

2025

ISSN 3034-3739 (Online)

Вестник 2025

Балтийского федерального
университета
им. И. Канта

Серия
Естественные науки

№ 3

Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта

ISSN 3034-3739 (Online)

БФУ

БАЛТИЙСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ИММАНУИЛА КАНТА

IKBFU

IMMANUEL KANT
BALTIC FEDERAL
UNIVERSITY

ВЕСТНИК
БАЛТИЙСКОГО
ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
им. И. КАНТА

Серия

Естественные науки

№ 3

Калининград

Издательство Балтийского федерального университета
им. Иммануила Канта
2025

(12+)

Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта.
Сер.: Естественные науки. — 2025. — №3.— 159 с.

Редакционная коллегия

И. С. Гуменюк, канд. геогр. наук, БФУ им. И. Канта (главный редактор);

С. С. Антипов, д-р биол. наук, проф., Воронежский государственный

университет; А. Г. Архипов, д-р биол. наук, Атлантический филиала ФГБНУ

«ВНИРО»; Е. И. Голубева, д-р биол. наук, Московский государственный

университет им. М. В. Ломоносова; В. А. Гриценко, д-р физ.-мат. наук, проф.,

БФУ им. И. Канта; А. Г. Дружинин, д-р геогр. наук, проф., Северо-Кавказский

научно-исследовательский институт экономических и социальных проблем,

ЮФУ; В. В. Жуков, канд. биол. наук, доц., БФУ им. И. Канта; Ю. М. Зверев, канд.

геогр. наук, доц., БФУ им. И. Канта; Е. Г. Кропинова, д-р геогр. наук, проф.,

БФУ им. И. Канта; С. С. Литвинова, д-р мед. наук, проф., БФУ им. И. Канта;

А. Г. Манаков, д-р геогр. наук, проф., Псковский государственный университет;

А. Ф. Мейсурова, д-р биол. наук, проф., Тверской государственный университет;

Т. Пальмовский, д-р географии, проф., Гданьский университет; А. Разбадаускас,

проф., Клайпедский университет; И. В. Реверчук, д-р мед. наук, д-р. психол. наук,

проф., Самаркандинский государственный медицинский университет,

АНО ДПО «Биоинститут охраны соматопсихического здоровья»; В. В. Сивков,

канд. геол.-минерал. наук, Атлантическое отделение, Институт океанологии

РАН; Э. Спиряевас, проф., Клайпедский университет; Д. А. Субетто,

д-р геогр. наук, проф., РГПУ им. А. И. Герцина; С. А. Сухих, д-р техн. наук,

БФУ им. И. Канта; Г. Н. Чупахина, д-р биол. наук, проф., БФУ им. И. Канта

Учредитель

Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта

Редакция

236041, Россия, Калининград, ул. А. Невского, 14

Адрес электронной почты редакции: vestnik@kantiana.ru

Телефон: + 7 (4012) 595-595 (доб. 6718)

Издатель

236041, Россия, Калининград, ул. А. Невского, 14

СМИ «Вестник БФУ им. И. Канта. Серия: Естественные науки»
зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (РОСКОМНАДЗОР),
регистрационный номер ЭЛ №ФС 77-88748 от 2 декабря 2024 г.

Дата выхода в свет 08.09.2025 г.



© БФУ им. И. Канта, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Экономическая, социальная, политическая и рекреационная география	
Дега Н.С., Реснов Д.Г., Аппоева Л.И. Проблемы инвестиционной привлекательности курортных учреждений Северо-Кавказского федерального округа в условиях их нерационального территориального размещения.....	5
Аманов Д., Купин В.А., Митрофанова А.В. Мировой опыт применения трехмерного моделирования в сохранении культурного наследия.....	22
Хвалей Д.В. Комплексная оценка уровня цифровизации сельской местности России (на примере ЦФО).....	39
Чертов Д.Н. Динамика социально-экономического развития регионов СЗФО в условиях развития автодорожной сети.....	56
Демидионов М.Ю. Оценка пригодности прибрежной зоны Приморского края к развитию шельфовой ветроэнергетики	70
Попов М.О. Типология регионов России по развитости регионального гастрономического бренда.....	85
Физическая география, геоэкология и океанология	
Александров С.В. Пространственное и сезонное распределение биогенных веществ в эстуарной системе реки Преголи и прилегающей акватории Балтийского моря.....	99
Котляров Д.А. К вопросу о типе климата Магадана	116
Биология, биотехнология и экология	
Тихонов С.Л., Тихонова Н.В., Гетте И.Ф., Соколова К.В., Данилова И.Г., Шихалев С.В., Сысуев Е.Б. Антигипергликемическое действие пептидов гидролизата молозива коров	128
Шамаев Н.Д., Дубина Д.Р., Шуралев Э.А. Оценка токсичности кадмия и свинца в отношении <i>Galleria mellonella</i> с выявлением потенциальных белковых маркеров насекомого	140
Ржевская В.С., Омельченко А.В., Жаркова А.А., Крыжко А.В., Бугара И.А. Оценка эффективности консорциума молочнокислых бактерий и дрожжей для повышения продуктивности <i>Triticum aestivum</i> L.	147

CONTENTS

Economic, social, political and recreational geography

<i>Dega N.S., Resnov D.G., Appoeva L.I.</i> Problems of investment attractiveness of resort facilities in the North Caucasus Federal District in the context of their irrational territorial location	5
<i>Amanov D., Kupin V.A., Mitrofanova A.V.</i> International experience in the application of three-dimensional modeling for the preservation of cultural heritage	22
<i>Hvaley D.V.</i> Comprehensive assessment of the level of digitalization of rural areas in Russia (using the example of the Central Federal District).....	39
<i>Chertkov D.N.</i> Dynamics of the socio-economic development of Northwestern Federal District regions in the context of road network expansion	56
<i>Demidionov M. Yu.</i> Assessment Primorsky Krai coastal zone suitability for the offshore wind energy development	70
<i>Popov M.O.</i> Typology of Russian regions by the development of the regional gastronomic brand.....	85

Physical geography, geoecology and oceanology

<i>Aleksandrov S.V.</i> Spatial and seasonal distribution of nutrients in the estuarine system of the Pregolya River and the adjacent area of the Baltic Sea	99
<i>Kotlyarov D.A.</i> On the type of Magadan climate.....	116

Biology, biotechnology and ecology

<i>Tikhonov S.L., Tikhonova N.V., Gette I.F., Sokolova K.V., Danilova I.G., Shikhaliev S.V., Sysuev E.B.</i> Antihyperglycemic effect of peptides of colostrum hydrolysate.....	128
<i>Shamaev N.D., Dubina D.R., Shuralev E.A.</i> Cadmium and lead toxicity assessment using <i>Galleria mellonella</i> with potential insect protein markers identification	140
<i>Rzhevskaya V.S., Omelchenko A.V., Zharkova A.A., Kryzhko A.V., Bugara I.A.</i> Evaluation of the lactic acid bacteria and yeast consortium efficiency to increase the productivity of <i>Triticum aestivum</i> L.	147

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ, ПОЛИТИЧЕСКАЯ И РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ

УДК 502.33 (379.85)

Н. С. Дега, Д. Г. Реснов, Л. И. Аппоева

ПРОБЛЕМЫ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ КУРОРТНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА В УСЛОВИЯХ ИХ НЕРАЦИОНАЛЬНОГО ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ

5

Карачаево-Черкесский государственный университет им. У.Д. Алиева,
Карачаевск, Россия

Поступила в редакцию 21.03.2025 г.

Принята к публикации 28.05.2025 г.

doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-1

Для цитирования: Дега Н. С., Реснов Д. Г., Аппоева Л. И. Проблемы инвестиционной привлекательности курортных учреждений Северо-Кавказского федерального округа в условиях их нерационального территориального размещения // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2025. №3. С. 5 – 21. doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-1.

Произведено исследование факторов, ограничивающих приток инвестиций в развитие курортной инфраструктуры Северо-Кавказского федерального округа. Особый акцент сделан на анализе последствий неэффективного территориального размещения курортных объектов, что приводит к возникновению значительных экологических угроз и оказывает негативное воздействие на процессы устойчивого функционирования туристско-рекреационных систем региона. Методология исследования включила системный, сравнительный и структурный анализ. В ходе исследования выявлены основные проблемы, препятствующие инвестиционному развитию, в их числе экологическая деградация, нерациональное использование природных ресурсов и недостатки в системе территориального управления. Практическая значимость исследования заключается в возможности применения его результатов для разработки стратегий устойчивого развития туристско-рекреационных территорий Северо-Кавказского федерального округа. В заключении сформулирован комплекс предложений, направленных на снижение уровня экологических рисков, повышение эффективности пространственного планирования и создание благоприятных условий для устойчивого развития туристско-рекреационного потенциала Северо-Кавказского федерального округа.

Ключевые слова: устойчивое развитие, туристско-рекреационные системы, курортные учреждения, инвестиционная привлекательность, Северо-Кавказский федеральный округ, нерациональное территориальное размещение



Введение

Северо-Кавказский федеральный округ (СКФО) представляет собой регион с высоким туристско-рекреационным потенциалом, который формируется благодаря уникальному природному разнообразию, благоприятным климатическим условиям и богатому культурно-историческому наследию. Эти факторы создают предпосылки для активного развития туристической отрасли.

Несмотря на наличие значительных конкурентных преимуществ, туристско-рекреационный сектор СКФО сталкивается с рядом серьезных проблем, ограничивающих его развитие. Одной из наиболее актуальных является низкая инвестиционная привлекательность курортных учреждений, что во многом обусловлено нерациональным территориальным размещением туристской инфраструктуры. Непродуманное размещение объектов приводит к возникновению экологических рисков, ухудшению состояния природных экосистем и снижению качества окружающей среды. Эти факторы негативно отражаются как на устойчивости туристско-рекреационных систем, так и на экономической динамике региона в целом.

В современных условиях, когда вопросы экологической устойчивости становятся все более значимыми, необходимость эффективного управления курортной инфраструктурой приобретает особую актуальность.

Размещение туристской инфраструктуры в экологически уязвимых зонах приводит к деградации природных экосистем, нарушению экологического баланса и ухудшению условий для устойчивого ведения туристической деятельности. Особенно сложная ситуация наблюдается в районах с высокой плотностью туристических потоков, таких как Кавказские Минеральные Воды [1], где отмечаются значительные экологические нагрузки на природные комплексы и недостаточная эффективность контроля за состоянием окружающей среды.

Такие авторы, как Ю.Н. Горячkin, Э.Э. Красильникова, О.С. Данилина, М.А. Прохорова, Н.П. Яровая и др., подчеркивают важность учета антропогенной нагрузки на окружающую среду, необходимость оптимизации использования природных ресурсов и совершенствования механизмов экологического мониторинга. Но несмотря на обилие публикаций, остаются недостаточно изученными аспекты влияния нерационального территориального размещения курортных учреждений на инвестиционную активность в регионе.

Целью данного исследования стало выявление и анализ факторов, ограничивающих инвестиционную привлекательность курортных учреждений Северо-Кавказского федерального округа, с учетом влияния экологических рисков, возникающих вследствие нерационального территориального размещения туристской инфраструктуры.

Методологическая основа исследования базируется на комплексном подходе, включающем системный, сравнительный и структурный анализ.



