восточная Европа. 2022. Т. 12. № S1. С. 162–164. EDN: PVSESS.
14. A prospective, double-blind, pilot, randomized, controlled trial of an “embodied” virtual reality intervention for adults with low back pain / Ch. Eccleston, E. Fisher, S. Liikkanen et al. // Pain. 2022. Vol. 163. № 9. P. 1700–1715. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000002617>. EDN: HQDVUJ.
15. Li R. et al. Virtual reality-based training in chronic low back pain: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials / R. Li, Y. Li, Y. Kong et al. // Journal of Medical Internet Research. 2024. Vol. 26. P. e45406. <https://doi.org/10.2196/45406>. EDN: DABKNI.
16. Wang S., Sun J., Yin X., Li H. Effect of virtual reality technology as intervention for people with kinesiophobia: a meta-analysis of randomised controlled trials // Journal of clinical nursing. 2023. Vol. 32. № 13-14. P. 3074–3086. <https://doi.org/10.1111/jocn.16397>. EDN: YOYKTQ.

References

1. Bodrova R. A., Petrova R. V., Delyan A. M. et al. Modern approach to rehabilitation of patients with fractures of the lower extremities. Physical and Rehabilitation Medicine, Medical Rehabilitation. 2023;5(1):40–51. (In Russ.). <https://doi.org/10.36425/rehab233510>. EDN: RHIXYK.
2. Varlamov A. V., Yakovleva N. V. Psychophysiological features of interaction with a frightening image in virtual reality. Science of the Young — Eruditio Juvenium. 2023;11(3):345–360. (In Russ.). <https://doi.org/10.23888/HMJ2023113345-360>. EDN: DBWCSA.

3. Vasilyeva V. A., Marchenkova L. A., Otvetchikova D. I. et al. Medical rehabilitation after lower limb injuries in patients with diabetes mellitus: a literature review. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2024;23(3):61–68. (In Russ.). <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-61-68>. EDN: AWBCPO.
4. Volovik M. G., Belova A. N., Kuznetsov A. N. et al. Virtual reality technologies in rehabilitation of combatants with post-traumatic stress disorder (review). *Modern Technologies in Medicine*. 2023;15(1):74–86. (In Russ.). <https://doi.org/10.17691/stm2023.15.1.08>. EDN: NTPCZA.
5. Gurbanova M. Sh. Virtual reality (VR) in clinical medicine. *Bulletin of Science and Education*. 2025;(158-2):60–61. EDN: KCFXLZ. (In Russ.).
6. Sheiko G. E., Karyakin N. N., Belova A. N. et al. Remote rehabilitation of patients with hip or knee arthroplasty: a prospective multicenter randomized controlled comparative study. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2026;25(1):10–20. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-1-10-20>. EDN: PKGCQS. (In Russ.).
7. Konovalova N. G., Vasilchenko E. M., Khokhlova O. I. Virtual reality in rehabilitation of patients with spinal cord injury. Literature review. *Polytrauma*. 2025;(3):75–82. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/1819-1495-2025-3-75-82>. EDN: LIHWGD.
8. Marinova M. M. The influence of VR environment on anxiety level. *Experimental Psychology*. 2022;15(2):49–58. (In Russ.). <https://doi.org/10.17759/exppsy.2022150204>. EDN: UYZLWM.
9. Pogonchenkova I. V., Makarova M. R., Somov D. A. et al. Virtual reality technologies in correction of motor disorders and kinesiophobia in patients with musculoskeletal system pathology. *Bulletin of the Medical Institute “Reaviz”: Rehabilitation, Doctor and Health*. 2025;15(1):52–60. (In Russ.). <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2025.1.CLIN.4>. EDN: HJQHYX.
10. Ponizovsky P. A., Shmukler A. B. Virtual reality technologies in the framework of psychosocial rehabilitation for schizophrenia. *Social and Clinical Psychiatry*. 2024;34(1):103–111. <https://doi.org/10.34757/0869-4893.2024.34.1.010>. EDN: LIXIJS. (In Russ.).
11. Samofalov D. A., Degterev D. A., Pechenina D. N. The use of virtual reality in combination with a brain-computer interface in motor rehabilitation. *Measurement. Monitoring. Management. Control*. 2025;(51):79–89. (In Russ.). <https://doi.org/10.21685/2307-5538-2025-1-10>. EDN: RVAXBI.
12. Zhavoronkov R. A., Yakovlev M. Yu., Marchenkova L. A. et al. Comparative analysis of the use of balance platforms in patients after anterior cruciate ligament plasty. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2025;24(5):131–141. (In Russ.). <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-5-131-141>. EDN: KJUQEX.
13. Khodkova Yu. V., Usova N. N. Kinesiophobia and its components in the characteristics of the psycho-emotional state of elderly patients with chronic pain syndrome. *Neurology and Neurosurgery. Eastern Europe*. 2022;12(S1):162–164. EDN: PVSESS. (In Russ.).
14. Eccleston Ch., Fisher E., Liikkanen S. et al. A prospective, double-blind, pilot, randomized, controlled trial of an “embodied” virtual reality intervention for adults with low back pain. *Pain*. 2022;163(9):1700–1715. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000002617>. EDN: HQDVUJ.
15. Li R., Li Y., Kong Y. et al. Virtual reality-based training in chronic low back pain: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Medical Internet Research*. 2024;26:e45406. <https://doi.org/10.2196/45406>. EDN: DABKNI.