Правовые аспекты регулирования инвестиционной привлекательности курортных учреждений СКФО в условиях нерационального территориального размещения

Инвестиционная деятельность в сфере курортной инфраструктуры Северо-Кавказского федерального округа регулируется комплексом правовых актов, охватывающих как федеральный, так и региональный уровень. Основные положения закреплены в федеральном законе от 24 ноября 1996 г. №132-ФЗ «Об основах туристской деятельности в Российской Федерации» [2], который определяет ключевые принципы развития туристической отрасли. Важное значение также имеет федеральный закон от 25 февраля 1999 г. №39-ФЗ «Об инвестиционной деятельности в Российской Федерации, осуществляющей в форме капитальных вложений» [3], регулирующий права инвесторов, гарантии защиты инвестиций и механизмы государственной поддержки. Дополняет эту систему федеральный закон от 14 марта 1995 г. №33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях» [4], устанавливающий правовые режимы использования природных ресурсов, что особенно актуально для курортных регионов СКФО, расположенных в зонах с высоким уровнем экологической чувствительности.

В дополнение к федеральным актам функционируют региональные стратегии и программы, такие как Стратегия социально-экономического развития СКФО до 2025 года, а также государственные программы по развитию внутреннего и въездного туризма [5–7]. Эти документы направлены на формирование благоприятных условий для инвесторов, развитие инфраструктуры и стимулирование экономического роста.

Ключевым элементом правовой архитектуры инвестиционной политики Российской Федерации выступает режим особых экономических зон (ОЭЗ), правовые основы функционирования которых определены федеральным законом от 22 июля 2005 г. №116-ФЗ. В контексте СКФО наиболее значимой является ОЭЗ туристско-рекреационного типа «Курорты Северного Кавказа», резиденты которой наделяются налоговыми и таможенными преференциями, доступом к подготовленной инженерной инфраструктуре и приоритетным правом аренды земельных участков (в соответствии с ст. 39.6 Земельного кодекса РФ), что позволяет значительно снизить входные барьеры на этапе инвестиционного цикла.

Функциональную поддержку и координацию реализации стратегических проектов осуществляет АО «Кавказ. РФ», деятельность которого основана на распоряжении Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2020 г. №3711-р. Данный институт развития обеспечивает создание индивидуальных инвестиционных маршрутов, проводит экспертизу проектных инициатив, оказывает помощь в согласовании процедур и сопровождает реализацию проектов от начальной стадии до выхода на эксплуатацию, выполняя при этом функцию межведомственного навигатора.



Дополнительно предусмотрен механизм административного упрощения реализации проектов – режим «одного окна», formalизованный в рамках постановления Правительства РФ от 17 октября 2020 г. №1704. Он предполагает персональное сопровождение инвестора уполномоченным куратором, что обеспечивает снижение транзакционных издержек и сокращение сроков прохождения согласовательных процедур. В случаях когда инвестиционные проекты соответствуют критериям значимости и приоритетности, возможно присвоение им статуса приоритетных инвестиционных проектов в соответствии с постановлением Правительства РФ от 21 мая 2021 г. №767, что дает доступ к ускоренному администрированию и дополнительным формам инфраструктурной поддержки.

Финансирование объектов, сопряженных с высокой капиталоемкостью, обеспечивается в рамках постановления Правительства РФ от 30 декабря 2021 г. №2593, согласно которому возможно предоставление субсидий на возмещение расходов, связанных с развитием инженерной и транспортной инфраструктуры, необходимой для функционирования инвестиционных в удаленных и слабоосвоенных территориях.

Неотъемлемым компонентом нормативного регулирования инвестиционной деятельности в экологически чувствительных зонах является прохождение государственной экологической экспертизы, обязательность которой закреплена в федеральном законе от 23 ноября 1995 г. №174-ФЗ «Об экологической экспертизе». Особое значение приобретает и реализация процедур оценки воздействия на окружающую среду, игнорирование которых в прошлом уже приводило к приостановке или прекращению реализации крупных курортных проектов, включая «Минводы Wellness Park», «Мамисон» и «Матлас».

Для цифровизации и обеспечения прозрачности всех этапов инвестиционного процесса используется единый электронный портал <https://investkavkaz.ru>, функционирующий как интерактивная инвестиционная карта СКФО. Платформа аккумулирует информацию о действующих и планируемых проектах, мерах государственной поддержки, шаблонах документации и процедурах получения статуса резидента ОЭЗ.

Тем не менее реальный опыт реализации ряда проектов в регионе показал, что правовая и институциональная база, даже при наличии многоуровневой поддержки, не способна нивелировать риски, связанные с нерациональным выбором территории размещения, экологическими ограничениями и инженерно-коммуникационными проблемами. Именно пространственная несогласованность проектных решений с природными и правовыми рамками становится основным источником инвестиционных провалов.

Таким образом, обеспечение инвестиционной привлекательности курортных учреждений СКФО возможно лишь при условии комплексной интеграции правовых механизмов с пространственным анализом и экологической экспертизой. Необходим переход от фрагментарной ре-



гламентации к системному проектному планированию, опирающемуся на геоинформационные технологии, территориальный аудит и устойчивые формы государственно-частного взаимодействия, что позволит минимизировать риски и обеспечит сбалансированное развитие туристско-рекреационного потенциала округа.

Мировая практика показывает, что для обеспечения устойчивого развития курортных территорий важно интегрировать экологические стандарты в правовые механизмы регулирования инвестиционной деятельности. Ключевым нормативным актом, регулирующим вопросы экологической безопасности в инвестиционной сфере, является директива 2011/92/EU Европейского парламента и Совета от 13 декабря 2011 г. «Об оценке воздействия отдельных публичных и частных проектов на окружающую среду» (EIA Directive). Эта директива устанавливает обязательность проведения комплексной оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) для всех значимых инвестиционных проектов, включая курортные и туристические объекты [8].

В дополнение к процедуре ОВОС в странах ЕС активно применяется механизм стратегической экологической оценки (СЭО), регулируемый директивой 2001/42/EC Европейского парламента и Совета от 27 июня 2001 г. «О стратегической экологической оценке планов и программ» (SEA Directive). В отличие от ОВОС, которая ориентирована на отдельные проекты, СЭО охватывает более широкие аспекты территориального планирования и разработки стратегий на национальном и региональном уровнях. Это позволяет интегрировать экологические критерии в процессы разработки государственных программ и схем территориального развития, что способствует формированию комплексного подхода к охране окружающей среды [9].

Для стимулирования экологически ориентированных инвестиций в ЕС действует ряд стратегических инициатив и финансовых механизмов. Одной из ключевых программ является Европейский зеленый курс (European Green Deal), запущенный в 2019 г., цель которого – достижение климатической нейтральности к 2050 г. В рамках данной стратегии предусмотрен Механизм справедливого перехода (Just Transition Mechanism), направленный на поддержку регионов, экономика которых зависит от традиционных видов деятельности, оказывающих негативное влияние на окружающую среду.

Особое значение в контексте устойчивых инвестиций имеет регламент (ЕС) 2020/852 от 18 июня 2020 г. «О таксономии устойчивых видов экономической деятельности» (EU Taxonomy Regulation). Данный нормативно-правовой акт определяет четкие критерии, которые позволяют классифицировать инвестиционные проекты как экологически устойчивые. Таксономия служит инструментом для инвесторов, помогая им идентифицировать проекты, способствующие реализации целей устойчивого развития, таких как борьба с изменением климата, рациональное использование природных ресурсов и сохранение биоразнообразия [10].



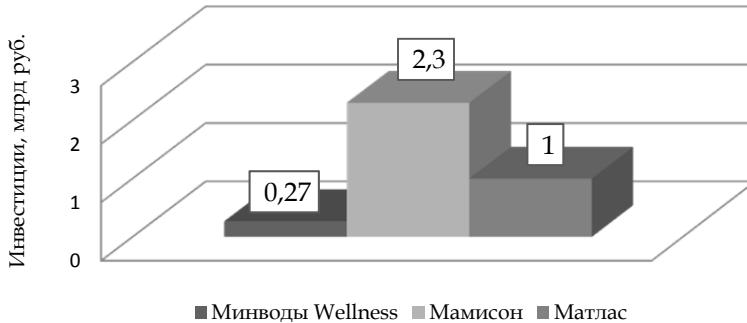
Опыт североевропейских стран, прежде всего Швеции и Дании, показывает эффективность применения комплексных подходов к стимулированию «зеленых» инвестиций. В этих странах действуют программы налогового стимулирования, предусматривающие льготы и вычеты для компаний, внедряющих экологически безопасные технологии.

Таким образом, анализ международной практики показывает, что эффективное правовое регулирование инвестиционной деятельности в туристско-рекреационном секторе требует комплексного подхода, сочетающего нормативно-правовые и экономические инструменты. Использование обязательных процедур экологической экспертизы, стратегической экологической оценки, системы налоговых льгот и государственных субсидий создает благоприятные условия для привлечения инвестиций в устойчивые проекты. Адаптация подобных механизмов к российскому контексту, особенно в регионах с высоким туристическим потенциалом, таких как Северо-Кавказский федеральный округ, может значительно повысить инвестиционную привлекательность территории и способствовать ее экологически сбалансированному развитию.

Нерациональное территориальное размещение курортных учреждений в СКФО: причины, последствия и актуальное состояние

Северо-Кавказский федеральный округ представляет собой территорию с огромным потенциалом для развития туристско-рекреационной отрасли, обусловленным разнообразием природных ресурсов, уникальным культурно-историческим наследием и благоприятным климатом. Однако несмотря на наличие этих факторов эффективная реализация туристического потенциала региона затруднена из-за ряда системных проблем. Одна из наиболее значимых заключается в нерациональном территориальном размещении курортных объектов, что оказывает комплексное негативное влияние на экологическую стабильность, экономическую эффективность и инвестиционную привлекательность региона.

Ярким примером неэффективного территориального планирования является проект «Минводы Wellness Park» в Ставропольском крае (рис., табл. 1). Планировалось начать строительство курортного комплекса в 2016 г. на территории площадью 200 гектаров. Однако впоследствии было выявлено, что значительная часть этой территории находится в пределах особо охраняемой природной зоны заказника «Бештаугорский», где законодательством строго ограничены любые виды хозяйственной деятельности. В результате проект был приостановлен из-за отсутствия необходимых экологических разрешений, несмотря на уже вложенные в инфраструктуру средства в размере более 270 млн руб. Помимо экономических потерь, проект повлек за собой ущерб для окружающей среды, включая вырубку более 100 деревьев, что вызвало негативный общественный резонанс и снизило уровень доверия со стороны потенциальных инвесторов [11].



11

Рис. Инвестиции в проекты с нерациональным размещением на территории СКФО, млрд руб.

Составлено на основе данных: [11 – 14].

Таблица 1

Примеры нерационального размещения курортных учреждений в СКФО

Курортный объект	Регион	Год начала реализации	Объем инвестиций, млрд руб.	Ключевые проблемы	Основные последствия
Минводы Wellness Park	Ставропольский край	2016	0,27	Размещение в зоне ООПТ, экологические ограничения	Экологический ущерб, финансовые потери, потеря доверия инвесторов
Мамисон	Республика Северная Осетия – Алания	2012	2,3	Затопление инфраструктуры, инженерные ошибки	Полная потеря инвестиций, разрушение построенных объектов
Матлас	Республика Дагестан	2012	1,0	Отсутствие стратегии развития, неэффективное управление проектом	Заморозка проекта, снижение инвестиционной привлекательности

Составлено на основе данных: [11 – 15].

Аналогичная ситуация наблюдается в Республике Северная Осетия – Алания с проектом горнолыжного курорта «Мамисон». В инфраструктуру данного проекта было инвестировано около 2,3 млрд руб., включая строительство энергетических объектов и транспортных коммуникаций. Однако после ввода в эксплуатацию Зарамагской гидроэлектростанции часть курортной территории оказалась затопленной, что сделало невозможным дальнейшее развитие проекта. Это привело к фактической его заморозке и полной утрате вложенных средств в результате недостаточного учета природных и инфраструктурных факторов на этапе планирования [12].