16. Wang S., Sun J., Yin X. et al. Effect of virtual reality technology as intervention for people with kinesiophobia: a meta-analysis of randomised controlled trials. *Journal of Clinical Nursing*. 2023;32(13-14):3074–3086. <https://doi.org/10.1111/jocn.16397>. EDN: YOYKTQ.

Информация об авторах / Information about the authors:

Назарова Кристина Михайловна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела ортопедии, биомеханики, кинезитерапии и мануальной терапии, специалист по эргореабилитации, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия.

Nazarova Kristina Mikhailovna — Candidate of Biology, Senior Researcher at the Department of Orthopedics, Biomechanics, Kinesitherapy and Manual Therapy, Specialist in Ergorehabilitation, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia.

nazarovakm@nmicrk.ru, <https://orcid.org/0009-0000-2590-6755>

Голикова Анна Николаевна — доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия.

Golikova Anna Nikolaevna — Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Scientific Officer National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia.

a.nalobina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6574-1609>

Марченкова Лариса Александровна — доктор медицинских наук, доцент, руководитель научно-исследовательского управления, главный научный сотрудник, профессор кафедры восстановительной медицины, физической терапии и медицинской реабилитации, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия.

Marchenkova Larisa Alexandrovna — Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Research Department, Chief Researcher, Professor of the Department of Restorative Medicine, Physical Therapy and Medical Rehabilitation, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia.

marchenkovala@nmicrk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1886-124X>

Вклад авторов:

Кристина Михайловна Назарова — концепция статьи, написание текста, сбор и обработка материала, анализ материала.

Анна Николаевна Голикова — концепция статьи, сбор и обработка материала, анализ материала, редактирование.

Лариса Александровна Марченкова — концепция статьи, анализ материала, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи.

Все авторы подтверждают свое авторство в соответствии с международными критериями ICMJE (все авторы внесли значительный вклад в концепцию, дизайн исследования и подготовку статьи, прочитали и одобрили окончательный вариант до публикации).

Authors' contributions:

Kristina Mikhailovna Nazarova — concept of the article, writing of the text, collection and processing of the material, analysis of the material, editing, approval of the final version of the article.

Anna Nikolaevna Golikova — concept of the article, collection and processing of the material, analysis of the material, editing, approval of the final version of the article.

Larisa Alexandrovna Marchenkova — concept of the article, analysis of the material, editing, approval of the final version of the article.

All authors confirm their authorship in accordance with the international criteria of the ICMJE (all authors have made significant contributions to the concept, design of the study and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no relevant conflict of interests.

Статья поступила в редакцию: 30.03.2026;
одобрена после доработки: 02.04.2026;
принята к публикации: 04.04.2026.

The article was submitted: 30.03.2026;
approved after reviewing: 02.04.2026;
accepted for publication: 04.04.2026.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Уважаемые авторы!