Не менее показателен пример курортного комплекса «Матлас» в Республике Дагестан, строительство которого началось в 2012 г. Несмотря на значительные инвестиции, превышающие 1 млрд руб., отсутствие четкой концепции развития, а также неэффективное использование бюджетных средств и слабый контроль со стороны государственных структур привели к приостановке проекта. Это негативно отразилось как на социально-экономической ситуации в регионе, так и на его инвестиционной привлекательности, что усложнило привлечение новых инвесторов [12].

Несмотря на то что вопросы пространственного дисбаланса в размещении курортной инфраструктуры на территории СКФО продолжают оставаться значимыми для региональной инвестиционной политики, в последние годы наблюдается позитивная тенденция, связанная с переосмыслением и корректировкой ранее допущенных концептуальных ошибок. Речь идет не только о переоценке ресурсного потенциала конкретных площадок, но и о выстраивании новых институциональных траекторий управления территориально-проектной реализацией.

Так, примером успешной коррекции ранее допущенных планировочных промахов является курортный кластер «Мамисон» в Республике Северная Осетия – Алания. Начиная с 2023 г. благодаря включению в процесс института развития АО «Кавказ.РФ» проект приобрел новую динамику. Были завершены строительные работы на ключевых транспортно-инженерных узлах, реализованы две канатные дороги, подготовлены гостиничные и рекреационные объекты. Значимым шагом стало привлечение резидентов в рамках особой экономической зоны туристско-рекреационного типа. Ожидается, что к 2030 г. «Мамисон» будет способен ежегодно обслуживать порядка 300–350 тыс. туристов [18].

Переосмысление функционального назначения коснулось и проекта «Матлас» в Республике Дагестан. Изначально ориентированный на развитие горнолыжного туризма, он не получил должного развития по причине несоответствия климатических условий проектным задачам. В результате в период 2022–2024 гг. была произведена полная ревизия концепции с последующей трансформацией в круглогодичный многофункциональный кластер, ориентированный на медицинский туризм, экологические практики, культурные инициативы и спортивно-оздоровительную инфраструктуру. На момент 2025 г. ведутся проектно-изыскательские и строительные работы, осуществляется подготовка инвестиционных соглашений с рядом частных участников рынка [17].

Проект «Минводы Wellness Park» в Ставропольском крае представляет собой случай, когда нарушение принципов природоохранного регулирования на этапе размещения привело к приостановке реализации. Построенный вблизи границ особо охраняемой природной территории – заказника «Бештаугорский», объект вызвал серьезную критику со стороны экологического сообщества. На текущий момент рассматриваются альтернативные формы использования прилегающих территорий и модификация исходной концепции в пользу создания рекреационного центра в пределах городской черты, соответствующего требованиям экологической допустимости и пространственной совместимости с природным каркасом региона.



Интеграция инструментов пространственного анализа, соблюдение экологических стандартов и институциональное сопровождение через специализированные структуры (в первую очередь, АО «Кавказ.РФ») способствуют формированию устойчивых моделей развития, в рамках которых возможно не только нивелирование прошлых ошибок, но и создание новых территориальных точек роста.

Таким образом, можно сделать вывод, что причины нерационального размещения курортных объектов в СКФО многообразны и включают управленческие, институциональные и экологические факторы. Одной из ключевых проблем является отсутствие комплексного подхода к стратегическому планированию и территориальному развитию. Недостаточный анализ природно-географических и социально-экономических характеристик территорий приводит к выбору площадок, не соответствующих критериям устойчивости. Кроме того, игнорирование экологических ограничений и слабый контроль за соблюдением природоохранного законодательства усугубляют негативное воздействие на окружающую среду. Институциональные проблемы проявляются в виде низкой эффективности государственного управления, слабой координации между различными уровнями власти и коррупционных рисков, что препятствует успешной реализации инвестиционных проектов [13].

Последствия нерационального территориального размещения курортной инфраструктуры имеют широкий спектр проявлений. Экологический ущерб выражается в деградации природных экосистем, утрате биологического разнообразия, ухудшении качества водных и земельных ресурсов, что в долгосрочной перспективе приводит к снижению природно-ресурсного потенциала региона. Экономические потери включают нецелевое использование бюджетных средств, сокращение доходов от туристической деятельности, упущение потенциальных налоговых поступлений и снижение рентабельности проектов. По данным Счетной палаты Российской Федерации, объем средств, неэффективно освоенных в рамках программ развития туристической инфраструктуры СКФО с 2010 г., превысил 73 млрд руб.

Таким образом, инвестиционные риски усугубляются снижением доверия со стороны частных инвесторов к государственным инициативам, что ограничивает приток частных капиталовложений и сдерживает развитие туристической отрасли региона. Негативные социальные последствия проявляются в ограничении возможностей для создания новых рабочих мест, росте безработицы, снижении уровня доходов местного населения и усилении миграционных процессов. Отсутствие перспектив трудоустройства в туристическом секторе способствует оттоку квалифицированных кадров, что дополнительно снижает потенциал социально-экономического развития региона.

Для преодоления существующих проблем необходимо пересмотреть подходы к планированию и реализации туристических проектов в СКФО [13]. Важно внедрить современные методы пространственного



анализа и стратегического планирования, усилить контроль за соблюдением экологических норм и разработать эффективные механизмы государственно-частного партнерства. Только комплексный и системный подход позволит создать условия для эффективного использования туристско-рекреационного потенциала СКФО, повысить его инвестиционную привлекательность и обеспечить долгосрочную устойчивость региональной экономики.

Проблемы инвестиционной привлекательности курортных учреждений СКФО в условиях их нерационального территориального размещения и рекомендации по их минимизации

14

Одна из главных проблем, сдерживающих инвестиционную активность в сфере туризма СКФО, заключается в экономической неэффективности ряда проектов, обусловленной неудачным выбором территории для размещения курортных объектов. Ярким примером может служить проект «Минводы Wellness Park» в Ставропольском крае. Другим случаем неэффективного территориального планирования стал проект горнолыжного курорта «Мамисон» в Республике Северная Осетия – Алания. Схожая ситуация наблюдается с проектом курорта «Матглас» в Республике Дагестан.

Не менее важным фактором, негативно влияющим на инвестиционную привлекательность, являются экологические риски. Размещение туристических объектов в экологически чувствительных зонах без учета природоохраных норм приводит к деградации окружающей среды, утрате биоразнообразия и ухудшению качества природных ресурсов. Эти процессы, в свою очередь, вызывают общественное недовольство и могут привести к судебным разбирательствам, что увеличивает инвестиционные риски.

Кроме того, СКФО сталкивается с серьезными инфраструктурными ограничениями. Недостаточно развитая транспортная сеть и инженерные коммуникации значительно повышают стоимость строительства и эксплуатации туристических объектов. Например, для обеспечения транспортной доступности курорта «Архыз» в Карачаево-Черкесии потребовались дополнительные инвестиции в размере более 4 млрд руб., что существенно увеличило общую стоимость проекта и снизило его рентабельность [14].

Правовые и административные барьеры также представляют собой значительное препятствие для инвесторов. Сложность процедур получения разрешений на строительство, отсутствие прозрачных механизмов регулирования землепользования и противоречия между федеральным и региональным законодательством создают неблагоприятные условия для реализации инвестиционных проектов. Так, процесс согласования документации для курорта «Ведучи» в Чеченской Республике занял более двух лет, что негативно сказалось на сроках реализации проекта и привело к повышению его стоимости [15].



Однако определяющее значение для формирования инвестиционной привлекательности имеет фактор территориального размещения. Близость к транспортным узлам федерального и регионального значения, включая аэропорты, железнодорожные станции и автомагистрали, а также соседство с природными достопримечательностями существенно повышают интегральную инвестиционную оценку объекта. В качестве успешного примера можно выделить кластер «Архыз» (Карачаево-Черкесская Республика), который при удаленности от международных транспортных хабов (215 км от аэропорта Минеральные Воды) сумел привлечь к 2024 г. инвестиции в объеме 9,6 млрд руб., что на 1,9 млрд руб. превышает показатель предыдущего года (7,7 млрд руб.). Такой прирост был обеспечен за счет создания транспортно-дорожной инфраструктуры и налогово-административных стимулов [18].

Развитие курорта «Эльбрус» в Кабардино-Балкарской Республике подтверждает ключевую роль природного фактора в инвестиционных решениях. Так, в 2024 г. корпорация «Кавказ. РФ» инициировала реализацию гостиничного комплекса на 650 мест с объемом инвестиций свыше 14,7 млрд руб. Аналогичная динамика наблюдается на территории Чеченской Республики, где в рамках курорта «Ведучи» осуществляется строительство высокогорной канатной дороги протяженностью 4,4 км, включающей уникальный архитектурно-инженерный пролет над Аргунским ущельем.

Вместе с тем ряд проектов остаются подверженными системным рискам, связанным с территориальной изоляцией, дефицитом инженерных ресурсов и несоответствием территорий требованиям устойчивого развития. Наиболее показательным в этом отношении является горнолыжный комплекс «Мамисон» в Северной Осетии, реализация которого существенно осложнена необходимостью строительства новых транспортных и инженерных коммуникаций, что снижает темпы освоения и увеличивает инвестиционные издержки.

В ответ на существующие вызовы на уровне государственной политики реализуется комплекс компенсирующих инструментов. В первую очередь это касается использования правового института особых экономических зон туристско-рекреационного назначения, предполагающего наличие преференциального налогового режима, упрощенное административное взаимодействие и обеспечение доступа к инфраструктуре. Существенную роль в координации и сопровождении инвестиционных инициатив играет АО «Кавказ.РФ», наделенное функциями оператора инвестиционного развития округа. В рамках своих полномочий организация внедрила цифровую платформу пространственного анализа, агрегирующую информацию о логистических, экологических и технико-экономических параметрах потенциальных инвестиционных площадок.

Значительные усилия направлены также на бюджетную поддержку инфраструктурных проектов. За счет средств федерального и регио-



нальных бюджетов осуществляется финансирование объектов транспортной и инженерной инфраструктуры — прежде всего на территории курортов «Архыз», «Мамисон», «Матлас» и «Эльбрус». По статистическим данным за 2024 г., совокупный объем инвестиций в развитие туристических ОЭЗ увеличился более чем в два раза по сравнению с 2023 г., а численность новых рабочих мест, созданных в рамках реализуемых проектов, возросла на 50 % [18].

Однако наряду с достигнутыми результатами сохраняются и институциональные барьеры. Наиболее остро стоят такие вопросы, как отсутствие единой стратегии пространственного планирования на уровне округа, фрагментарность нормативной базы в сфере землепользования и охраны природы, а также замедленность прохождения согласовательных процедур, особенно в случаях, связанных с территорией особо охраняемых природных объектов. Высокогорные участки в республиках Дагестан, Ингушетия и Карачаево-Черкесия продолжают оставаться труднодоступными для крупномасштабных инвестиционных проектов в силу низкой плотности транспортной сети, изолированности и инфраструктурной неразвитости.

В таблице 2 представлено влияние факторов размещения на инвестиционную привлекательность курортных учреждений СКФО. Одним из определяющих факторов, негативно сказывающихся на синергетическом развитии курортной сферы СКФО, остается слабая институциональная связность между субъектами округа. По этой причине на передний план выходит потребность в консолидации усилий регионов посредством создания надрегиональных туристско-рекреационных макрокластеров. Заимствование европейского опыта альпийских альянсов может быть реализовано через организацию координирующей структуры, объединяющей наиболее развитые курортные территории (Архыз, Эльбрус и Кисловодск) с целью унификации стандартов управления, интеграции логистических потоков и повышения маркетинговой капитализации.