Редакция просит вас при подготовке материалов, предназначенных для публикации в «Вестнике МГПУ», руководствоваться следующими требованиями.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОФОРМЛЕНИЕ СТАТЬИ:

- в верхнем левом углу указывается классификационный индекс Универсальной десятичной классификации (УДК);
- на следующей строке — инициалы и фамилия автора (-ов) (выравнивание — по левому краю, кегль — 14, выделение полужирным шрифтом);
- далее — название статьи на русском языке (выравнивание по центру, кегль 14, выделение — полужирным шрифтом);
- объем статьи — от 20 000 до 40 000 знаков с пробелами, включая рисунки, таблицы и графики, без учета списка литературы (не менее 20 000 и не более 40 000);
- поля — по 2,5 справа, слева, сверху, снизу;
- шрифт — 14, Times New Roman;
- интервал — полуторный;
- красные строки — 1,25 (выставляются автоматически);
- для связи затекстовых библиографических ссылок с текстом документа используются отсылки, которые приводятся в тексте документа в квадратных скобках;
- рисунки, схемы, таблицы и графики должны выполняться в графических редакторах, поддерживающих векторные и растровые изображения; нумеруются в порядке упоминания их в тексте. На все изображения, представленные в статье, должны быть ссылки. Подрисуточные подписи выполняются 12-м кеглем. Отдельно предоставляются рисунки в формате jpeg — не менее 300 dpi точек на дюйм;
- пристатейный библиографический список, озаглавленный **Список источников** (кегль — 14, выравнивание — по ширине страницы). Список строится в алфавитном порядке, оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.07 – 2021 «Статьи в журналах и сборниках. Издательское оформление»;
- список литературы на английском языке, озаглавленный **References** оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.07 – 2021 «Статьи в журналах и сборниках. Издательское оформление»;

- материал статьи должен отвечать требованиям оригинальности: не менее 80 %.
- основной текст статьи в издании может быть только на одном языке. Смешивать в одной статье текст на двух языках не допускается.

Рекомендуется следующая структура научной статьи в журнале:

1. УДК.
2. СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ (-АХ).
3. ЗАГЛАВИЕ СТАТЬИ.
4. АННОТАЦИЯ.
5. КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА.
6. ПРИМЕЧАНИЯ / БЛАГОДАРНОСТИ (необязательный раздел).
7. ФИНАНСИРОВАНИЕ.
8. ВВЕДЕНИЕ.
9. ТЕКСТ СТАТЬИ (с выделением разделов МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ).
10. ЗАКЛЮЧЕНИЕ / ВЫВОДЫ.
11. СПИСОК ИСТОЧНИКОВ.
12. ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ.
13. ВКЛАД АВТОРОВ.
14. КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

УДК

Классификационный индекс Универсальной десятичной классификации (УДК — <https://teacode.com/online/udc/>).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Приводятся на русском и английском языках.

Основные сведения об авторе (авторах) содержат:

- имя, отчество, фамилию автора (полностью);
- наименование организации (учреждения), ее подразделение, где работает или учится автор (без обозначения организационно-правовой формы юридического лица: ФГБУН, ФГБОУ ВО, ПАО, АО и т. п.);
- адрес организации (учреждения), ее подразделения, где работает или учится автор (город, страна);
- электронный адрес автора (e-mail);
- открытый идентификатор ученого (Open Researcher and Contributor ID — ORCID) (для каждого автора). ORCID приводят в форме электронного адреса в сети Интернет. В конце ORCID точку не ставят;
- имя, отчество, фамилия автора ответственного за переписку.

ЗАГЛАВИЕ СТАТЬИ

Приводится на русском и английском языках.

Заглавие статьи пишут прописными буквами. В конце заглавия точку не ставят.

АННОТАЦИЯ / ABSTRACT

Приводится на русском и английском языках.