Таблица 2

Территориальные детерминанты инвестиционной привлекательности курортной инфраструктуры СКФО

Фактор	Пример	Влияние фактора	Рекомендуемая мера
Транспортная доступность	«Архыз» — компенсирована строительством автодорог	Снижает туристическую мобильность, требует госвложений	Кластеризация и субсидии на логистику
Инженерная инфраструктура	«Мамисон» — высокие затраты на подключение	Повышает стоимость проектов, снижает привлекательность	Господдержка сетей, индекс пригодности территорий



Окончание табл. 2

Фактор	Пример	Влияние фактора	Рекомендуемая мера
Экологические ограничения	«Минводы Wellness Park» – проект приостановлен	Ограничивает освоение, повышает регуляторные барьеры	Экосертификация, стимулирующие меры
Землепользование и правовой статус	«Ведучи» – длительные согласования	Увеличивает сроки реализации, создает правовую неопределенность	Единые регламенты, автономное управление курортной территорией
Прозрачность инвестиционных процедур		Ограничивает конкуренцию, снижает доверие инвесторов	Внедрение цифровых аукционов на базе модели Smart Land, как в Сингапуре

Составлено на основе данных: [8 – 10; 13 – 17].

Выбор оптимальных площадок под инвестиционные проекты в условиях неравномерного развития инфраструктуры требует более сложных методологических инструментов, нежели привычные градостроительные процедуры. В качестве перспективного направления предлагается внедрение системы цифровой рейтинговой оценки территориальной инвестиционной пригодности, аналогичной индексу Location Suitability Index, применяемому в странах Северной Европы. Интеграция подобной системы в существующую ГИС-платформу АО «Кавказ.РФ» обеспечит на стадии предпроектной аналитики ранжирование потенциальных участков с учетом совокупности факторов – от кадастровой доступности и ресурсной обеспеченности до уровня природоохранной чувствительности и логистических ограничений.

Экологическая составляющая инвестиционного цикла в курортных кластерах региона требует отдельного рассмотрения. Необходимость балансировки между интересами экономического освоения и природоохранной устойчивости предполагает институционализацию требований к экологической верификации туристических объектов. Наиболее релевантной формой такой верификации представляется применение сертификационных систем, аналогичных международным стандартам BREEAM, LEED, Green Globe и широко распространенных в странах ЕС и Северной Америки. Обусловливание доступа к мерам государственной поддержки соответствием экологическим критериям способно привлечь в отрасль устойчиво ориентированные инвестиционные потоки.

Дополнительным направлением снижения проектных рисков является формирование механизма страховой защиты инвестиций в туристическую недвижимость. Примером может служить южнокорейская модель специализированных гарантийных фондов, страхующих девелоперские проекты от экологических претензий, технических сбоев и



сдвигов во временных графиках реализации. Применение такой практики в условиях СКФО, особенно на территориях с высоким уровнем природных ограничений, представляется обоснованным и необходимым для обеспечения долгосрочной устойчивости инвестиций.

С целью повышения транспарентности земельных процедур и устранения избыточной административной нагрузки логичным шагом представляется внедрение цифровой платформы публичного распределения участков под рекреационное освоение. Механизм, аналогичный сингапурской системе электронных аукционов Smart Land Management, позволит осуществлять предоставление прав на использование земель с заранее утвержденными параметрами застройки, нормативами плотности и функциональными ограничениями. Это обеспечит высокую степень конкурентности среди девелоперов, правовую определенность и эффективное использование земельных ресурсов.

Комплексная имплементация указанных инновационных решений – от региональной кластеризации и цифрового анализа территорий до экологической сертификации и механизмов инвестиционного страхования – позволит не только устраниить существующие институциональные и пространственные барьеры, но и заложить основы для формирования новой модели устойчивого территориального развития курортной отрасли Северо-Кавказского федерального округа, основанной на принципах интеграции, предсказуемости и экологической ответственности.

В заключение можно отметить, что для повышения инвестиционной привлекательности курортных учреждений СКФО необходимо не только устранение существующих барьеров, но и создание условий для долгосрочного устойчивого развития туристической отрасли. Комплексный подход, основанный на интеграции международного опыта и адаптации лучших практик к российским реалиям, обеспечит эффективное использование туристического потенциала региона и будет способствовать его социальному-экономическому процветанию.

Заключение

В рамках проведенного исследования выявлены ключевые факторы, ограничивающие инвестиционную активность в сфере курортной инфраструктуры Северо-Кавказского федерального округа. Несмотря на наличие значительного туристско-рекреационного потенциала, регион сталкивается с серьезными проблемами, среди которых доминирует неэффективное территориальное размещение курортных объектов. Данный фактор формирует цепочку негативных последствий, включая экологическую деградацию, экономические убытки и снижение уровня доверия со стороны потенциальных инвесторов.

Для преодоления вызовов и повышения инвестиционной привлекательности региона необходимо акцентировать внимание на совершенствовании механизмов территориального планирования с использованием современных геоинформационных технологий, обеспечивающих комплексный анализ пространственных данных. Существенное значение



ние имеет усиление экологического мониторинга и внедрение обязательных процедур экологической экспертизы на всех этапах реализации инвестиционных проектов.

Кроме того, важным направлением является оптимизация нормативно-правовой базы, направленной на упрощение административных процедур, минимизацию бюрократических барьеров и создание благоприятных условий для инвесторов. Адаптация передового зарубежного опыта, в частности в области экологического регулирования и стратегического планирования, позволит активизировать приток инвестиций и будет способствовать устойчивому социальному-экономическому развитию региона.

Таким образом, интеграция инновационных методов управления, эффективное использование туристско-рекреационного потенциала и комплексный подход к решению существующих проблем создадут основу для формирования привлекательной инвестиционной среды, что станет катализатором устойчивого развития Северо-Кавказского федерального округа в долгосрочной перспективе.

19

Список литературы

1. *Общие сведения об особо охраняемых природных территориях по Российской Федерации за периоды 2021 – 2023 гг.* // Федеральная служба государственной статистики. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/1-OOPT_2023.xlsx (дата обращения: 19.03.2025).
2. *Об основах туристской деятельности в Российской Федерации : федер. закон от 24 ноября 1996 г. №132-ФЗ* // Собрание законодательства РФ. 1996. №49. Ст. 5491.
3. *Об инвестиционной деятельности в Российской Федерации, осуществляющейся в форме капитальных вложений : федер. закон от 25 февраля 1999 г. №39-ФЗ* // Собрание законодательства РФ. 1999. №9. Ст. 1096.
4. *Об особо охраняемых природных территориях : федер. закон от 14 марта 1995 г. №33-ФЗ* // Собрание законодательства РФ. 1995. №12. Ст. 1024.
5. *Стратегия социально-экономического развития Северо-Кавказского федерального округа до 2025 года (утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 6 сентября 2010 г. №1485-р)* // Собрание законодательства РФ. 2010. №37. Ст. 4741.
6. *Стратегия развития туризма в Российской Федерации до 2035 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 20 сентября 2019 г. №2129-р)*. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
7. *Развитие внутреннего и въездного туризма в Российской Федерации : государственная программа Российской Федерации (утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. №318)* // Собрание законодательства РФ. 2014. №17. Ст. 2026.
8. *Directive 2011/92/EU of the European Parliament and of the Council of 13 December 2011 on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment (EIA Directive)* // Official Journal of the European Union. L 26. 28.01.2012. P. 1 – 21.
9. *Directive 2001/42/EC of the European Parliament and of the Council of 27 June 2001 on the assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment (SEA Directive)* // Official Journal of the European Communities. L 197. 21.07.2001. P. 30 – 37.



10. Regulation (EU) 2020/852 of the European Parliament and of the Council of 18 June 2020 on the establishment of a framework to facilitate sustainable investment, and amending Regulation (EU) 2019/2088 (EU Taxonomy Regulation) // Official Journal of the European Union. L 198. 22.06.2020. P. 13–43.
11. Глухов А.Н., Архангельский В.А., Ефименко Н.В. и др. О современном состоянии государственного контроля природных лечебных ресурсов в особо охраняемом эколого-курортном регионе Российской Федерации – Кавказские Минеральные Воды // Курортная медицина. 2024. №4. С. 5–24. doi: https://doi.org/10.24412/2304-0343-2024_4_5.
12. Мамбетова Ф.М., Аттоева З.Х., Тутукова М.Р., Бекалдиева З.С. Туризм как направление социально-экономического развития Северо-Кавказского федерального округа // Экономика и предпринимательство. 2024. №11 (172). С. 535–540. doi: 10.34925/EIP.2024.172.11.092.
13. Оборин М.С. Проектный подход к развитию горного туризма на Северном Кавказе // Устойчивое развитие горных территорий. 2023. Т. 15, №2 (56). С. 317–325. doi: 10.21177/1998-4502-2023-15-2-317-325.
14. Дега Н.С., Реснов Д.Г., Байрамкулова А.Р. Проблемы развития экологического туризма на особо охраняемых природных территориях (на примере Тебердинского национального парка) // Мониторинг. Наука и Технологии. 2024. №4 (62). С. 35–42. doi: <https://doi.org/10.25714/MNT.2024.62.005>.
15. Стародубровская И., Ситкевич Д. Туризм и модернизация в республиках Северного Кавказа – новые возможности догоняющего развития // Экономическая политика. 2024. Т. 19, №5. С. 84–113. doi: <https://doi.org/10.18288/1994-5124-2024-5-84-113>.
16. Минаков А. В. Региональные проблемы развития туризма в регионах Северо-Кавказского федерального округа // Вопросы региональной экономики. 2024. №4 (61). С. 121–131. doi: <https://doi.org/10.24412/2687-0185-2024-4-259-266>.
17. Махмудов Р.К., Верозуб Н.В., Проскурин В.С. Методика геоинформационного картографирования природно-рекреационных ресурсов Северного Кавказа для развития туризма // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2020. Т. 26, №3. С. 404–415. doi: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-404-415.
18. Корпорация развития Северного Кавказа : [офиц. сайт]. URL: <https://investkavkaz.ru> (дата обращения: 05.04.2025).

Об авторах

Наталья Сергеевна Дега – канд. геогр. наук, доц., Карачаево-Черкесский государственный университет им. У.Д. Алиева, Россия.

E-mail: dega999@mail.ru

SPIN-код: 9934-7220

ORCID: 0000-0002- 5154-4601

Дмитрий Георгиевич Реснов – асп., Карачаево-Черкесский государственный университет им. У.Д. Алиева, Россия.

E-mail: style-envil@mail.ru

SPIN-код: 3567-5624

Лаура Иссаевна Аппоева – канд. геогр. наук, зав. кафедрой физической и экономической географии, Карачаево-Черкесский государственный университет им. У.Д. Алиева, Россия.

E-mail: appoeval@mail.ru

SPIN-код: 3743-9059



N. S. Dega, D. G. Resnov, L. I. Appoeva

PROBLEMS OF INVESTMENT ATTRACTIVENESS OF RESORT FACILITIES IN THE NORTH CAUCASUS FEDERAL DISTRICT IN THE CONTEXT OF THEIR IRRATIONAL TERRITORIAL LOCATION

Umar Aliev Karachay-Cherkessia State University, Karachaevsk, Russia

Received 21 March 2025

Accepted 28 May 2025

doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-1

To cite this article: Dega N.S., Resnov D.G., Appoeva L.I., 2025, Problems of investment attractiveness of resort facilities in the North Caucasus Federal District in the context of their irrational territorial location, *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural Sciences*, №3. P. 5–21. doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-1.