Аннотация как на русском, так и на английском языке (Abstract) должна быть информативной (не содержать общих слов); содержательной (отражать основное содержание статьи и результаты исследований); структурированной (следовать логике описания результатов в статье); компактными (не превышать 250 слов). Аннотация должна включать следующие пункты:

- Актуальность проблемы, предпосылки исследования.
- Цель исследования.
- Методы исследования (если статья эмпирическая); методология, ведущий подход к исследованию проблемы (если статья теоретическая).
- Результаты исследования, представленные в статье.
- Выводы, отражающие научную и практическую значимость результатов исследования, представленных в статье.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА / KEYWORDS

Приводится на русском и английском языках.

Ключевые слова — семантическое ядро публикации. Они должны включать основные категории и понятия, указывать на тему статьи и научную сферу, к которой она относится, отражать ее предметную и терминологическую область. Не используют обобщенные и многозначные слова, а также словосочетания, содержащие причастные обороты. Количество ключевых слов не должно быть меньше 3 и больше 15. Их приводят, предваряя словами «Ключевые слова» (Keywords). После ключевых слов точку не ставят.

ПРИМЕЧАНИЯ / БЛАГОДАРНОСТИ / ACKNOWLEDGMENTS (необязательный раздел)

В этом разделе указываются:

- благодарности (если такие имеются);
- небольшой параграф, содержащий информацию о том, где и при каких условиях можно получить доступ к вашим данным.

Дополнительно могут быть приведены:

- библиографическая запись на статью для дальнейшего цитирования;
- сведения о продолжении или окончании статьи при ее публикации частями в нескольких выпусках издания в конце каждой части по форме «Продолжение (окончание) следует».

ФИНАНСИРОВАНИЕ / FUNDING STATEMENT

Приводится на русском и английском языках.

Полная информация о финансовой поддержке исследования, представленного в статье, или информация о том, что исследование не имело финансовой поддержке.

ВВЕДЕНИЕ

Краткое изложение степени разработанности проблемы (не менее 5 ссылок на уже известные выводы, опубликованные в отечественных и зарубежных работах по проблеме);

краткое и точное описание актуальности исследования;

краткое изложение степени разработанности проблемы;

описание существующих противоречий и позиции автора.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Необходимо максимально полно описать дизайн исследования (цель, задачи исследования).

Подробно описать методологию (для теоретической статьи); методы и методику исследования (для эмпирической статьи).

Охарактеризовать выборку. Представить описание плана и этапов эксперимента.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты должны соответствовать целям и задачам, обозначенным во введении. Результаты представляются четко, в максимально доказательной форме, в виде таблиц, графиков, диаграмм и т. п. (без интерпретации полученных результатов).

Представляются только авторские результаты без какого-либо анализа литературы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ / ВЫВОДЫ

Приводятся выводы по статье в кратком систематизированном виде. Необходимо представить пути дальнейших исследований и дать рекомендации для практики. В этом разделе не допускаются таблицы, рисунки, ссылки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

Приводится на русском и английском языках.

Список источников должен содержать научно-исследовательские источники (научные статьи, монографии), в том числе зарубежные, с указанием DOI или URL национального архива для всех источников. На все упомянутые в тексте ссылки должны быть представлены источники в списке. Ссылки на свои работы допускаются.

В статье приводятся два списка литературы.

Первый список составляется согласно требованиям ГОСТ Р 7.0.7 – 2021.

Второй список (References) — список литературы на английском языке — в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.7 – 2021.

Образец оформления списка источников
в соответствии с ГОСТ Р 7.0.7 – 2021

Список источников

1. Tietje C., Baetens F. The impact of investor-state-dispute settlement (ISDS) in the Transatlantic trade and investment partnership: study prepared for the Minister for Foreign Trade and Development Cooperation, Ministry of Foreign Affairs, The Netherlands. 2014. URL: <https://ecipe.org/wp-content/uploads/2015/02/theimpact-of-investor-state-dispute-settlement-isds-in-the-ttip.pdf>
2. Сорокин Д. Е., Сухарев О. С. Структурно-инвестиционные задачи развития экономики России // Экономика. Налоги. Право. 2013. № 3. С. 4–15.
3. Candela R., Geloso V. Coase and transaction costs reconsidered: The case of the English lighthouse system // European Journal of Law and Economics. 2019. Vol. 48, № 3. P. 331–349. <https://doi.org/10.1007/s10657-019-09635-4>
4. Hindelang S., Krajewski M., eds. Shifting paradigms in international investment law: more balanced, less isolated, increasingly diversified. Oxford: Oxford University Press, 2015. 432 p.