21

The study examines the factors limiting investment inflows into the development of resort infrastructure in the North Caucasus Federal District. Particular attention is given to the consequences of inefficient spatial distribution of resort facilities, which generate significant environmental threats and negatively affect the sustainable functioning of the region's tourist and recreational systems. The research methodology employed systemic, comparative, and structural analysis. The study identified the key obstacles to investment development, including environmental degradation, irrational use of natural resources, and deficiencies in the territorial management system. The practical significance of the research lies in the applicability of its findings for designing strategies for the sustainable development of tourist and recreational areas in the North Caucasus Federal District. The conclusion outlines a set of proposals aimed at reducing environmental risks, enhancing the efficiency of spatial planning, and creating favorable conditions for the sustainable development of the tourist and recreational potential of the North Caucasus Federal District.

Keywords: sustainable development, tourist and recreational systems, resort facilities, investment attractiveness, North Caucasus Federal District, irrational territorial location

The authors

Dr Natalia S. Dega, Associate Professor, Umar Aliev Karachay-Cherkessia State University, Russia.

E-mail: dega999@mail.ru

SPIN-код: 9934-7220

ORCID: 0000-0002-5154-4601

Dmitry G. Resnov, PhD student, Umar Aliev Karachay-Cherkessia State University, Russia.

E-mail: style-envil@mail.ru

SPIN-код: 3567-5624

Dr Laura I. Appoeva, Head of the Department of Physical and Economic Geography, Umar Aliev Karachay-Cherkessia State University, Russia.

E-mail: appoeval@mail.ru

SPIN-код: 3743-9059

УДК 379.822

Д. Аманов, В. А. Купин, А. В. Митрофанова

**МИРОВОЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ
ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
В СОХРАНЕНИИ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ**

Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия

Поступила в редакцию 19.04.2025 г.

Принята к публикации 26.06.2025 г.

doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-2

22

Для цитирования: Аманов Д., Купин В.А., Митрофанова А.В. Мировой опыт применения трехмерного моделирования в сохранении культурного наследия // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2025. №3. С. 22 – 38. doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-2.

Современные цифровые технологии играют ключевую роль в сохранении культурного наследия, предоставляя новые возможности для его изучения и документирования. Одним из перспективных методов является трехмерное моделирование, позволяющее создавать точные цифровые копии исторических объектов. Цель настоящего исследования – проанализировать международные практики внедрения 3D-моделирования в области сохранения архитектурных и археологических памятников. Рассмотрены методы лазерного сканирования, фотограмметрии и гиперспектрального анализа, их преимущества и ограничения. Особое внимание уделено примерам успешных международных проектов, таких как CyArk и Flyover Zone, демонстрирующих эффективность 3D-моделирования в сохранении и популяризации культурных ценностей. Основные выводы исследования касаются перспектив развития цифровых методов сохранения наследия, их интеграции в мировую практику и необходимости дальнейшего междисциплинарного сотрудничества.

Ключевые слова: культурное наследие, цифровые технологии, трехмерное моделирование, виртуальная реконструкция, лазерное сканирование, фотограмметрия, гиперспектральный анализ

Введение

Культурное наследие – не просто актив человечества, а бесценное зеркало, отражающее богатейшую историю, традиции и достижения цивилизаций, прошедших сквозь века. В Едином государственном реестре объектов культурного наследия Российской Федерации зарегистрировано более 156 тысяч объектов, из которых около 56 тысяч – объекты археологического наследия [1]. Памятники архитектуры, загадочные археологические комплексы, вдохновляющие произведения искусства и живописные исторические ландшафты хранят уникальные сведения о прошлом, формируют наше самосознание и служат незримой связью между поколениями. Сохранение этого богатства для потомков – не только моральный долг, но и ключевая задача современного общества.



Тем не менее культурное наследие подвержено постоянным угрозам. Одной из ключевых проблем является неудовлетворительное состояние значительной части исторических объектов, которые потенциально могут быть использованы в туристических целях. По данным профильного комитета Совета Федерации, по всей стране выявлено более 3 тысяч физически утраченных объектов [2]. Из-за строгих правил охраны практически каждый восьмой объект, включенный в реестр культурного наследия, долгие годы не ремонтировался и не поддерживался и сегодня находится в неудовлетворительном состоянии [2]. В настоящее время состояние почти 14 тысяч памятников архитектуры и более 13 тысяч памятников археологии оценивается как неудовлетворительное [2]. Эти цифры говорят красноречивее любых слов, подчеркивая серьезность ситуации.

Природные катаклизмы, включая землетрясения, наводнения и ураганы, способны нанести значительный ущерб историческим объектам. Однако воздействие времени, загрязнение окружающей среды и антропогенный фактор, включая хозяйственную деятельность, также ведут к постепенной деградации и разрушению культурного наследия. По данным 69 субъектов Российской Федерации, в период действия определенных законодательных норм было выявлено 1375 фактов причинения вреда объектам археологического наследия в результате хозяйственной деятельности, что составляет 87 % от общего количества подобных случаев, тогда как лишь 13 % (210 фактов) связаны с незаконным поиском археологических предметов [2]. Указанные обстоятельства ограничивают потенциал ряда регионов и замедляют развитие туристической индустрии, особенно в секторе культурно-исторического туризма.

Расширение использования цифровых технологий в деле сохранения культурного наследия поднимает вопросы о правовом статусе и применении цифровых копий, а также о возможности замещения оригиналов. Права на 3D-модели обычно принадлежат создавшим их организациям (музеям, архивам, университетам, компаниям) как результат интеллектуального труда. Для обеспечения широкого доступа часто применяются лицензии для образовательных, научных и некоммерческих целей. Однако цифровая копия не является заменой подлинного объекта. Оригинал несет уникальную информацию о материалах, технологиях и историческом контексте, что делает его незаменимым для изучения и сохранения культурной памяти. Утрата физических объектов невосполнима даже при наличии самых точных цифровых реплик. Вопросы застройки территорий с объектами культурного наследия должны решаться с безусловным приоритетом сохранения оригинала. Цифровые копии служат средством фиксации информации об утраченных объектах, но не их эквивалентом. Сохранение подлинника в его физической форме остается первостепенной задачей.

В условиях возрастающих угроз технологии играют все более значимую роль в сохранении культурного наследия. Прежде всего цифровые технологии, такие как трехмерное моделирование, оказывают су-



щественное влияние на методы сохранения и изучения культурных ценностей. Трехмерное моделирование выступает эффективным инструментом, позволяющим создавать точные цифровые презентации объектов, обладающих историческим и культурным значением. Применение 3D-технологий обеспечивает детализацию и долговременное сохранение информации об архитектурных сооружениях, артефактах и памятниках, предоставляя новые возможности для их исследования, реставрации и виртуальной демонстрации.

Мировой опыт показывает тенденцию к расширяющейся интеграции трехмерного моделирования в практики сохранения культурных ценностей. Эта технология зарекомендовала себя как действенный и результативный инструмент. Используя методы лазерного сканирования, фотограмметрии и компьютерной обработки данных, специалисты создают высокоточные модели, которые позволяют не только зафиксировать текущее состояние объектов для будущих поколений, но и углубить наше понимание их архитектурных, исторических и культурных особенностей. Более того, 3D-модели используются для виртуальной реконструкции утраченных элементов, создания интерактивных образовательных ресурсов и обеспечения широкого доступа к культурному наследию через цифровые платформы.

В соответствии с этим целью настоящей статьи стал анализ мирового опыта применения трехмерного моделирования для сохранения культурного наследия. В рамках исследования проанализированы различные методы 3D-моделирования, используемые в этой области, рассмотрены релевантные примеры применения технологии в различных регионах мира, проведена оценка преимуществ и вызовов, связанных с ее использованием, и инициирована дискуссия о перспективах дальнейшего развития и интеграции трехмерного моделирования в практику сохранения мирового культурного наследия.

Сохранение культурного наследия в цифровую эпоху все чаще опирается на возможности трехмерного моделирования, которое предоставляет бесценные инструменты для документации, анализа и виртуализации объектов культурного значения. В арсенале специалистов есть несколько ключевых технологий, каждая из которых обладает своими уникальными преимуществами и подходит для различных задач. Одной из наиболее точных и детализированных технологий является лазерное сканирование. В его основе лежит принцип измерения расстояний с помощью лазерного луча. Сканер, испуская луч, фиксирует время его прохождения до поверхности объекта и обратно, определяя тем самым координаты множества точек. Совокупность этих точек формирует облако, которое, будучи обработанным, превращается в высокоточную трехмерную модель [11]. Лазерное сканирование незаменимо, когда требуется мельчайшая детализация архитектурных элементов, сложных скульптурных форм или фиксация деформаций и повреждений с миллиметровой точностью. Оно позволяет детально документировать фасады зданий, интерьеры, археологические раскопы, обеспечивая беспрецедентную точность геометрических измерений.



В противовес лазерному сканированию, которое требует специализированного и зачастую дорогостоящего оборудования, фотограмметрия представляет собой более доступный и универсальный метод. Он предполагает построение трехмерной модели на основе серии перекрывающихся фотографий объекта, сделанных с различных ракурсов. Специализированное программное обеспечение анализирует эти фотографии, выявляет общие точки и на основе триангуляции вычисляет трехмерные координаты, создавая цифровую модель. Фотограмметрия особенно эффективна при работе с крупными объектами и территориями, такими как археологические памятники, исторические городские ландшафты или руины. Благодаря своей мобильности и относительной простоте фотограмметрия получила широкое распространение для документирования масштабных объектов культурного наследия, создания виртуальных туров и популяризации исторического знания. Важным преимуществом фотограмметрии является возможность одновременного получения текстурной информации, так как фотографии, используемые для создания геометрии, служат и для текстурирования 3D-модели, делая ее визуально реалистичной [12]. Сравнительная характеристика лазерного сканирования и фотограмметрии как методов документирования культурного наследия представлена в таблице.

Сравнительная характеристика лазерного сканирования и фотограмметрии для документирования культурного наследия

Критерий сравнения	Лазерное сканирование (TLS)	Фотограмметрия
Принцип работы	Активное измерение расстояний лазерным лучом	Пассивное построение модели по перекрывающимся фотографиям
Точность (геометрическая)	Высокая (мм), до 2–5 мм для Faro/Leica	Варьируется, может достигать высокой (2–3 мм) при оптимальных условиях и оборудовании
Детализация поверхности	Отличная для геометрии, фиксация мельчайших деформаций	Отличная для текстуры, хорошая для геометрии при плотном облаке точек
Скорость сбора данных	Высокая, особенно для крупных объектов	Варьируется, сбор фотографий быстрый, обработка данных может быть длительной
Зависимость от освещения	Низкая (использует собственный источник света)	Высокая (требует равномерного достаточного освещения)
Работа с отражающими / прозрачными поверхностями	Затруднена, возможны пробелы в данных	Затруднена, сложность в поиске общих точек
Работа с однородными / бесструктурными поверхностями	Эффективна (фокусируется на геометрии)	Затруднена, сложность в поиске общих точек



Окончание табл.

Критерий сравнения	Лазерное сканирование (TLS)	Фотограмметрия
Стоимость оборудования	Высокая (десятки тысяч долларов)	Относительно низкая (цифровые камеры, дроны)
Сложность обработки данных	Высокая, требует специализированного ПО и навыков	Высокая, требует специализированного ПО и навыков
Объем данных	Очень большой (миллионы точек)	Очень большой (высокоразрешенные фото, облака точек)
Примеры применения	Крупные архитектурные сооружения, сложные скульптуры	Крупные археологические памятники, городские ландшафты, объекты с богатой текстурой, виртуальные туры
Нецелесообразность применения	Объекты с обширной растительностью, скрытые элементы, чувствительные к лазеру поверхности (редко)	Объекты в плохих условиях освещения, очень однородные, сильно отражающие / прозрачные поверхности, недостаток перекрытия

26

В дополнение к методам, ориентированным на внешнюю геометрию объектов, существуют технологии, позволяющие заглянуть внутрь, не нарушая целостности артефактов. К таким методам относятся компьютерная томография (КТ) и рентгенография. Рентгенография, создавая плоское изображение на основе различной проницаемости материалов для рентгеновского излучения, позволяет выявлять скрытые неоднородности и детали внутренней структуры. Однако по-настоящему революционным методом неразрушающего исследования стала компьютерная томография. КТ, получая серию рентгеновских снимков под разными углами и обрабатывая их с помощью сложных алгоритмов, позволяет реконструировать трехмерное изображение внутренней структуры объекта. Это открывает уникальные возможности для изучения запечатанных артефактов, мумий, старинных книг и произведений искусства, позволяя выявлять скрытые повреждения, внутренние полости, структуру материалов и даже технику исполнения, не прибегая к инвазивным методам. Рентгенография и компьютерная томография стали незаменимыми инструментами для исследования хрупких и ценных артефактов, предоставляя бесценную информацию для реставраторов, историков и искусствоведов.

Помимо методов, фокусирующихся на геометрии объектов, в арсенале специалистов по сохранению культурного наследия есть ряд технологий, позволяющих получить ценную информацию о материалах, скрытых деталях и подводных объектах. Одной из таких технологий является инфракрасная фотография. В отличие от обычной фотографии, фиксирующей видимый свет, инфракрасная фотография реги-



стрирует излучение в инфракрасном диапазоне спектра. Различные материалы по-разному отражают и поглощают инфракрасное излучение, что позволяет выявлять различия, невидимые человеческому глазу. В контексте культурного наследия инфракрасная фотография становится незаменимым инструментом для раскрытия скрытых деталей произведений искусства и исторических объектов. Например, она позволяет увидеть подслои краски на картинах, обнаруживая первоначальный рисунок автора, изменения, внесенные в процесс работы, или даже более ранние изображения, скрытые под верхними слоями краски. Также инфракрасная фотография может выявить скрытые надписи, записи или орнаменты на исторических документах, стенах зданий или других объектах, ставшие невидимыми из-за времени, загрязнений или намеренного сокрытия. Преимущество инфракрасной фотографии заключается в ее неразрушающем характере и относительной простоте применения, что делает ее ценным инструментом для предварительного исследования и документирования культурного наследия перед проведением более сложных и дорогостоящих анализов.

Для исследования культурного наследия, скрытого под водой, применяются сонарные технологии. Сонар (SOund NAvigation and Ranging) – это технология, использующая звуковые волны для обнаружения и картирования объектов под водой. Сонар испускает звуковой сигнал, который, отражаясь от подводных объектов, возвращается к приемнику. Анализируя время задержки и характеристики отраженного сигнала, сонар позволяет определить расстояние до объекта, его форму и положение. В сохранении культурного наследия сонарные технологии играют ключевую роль при исследовании подводных археологических объектов, таких как затонувшие корабли, древние поселения, подводные руины и другие культурные ценности, находящиеся на дне морей, озер и рек. Сонары позволяют картировать затонувшие объекты, определять их размеры, форму и степень сохранности, создавать трехмерные карты подводных ландшафтов и планировать подводные археологические экспедиции. Существуют различные типы сонаров, включая боковой обзорный сонар, который сканирует дно моря полосами с обеих сторон от буксируемого аппарата, и многолучевой эхолот, обеспечивающий более детальное трехмерное картирование дна. Сонарные технологии незаменимы для поиска, документирования и мониторинга подводного культурного наследия, которое часто остается недоступным для традиционных методов исследования.

Еще одним мощным инструментом в арсенале исследователей культурного наследия является гиперспектральное сканирование. В отличие от обычной фотографии, регистрирующей свет в ограниченном видимом диапазоне, и инфракрасной фотографии, фокусирующейся на инфракрасном спектре, гиперспектральное сканирование охватывает широкий спектральный диапазон, включающий видимый, инфракрасный и ультрафиолетовый свет, и регистрирует отраженный свет в



множество узких спектральных диапазонов. Это позволяет получить детальную спектральную «подпись» для каждой точки на поверхности объекта, которая уникальна для различных материалов и пигментов. Анализируя эти спектральные данные, гиперспектральное сканирование обеспечивает возможность определить материальный состав объектов культурного наследия с высокой точностью и детализацией. Оно может быть использовано для идентификации пигментов, красителей и связующих веществ в произведениях живописи, определения типов камня и строительных материалов в архитектурных памятниках, анализа состава чернил и бумаги в исторических документах. Эта информация является ценной для атрибуции, датирования, изучения техники исполнения и разработки наиболее подходящих методов консервации и реставрации. Гиперспектральное сканирование, будучи неразрушающим и дистанционным методом, открывает новые возможности в исследовании материальной истории культурного наследия.

В последние десятилетия трехмерное моделирование превратилось в мощный инструмент сохранения культурного наследия, предоставляя беспрецедентные возможности для изучения, документирования и консервации исторических памятников и артефактов по всему миру. Многочисленные успешные международные проекты наглядно демонстрируют эффективность 3D-технологий в различных аспектах этой важной области.

Так, основанная в 2003 г. некоммерческая организация CyArk стала пионером в сфере цифрового сохранения культурного наследия. Путем использования лазерного сканирования и фотограмметрии CyArk осуществляет оцифровку объектов культурной значимости по всему миру, сотрудничая с местными партнерами на более чем 200 объектах в более чем 40 странах. Миссия CyArk заключается в применении технологий трехмерной записи для сохранения и передачи культурного наследия будущим поколениям [13].

Одной из ключевых разработок CyArk является платформа Tapestry – веб-платформа, предназначенная для создания захватывающих повествований вокруг объектов культурного наследия. Tapestry объединяет высокодетализированные 3D-модели с историями, культурным контекстом и эмоциональным опытом, связанным с каждым местом. В основе платформы лежит 3D-модель высокого разрешения, служащая фундаментом для наложения различных структурированных повествовательных элементов, таких как звуковое сопровождение, архивные изображения и интервью с людьми, имеющими непосредственное отношение к объекту. Это позволяет пользователям совершить эмоционально насыщенное путешествие и глубже проникнуться историей и значением места.

Методология CyArk предусматривает комплексный подход к созданию виртуального опыта на платформе Tapestry, который начинается с глубоких консультаций и обсуждений с партнерами и ключевыми заинтересованными сторонами для определения целей проекта, основных тем и перспектив, а также интерпретационных элементов, связанных



ных с объектом. Эксперты CyArk помогают партнерам на основе физических особенностей объекта разработать компоненты, которые будут интегрированы в цифровой опыт.

Далее следуют полевые работы, при выполнении которых команды CyArk применяют передовые технологии, объединяя данные с устройств LiDAR – как воздушных, так и наземных – с фотограмметрией. Это приводит к созданию фототекстурированной 3D-модели с миллиметровым разрешением, детально фиксирующей основные области объекта. Параллельно проводятся интервью с членами местного сообщества, учеными и руководителями объекта.

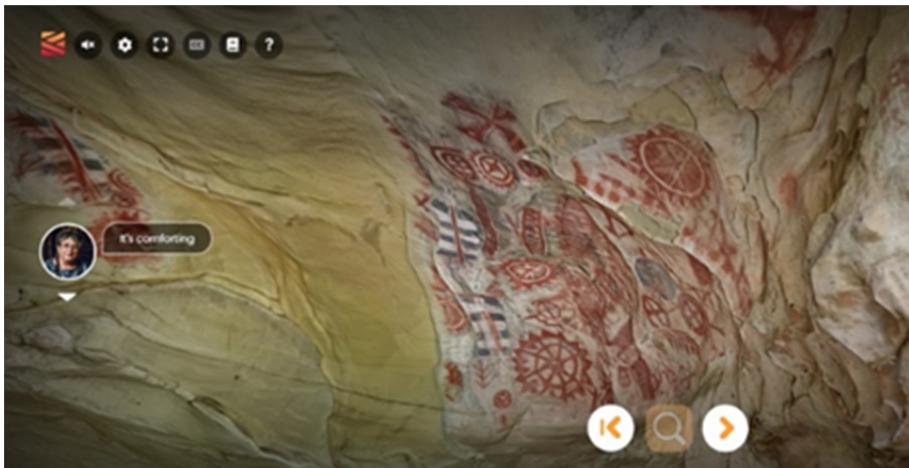
На этапе постпроизводства CyArk тесно взаимодействует с партнерами в процессе совершенствования повествования и интеграции нарративных и вспомогательных элементов в трехмерную среду. Завершенный проект на платформе Tapestry публикуется и легко интегрируется в веб-сайты партнеров, обеспечивая доступ к опыту для глобальной аудитории и поддерживая кроссплатформенную совместимость на веб-сайтах, мобильных устройствах и планшетах.

Таким образом, деятельность CyArk иллюстрирует успешную модель применения трехмерного моделирования не только для фиксации физического состояния объектов культурного наследия, но и для создания интерактивных и эмоционально вовлекающих платформ. Это способствует более глубокому пониманию и сохранению культурных ценностей широкой общественностью.

Проект CyArk наглядно демонстрирует, как трехмерное моделирование может служить средством не только сохранения культурного наследия, но и его популяризации и углубленного изучения. Один из ярких примеров – «Расписная пещера Чумаш» в США.

Исторический парк штата Калифорния «Расписная пещера» (англ. Painted Cave State Historic Park) – небольшая пещера из песчаника, украсенная настенной росписью, создание которой приписывают индейцам племени чумаш. Она находится в 18 км к северо-западу от г. Санта-Барбара в штате Калифорния. До контакта с европейцами численность племени барбареньо чумаш превышала 15 тыс. человек, что делало их одним из крупнейших и наиболее влиятельных племен в Калифорнии [8]. Современный город Санта-Барбара, расположенный у подножия гор Санта-Инес, был столицей барбареньо, называвшейся в то время Сюхтун. Точная датировка внутренних росписей неизвестна, церемониальное использование пещеры прекратилось в 1700-е гг. с приходом испанцев. Тем не менее связь с пещерой не утрачена народом чумаш и сегодня. С момента основания парка в 1976 г. пещера остается доступной для сохранения этого непреходящего наследия народа чумаш [3].

В 2015 г. CyArk в партнерстве со средней школой Санта-Инес, Калифорнийскими парками штата и старейшиной племени чумаш Эрнестиной Игнасио-Де Сото провел 3D-документирование пещеры и окружающей среды, чтобы создать своего рода отправную точку для сохранения знаний и повышения осведомленности о культуре и историческом укладе жизни чумаш (рис. 1).