Образец оформления References
в соответствии с ГОСТ Р 7.0.7-2021

References

1. Tietje C., Baetens F. The impact of investor-state-dispute settlement (ISDS) in the Transatlantic trade and investment partnership: Study prepared for the Minister for Foreign Trade and Development Cooperation, Ministry of Foreign Affairs, The Netherlands. 2014. URL: <https://ecipe.org/wp-content/uploads/2015/02/theimpact-of-investor-state-dispute-settlement-isds-in-the-ttip.pdf>
2. Sorokin D. E., Sukharev O. S. Structural and investment objectives of the development of the Russian economy. Ekonomika. Nalogi. Pravo = Economics. Taxes. Law. 2013;(3):4–15. (In Russ.).
3. Candela R., Geloso V. Coase and transaction costs reconsidered: The case of the English lighthouse system. European Journal of Law and Economics. 2019;48(3):331–349. <https://doi.org/10.1007/s10657-019-09635-4>
4. Hindelang S., Krajewski M., eds. Shifting paradigms in international investment law: More balanced, less isolated, increasingly diversified. Oxford: Oxford University Press; 2015. 432 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ/АВТОРАХ

Приводится на русском и английском языках.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHORS' CONTRIBUTIONS

Приводится на русском и английском языках.

Сведения о вкладе каждого автора, если статья имеет более двух авторов.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTERESTS

Приводится на русском и английском языках.

Указание об отсутствии или наличии конфликта интересов и детализация такого конфликта в случае его наличия.

Рукопись подается в редакцию журнала в установленные сроки на электронном носителе, без указания страниц, в сопровождении двух рецензий (внутренней и заверенной внешней), оплаченной квитанции о полугодовой подписке на журнал «Вестник МГПУ». Серия «Естественные науки» (индекс 80282 в каталоге «Роспечати»).

К рукописи прилагаются сведения об авторе (Ф. И. О., ученая степень, звание, должность, место работы, электронный адрес для контактов) на русском и английском языках.

Научные статьи, поступившие в редакцию, проверяются на наличие заимствований из открытых источников (плагиат). Проверка выполняется с помощью интернет-ресурса: www.antiplagiat.ru. Степень оригинальности должна составлять не менее 80 %.

Плата за публикацию рукописей не взимается.

В случае несоблюдения какого-либо из перечисленных пунктов автор по требованию главного или выпускающего редактора обязан внести необходимые изменения в рукопись в пределах срока, установленного для ее доработки.

Более подробные сведения о требованиях к оформлению рукописи можно найти на официальном сайте журнала: <https://iest-vestnik.mgpu.ru/>

По вопросам публикации статей в журнале «Вестник МГПУ. Серия «Естественные науки» предлагаем обращаться к главному редактору серии Александру Эдуардовичу Страдзе (e-mail: stradzeae@mgpu.ru).

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Научный журнал / Scientific Journal

Вестник МГПУ.

Серия «Естественные науки»

MCU Journal of Natural Sciences

2026, № 3 (63)

Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору
в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор)

Регистрационный номер и дата принятия решения о регистрации:
ПИ № ФС77–82092 от 12 октября 2021 г.

Главный редактор:

директор Института естествознания и спортивных технологий МГПУ,
доктор социологических наук *А. Э. Страдзе*

Главный редактор выпуска:

кандидат исторических наук, старший научный сотрудник *Т. П. Веденеева*

Редактор:

А. А. Сергеева

Корректор:

К. М. Музамилова

Перевод на английский язык:

Е. В. Агамирова

Техническое редактирование и верстка:

О. Г. Арефьева

Научно-информационный издательский центр ГАОУ ВО МГПУ

129226, Москва, 2-й Сельскохозяйственный проезд, д. 4

https://www.mgpu.ru/centers/izdat_centre/

Подписано в печать: 31.08.2026 г.

Формат: 70 × 108 1/16. Бумага: офсетная.

Объем: 14,5 печ. л. Тираж: 1 000 экз.