30

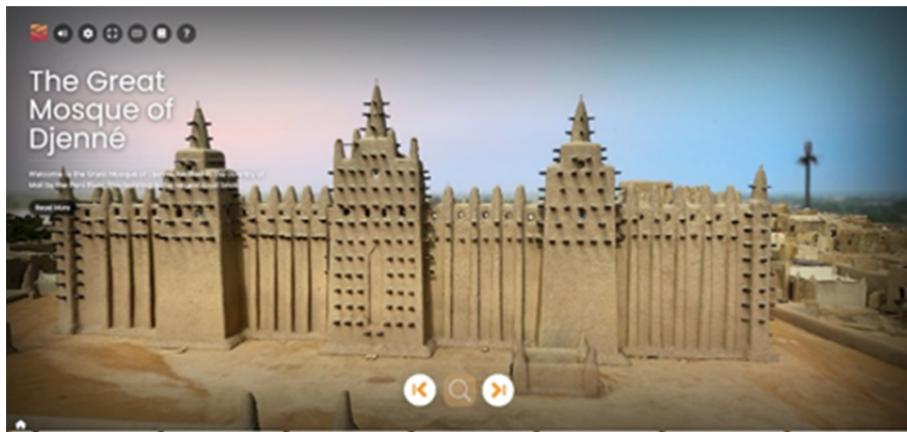
Рис. 1. Кадр из демонстрационного видеотура по пещере Чумаш [3]

В 2023 г. CyArk получил финансирование от California Park Foundation для обновления созданного 3D-тура, дополнив его новыми данными и включив новые интервью с Эрнестиной Игнасио-Де Сото [3].

Кроме того, проект CyArk успешно оцифровал множество других значимых культурных объектов. Одно из них — Великая мечеть Дженне, расположенная в городе Дженне, Мали. Она является крупнейшим в мире зданием из сырцового кирпича. Построенная преимущественно из высушенных на солнце глиняных кирпичей, покрытых глиной, мечеть представляет собой знаковое воплощение западноафриканской исламской культуры. Признана объектом Всемирного наследия ЮНЕСКО в 1988 г. [9]. Будучи центром общины Дженны, мечеть также является одной из самых известных достопримечательностей Африки. Ежегодно местная община собирается на фестиваль для ремонта и повторного оштукатуривания стен мечети, и эта практическая деятельность по поддержанию сооружения становится одновременно символическим жестом общественного единства и сохранения культуры.

В рамках проекта CyArk была создана 3D-модель Великой мечети Дженне, на основе которой разработан демонстрационный видеотур (рис. 2). Созданный демонстрационный видеотур позволяет совершить интерактивное путешествие по этому уникальному архитектурному памятнику, знакомя зрителей с его историей, архитектурными особенностями и культурным значением. Такой подход открывает новые возможности для популяризации культурного наследия и его сохранения для будущих поколений.

Несомненно, данный пример служит наглядной иллюстрацией того, как современные технологии могут быть использованы для обеспечения виртуального доступа к объектам культурного наследия и их долгосрочного цифрового сохранения [5].



31

Рис. 2. Кадр из демонстрационного видеотура по Великой мечети Дженне [5]

Проекты CyArk демонстрируют значимость цифровых технологий в сохранении и популяризации культурного наследия. Однако глобальные усилия по сохранению исторических объектов не прекращаются. Еще один примечательный проект, заслуживающий внимания, — это «Возрождение Рима: Полет над Древним Римом» от компании Flyover Zone [6]. Он представляет собой обновленную интерактивную 3D-реконструкцию Древнего Рима, доступную через приложение или на сайте Yorescape [4].

Цифровая реконструкция позволяет пользователям совершить виртуальное путешествие по Риму 320 г. н.э., в период его наивысшего расцвета, за десять лет до того, как император Константин Великий перенес столицу Римской империи в Константинополь. Виртуальная экскурсия включает в себя ключевые достопримечательности Рима IV в.: Колизей, Большой цирк, мавзолей Августа, Пантеон, базилика Максенция, императорские дворцы, храмы и памятники на Капитолийском холме, а также термы императора Каракаллы.

Идейным вдохновителем и создателем обновленной версии стал Бернард Фришер, широко признанный знаток археологии Рима, профессор Школы информатики, вычислительной техники и инженерии Университета Индианы в Блумингтоне (США) [10]. По его словам, проект направлен как на исследовательские цели, так и на интересы туристов, что делает его универсальным инструментом для научного сообщества и широкой публики. Фришер подчеркивает, что этот проект представляет собой результат более чем двадцатисемилетних исследований, реализованных с применением новейших цифровых технологий. «Надеемся, что людям будет интересно узнать о древнеримском культурном наследии. Виртуальный тур может не только подготовить туристов к посещению города, но и помочь им освежить впечатления по возвращении домой», — отметил Бернард Фришер в интервью итальянскому информационному агентству ANSA [7].



Проект Flyover Zone демонстрирует, как технологии моделирования могут способствовать не только сохранению культурного наследия, но и его популяризации и исследованию, предоставляя возможности для виртуального взаимодействия с историческими объектами.

Международные проекты демонстрируют высокий уровень технологий, масштабные инвестиции и основаны на глубокой интеграции технических и гуманитарных наук, а также на способности адаптироваться к новым вызовам, что позволяет воспроизводить объекты с исключительной точностью и воссоздавать «живые» цифровые копии уникальных памятников. Несмотря на значительные возможности, внедрение и долгосрочное использование трехмерного моделирования в сфере культурного наследия сопряжено с рядом существенных ограничений и вызовов. Эти сложности охватывают финансовые, технические, правовые и этические аспекты, требующие комплексного анализа.

Применение 3D-моделирования сопряжено со значительными финансовыми затратами на приобретение и обслуживание высокоточного оборудования (например, 3D-сканеры Artec Leo, Eva, Spider II), лицензирование специализированного программного обеспечения, а также обучение и поддержание квалификации персонала. Даже фотограмметрия, считающаяся более доступной, влечет за собой высокие общие расходы на масштабные проекты. Прямая зависимость качества цифрового продукта от объема финансирования создает барьеры для учреждений с ограниченными ресурсами, особенно в развивающихся регионах. Это усугубляет «цифровой разрыв», ограничивая возможности некоторых культур полноценно представлять свое наследие в цифровом пространстве, что делает их ценности менее заметными, доступными и более уязвимыми.

Проекты 3D-оцифровки культурного наследия характеризуются высокой сложностью, зависящей от оборудования, условий съемки и характеристик объекта. Обработка данных лазерного сканирования или фотограмметрии требует значительных вычислительных мощностей и специализированного ПО для преобразования «облаков точек» в высококачественные 3D-модели. Отсутствие международных стандартов для планирования и реализации таких проектов приводит к разнородности данных и проблемам с интероперабельностью. Существуют значительные пробелы и различия в знаниях между экспертами по наследию, ИТ-специалистами и геодезистами, что усугубляет «цифровой разрыв» и требует постоянного обновления навыков.

Чрезмерное использование технологий может привести к «переинтерпретации» или искажению культурного наследия, когда фокус смещается на саму технологию. 3D-реконструкции иногда чрезмерно полагаются на воображение или визуальные дополнения, что может искажить общественное понимание и лишить объект аутентичности. Это поднимает вопрос о «чистоте медиаопыта»: избыток цифровых



элементов и интерактивного контента может отвлекать аудиторию от сути наследия, скрывая его глубокий смысл за технической демонстрацией. Фундаментальный вопрос об аутентичности и целостности цифровых презентаций возникает, если искусственный интеллект или сложная обработка данных вводят информацию, отсутствующую в оригинале, или «заполняют» пробелы, что подрывает ценность цифровой записи как надежного исторического источника.

Высокодетализированные 3D-модели и сопутствующие «сырые» данные требуют значительных объемов хранения, но основная проблема заключается в технологическом устаревании. Цифровые данные имеют очень короткий срок жизни: носители информации и форматы быстро устаревают. Проприетарные форматы данных, более не поддерживаемые графические примитивы и устаревшие операционные системы могут сделать данные недоступными или неинтерпретирумыми в будущем. Технологии презентации данных меняются примерно каждые четыре года, что ставит под угрозу цифровую непрерывность и эффективность инвестиций в оцифровку. Для обеспечения долгосрочной сохранности необходимы комплексные стратегии, включающие архивирование конечных моделей, «сырых» данных, технических описаний систем, калибровочных данных, используемого программного обеспечения и документации процедур. Рекомендуется регулярное перемещение данных на новые форматы и носители, а также использование эмуляции для запуска старого ПО. Принципы FAIR (Findability, Accessibility, Interoperability, Reusability) являются ключевыми для обеспечения устойчивого управления и повторного использования данных в будущем, что критически важно для обеспечения финансовой и академической целесообразности проектов.

Авторское право защищает оригинальные 3D-модели, но возникают сложности, если объект находится в общественном достоянии: точная копия такого объекта может не подпадать под новое авторское право. Это создает напряжение между стремлением учреждений к открытому доступу и их желанием получать доход от лицензирования изображений. Распространение технологий, например использование фотограмметрии на смартфонах, позволяет посетителям музеев создавать 3D-модели экспонатов без разрешения, что известно как «партизанское сканирование». Эти модели могут быть загружены, распространены и даже коммерциализированы в обход культурных прав собственности и суверенитета данных коренных народов. В оцифровке культурного наследия существует конфликт между авторскими правами, правом собственности и публичными / коммерческими интересами. Баланс между правами создателей / владельцев и общественным доступом / коммерческим использованием остается серьезной проблемой. Это не просто юридическая проблема, а этическая дилемма, связанная с тем, кто получает выгоду от цифровизации культурного наследия. Отсутствие четких рамок может привести к «цифровому присвоению»



и подрыву доверия между учреждениями и сообществами-источниками. Для устойчивого развития цифрового наследия необходимо разработать новые правовые и этические рамки, которые гармонизируют принципы открытого доступа (FAIR) с принципами контроля и ответственности (CARE), особенно в отношении коренных народов.

Несмотря на значительные ресурсы, задействованные в таких проектах, отечественная практика также начинает активно осваивать данные технологии для сохранения историко-культурного облика регионов. 14 марта 2025 г. Музей янтаря впервые применил метод фотограмметрии для создания точных 3D-моделей экспонатов. Сотрудники музея, используя профессиональное сканирующее оборудование, фиксировали объекты в условиях 3D-фотостудии, а затем обрабатывали полученные изображения специализированным программным обеспечением, формирующим облако точек. Это позволило добиться высокой точности в передаче структуры, текстуры и цветовых характеристик янтаря — вещества, сложного для фотографирования из-за неоднородной прозрачности и разнообразных световых эффектов. По словам кураторов проекта, это дает «возможность показать янтарь с разных сторон и сохранить его 3D-модели на будущее», что подчеркивает значимость безопасного оцифрования хрупких экспонатов. Полученные 3D-модели используются для виртуальных выставок, реставрационных планирований и научных исследований, способствуя развитию междисциплинарного подхода при анализе материалов культурного наследия [14].

Трехмерное моделирование в корне изменило наши подходы к изучению, документированию и популяризации культурного наследия, становясь основополагающим инструментом в арсенале современных технологий. Примеры успешных проектов, таких как инициативы CyArk и «Возрождение Рима» от Flyover Zone, служат убедительным подтверждением тому, что 3D-технологии позволяют создавать живые и эмоционально вовлекающие цифровые презентации исторических объектов.

Пример деятельности CyArk демонстрирует, что использование лазерного сканирования и фотограмметрии обеспечивает документирование объектов культурного наследия с беспрецедентной точностью. Проекты, такие как оцифровка Расписной пещеры Чумаш и Великой мечети Дженне, показывают, каким образом цифровые модели могут служить мощным средством для создания интерактивных и образовательных платформ, обеспечивая глобальной аудитории доступ к культурным ценностям и углубляя понимание их исторического и культурного значения.

Проект «Возрождение Рима» от Flyover Zone предоставляет пользователям уникальную возможность совершить виртуальное путешествие по Древнему Риму, каким он был в 320 г. н. э. Цифровая реконструкция позволяет полностью погрузиться в эпоху расцвета Римской империи, исследуя ключевые достопримечательности, такие как Колизей и Пантеон. Этот проект призван обеспечить как исследовательские цели, так и потребности туристов, становясь универсальным инструментом.



Заключение

Методы трехмерного моделирования, такие как высокоточная лазерная съемка, компьютерная томография и гиперспектральный анализ, позволяют всесторонне исследовать памятники различного типа и масштаба – от архитектурных ансамблей до хрупких артефактов. Так, гиперспектральное сканирование дает возможность с высокой точностью и детализацией определить материальный состав объектов, что является ценным для атрибуции, датировки и разработки эффективных методов консервации.

Будущее трехмерного моделирования в деле сохранения культурного наследия предполагает дальнейший рост доступности технологий, совершенствование программного обеспечения, а также активное международное сотрудничество и обмен опытом. В контексте совершенствования программного обеспечения значительный потенциал несет в себе развитие интегрированных платформ, способных объединять данные, полученные различными методами 3D-сканирования (например, путем лазерного сканирования, фотограмметрии, гиперспектрального анализа), в единые, высокодетализированные модели. Примером успешных решений может служить разработка специализированных модулей в таких программах, как Agisoft Metashape или RealityCapture, которые позволяют автоматизировать процессы обработки больших объемов данных и повысить точность реконструкций. Также развитие облачных решений и искусственного интеллекта (ИИ) для автоматической обработки и анализа данных сканирования способно существенно сократить временные и ресурсные затраты, делая технологии более доступными. ИИ, в частности, может быть использован для распознавания и классификации объектов, автоматической коррекции ошибок сканирования и даже для генерации отсутствующих фрагментов на основе имеющихся данных, как это демонстрируют передовые исследования по компьютерному зрению.

Для расширения доступности технологий ключевую роль играет разработка открытых стандартов данных и создание репозиториев для хранения и обмена 3D-моделями культурного наследия, что ведет к более широкому распространению и повторному использованию центральной информации. Проекты наподобие Sketchfab или Europeana уже представляют платформы для публикации 3D-моделей, обеспечивая популяризацию и открытый доступ к культурным ценностям. Кроме того, создание образовательных программ и курсов по 3D-моделированию для специалистов в области культурного наследия, а также внедрение этих технологий в школьные и университетские программы, будет способствовать формированию кадров, способных эффективно применять и развивать данные методы. Международные инициативы, такие как проекты, реализуемые в рамках программы Horizon Europe, демон-



стрируют успешную интеграцию научных исследований, технологических разработок и образовательных усилий, направленных на повышение доступности и применимости передовых цифровых инструментов для сохранения культурного наследия.

Список литературы

1. Единый государственный реестр объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации // Портал открытых данных МК РФ. URL: <https://opendata.mkrf.ru/opendata/7705851331-egrkn/> (дата обращения: 01.02.2025).
2. Стенограмма парламентских слушаний на тему «Сохранение объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации: программный подход и законодательственное обеспечение». 09.12.2024 // Совет Федерации Федерального собрания Российской Федерации. URL: <http://council.gov.ru/media/files/X1Ad4iZN6tStxT0uhAa9DNvwquoqazmQ.pdf> (дата обращения: 03.03.2025).
3. Пещера Чумаш. Цифровой проект сохранения культурного наследия, представленный некоммерческой организацией CyArk // Cyark.org. URL: <https://www.cyark.org/projects/chumash-painted-cave/overview> (дата обращения: 08.01.2025).
4. Yorescape : [офиц. сайт]. URL: <https://www.yorescape.com/> (дата обращения: 08.04.2025).
5. Великая мечеть Дженне // Cyark.org. URL: <https://www.cyark.org/projects/djenne-mosque/overview> (дата обращения: 08.01.2025).
6. Flyover Zone : [офиц. сайт]. URL: <https://www.flyoverzone.com/> (дата обращения: 08.04.2025).
7. New edition of Rome virtual aerial tour released // Ansa. URL: https://www.ansa.it/english/news/lifestyle/arts/2023/11/08/new-edition-of-rome-virtual-aerial-tour-released_34c6f48a-b1bc-4164-9541-6d7b71ee8b31.html (дата обращения: 02.02.2025).
8. Yosemite. National Park California // National Park Service : [офиц. сайт]. URL: <https://www.nps.gov/yose/index.htm> (дата обращения: 08.04.2025).
9. Всемирный список объектов культурного наследия ЮНЕСКО. URL: <https://whc.unesco.org/ru/list/> (дата обращения: 18.01.2025).
10. Indiana University Bloomington. URL: <https://bloomington.iu.edu/> (дата обращения: 04.04.2025).
11. Кочнева А.А. Методика построения цифровых моделей рельефа по данным воздушного лазерного сканирования // Вестник СГУГиТ. 2017. Т. 22, №2. С. 44 – 54. EDN: YZFXGV.
12. Хабарова И.А., Валиев Д.С., Чугунов В.А., Хабаров Д.А. Современная цифровая фотограмметрия // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2019. №4-2. С. 41 – 47. EDN: UHTRZF.
13. Сарафанова А.Г., Сарафанов А.А. Технологии смешанной реальности в туристской сфере // Научный результат. Технологии бизнеса и сервиса. 2021. Т. 7, №4. С. 20 – 33. doi: 10.18413/2408-9346-2021-7-4-0-3.
14. Музей янтаря впервые стал использовать метод фотограмметрии для оцифровки экспонатов из музеиных фондов // Музей янтаря : [офиц. сайт]. URL: <https://www.ambermuseum.ru/news/all/muzey-yantarya-vpervye-stal-ispolzovat-metod-fotogrammetrii-dlya-otsifrovki-eksponatov-iz-muzeynykh/> (дата обращения: 08.04.2025).



Об авторах

Даниил Аманов — магистрант, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: daniil.amanov23@vk.com

Владислав Алексеевич Купин — магистрант, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: VKupin@stud. kantiana.ru

Анна Владимировна Митрофанова — канд. геогр. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: mitrofanova-anaa@mail.ru

ORCID: 0000-0001-9565-8574

SPIN-код: 9698-7700

37

D. Amanov, V. A. Kupin, A. V. Mitrofanova

INTERNATIONAL EXPERIENCE IN THE APPLICATION OF THREE-DIMENSIONAL MODELING FOR THE PRESERVATION OF CULTURAL HERITAGE

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

Received 19 April 2025

Accepted 26 June 2025

doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-2

For cite this article: Amanov D., Kupin V.A., Mitrofanova A.V., 2025, International experience in the application of three-dimensional modeling for the preservation of cultural heritage, *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural Sciences*, №3. P. 22–38. doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-2.

Modern digital technologies play a key role in the preservation of cultural heritage, providing new opportunities for its study and documentation. One of the most promising methods is three-dimensional modeling, which makes it possible to create accurate digital copies of historical objects. The purpose of this study is to analyze international practices of implementing 3D modeling in the field of preservation of architectural and archaeological monuments. Methods of laser scanning, photogrammetry, and hyperspectral analysis are examined, along with their advantages and limitations. Particular attention is given to examples of successful international projects, such as CyArk and Flyover Zone, which demonstrate the effectiveness of 3D modeling in the preservation and popularization of cultural assets. The main conclusions of the study concern the prospects for the development of digital methods of heritage preservation, their integration into global practice, and the need for further interdisciplinary cooperation.

Keywords: cultural heritage, digital technologies, 3D modeling, virtual reconstruction, laser scanning, photogrammetry, hyperspectral analysis



The authors

Daniil Amanov, Master's student, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: daniil.amanov23@vk.com

Vladislav A. Kupin, Master's student, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: VKupin@stud.kantiana.ru

Dr Anna V. Mitrofanova, Associate Professor, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: mitrofanova-anaa@mail.ru

ORCID: 0000-0001-9565-8574

SPIN-code: 9698-7700

УДК 911.373

Д. В. Хвалей

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА УРОВНЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ РОССИИ (НА ПРИМЕРЕ ЦФО)

Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия

Поступила в редакцию 22.04.2025 г.

Принята к публикации 28.06.2025 г.

doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-3

39

Для цитирования: Хвалей Д. В. Комплексная оценка уровня цифровизации сельской местности России (на примере ЦФО) // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2025. №3. С. 39 – 55. doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-3.

Цель статьи – оценить текущий уровень цифровизации сельской местности регионов Центрального федерального округа России. Разработана комплексная методика оценки уровня цифровизации, включающая 12 показателей, группированных по трем направлениям: развитие ИКТ-инфраструктуры, цифрового сообщества и цифровых сервисов. Индикатором уровня цифровизации села является интегральный индекс (I_{DRA}). Расчет индекса произведен с использованием данных статистики, открытых данных операторов сотовой связи по состоянию на 2023 г. По результатам исследования выявлена значительная дифференциация цифрового развития сельских территорий. Предложена типология субъектов ЦФО РФ с выделением трех типов регионов: развитые, умеренные и отстающие. К развитым отнесены Московская, Владимирская, Брянская, Воронежская, Тамбовская, Курская области, к отстающим – Тверская область. Для преодоления цифрового неравенства предложен дифференцированный подход, включающий модернизацию ИКТ-инфраструктуры, развитие государственно-частного партнерства и внедрение программ цифрового наставничества. Полученные результаты имеют важное значение для формирования адресной политики цифровизации сельских территорий России.

Ключевые слова: цифровизация сельской местности, цифровой разрыв, сельское сообщество, уровень цифровизации, типология сельской местности

Введение

Сельская местность сталкивается с рядом проблем социально-экономического развития, обуславливающих снижение уровня и качества жизни местных сообществ. Сохраняющаяся тенденция к миграционному оттоку населения из периферийных сельских районов вызывает снижение сельскохозяйственной функции села, а сокращение человеческого потенциала, оптимизация социальной инфраструктуры ведут к обезлюдению сельской местности [11]. В качестве одного из путей компенсации социально-экономической неоднородности сельской местности рассматривается внедрение цифровых технологий.



В общественной географии процесс цифровизации сельской местности рассматривается в контексте цифрового развития региона. Цифровое развитие внутри региона неоднородно: так, К. Салеминк, Г. Босворт, Д. Стрийкер [21], Л. Таунсенд и П. Чапмен [22] выделяют пространственные и социально-экономические различия в цифровизации сельской местности, как в дихотомии «город – село», так и внутри самой сельской местности. Эти различия формируют сложную картину цифрового неравенства, требующую детального изучения. Традиционно сельская местность в противовес городам рассматривается в качестве цифровой периферии: низкая плотность населения не позволяет местным сообществам сформировать устойчивый запрос на внедрение цифровых инноваций. Однако в последние годы намечается переход к пониманию цифровизации села исходя из особенностей сельского социально-экономического развития [20; 22] с учетом потребностей местного цифрового сообщества.

Исследования цифровизации сельской местности России тесно связаны с цифровой трансформацией сельского хозяйства [13]. Использование цифровых технологий в сельской местности нечерноземной зоны может рассматриваться в качестве инструмента повышения уровня жизни на селе, однако, как справедливо отмечает А.И. Костяев, ограничено снижением плотности населения [5]. Сокращение сельскохозяйственной функции сельских территорий [12] обуславливает исследовательский фокус на социальном развитии села. Главным выгодоприобретателем в процессе цифровизации является сельское сообщество. Именно повышение качества жизни сельских сообществ под влиянием цифровизации может стать ключом к сглаживанию социально-экономической контрастности на селе.

Цифровая и социально-экономическая неоднородность сельской местности взаимосвязаны. Социально-экономическая контрастность обусловливает возникновение цифрового разрыва [4] – неравенства в доступе к цифровым технологиям и их использовании для сельских сообществ. Цифровой разрыв – сложное многофакторное явление. В научной литературе нашли изучение его экономические [9], социально-демографические [17] и другие предпосылки [8]. Высокая стоимость интернет-услуг, низкий уровень цифровых компетенций у стареющих сельских сообществ, удаленность от физической инфраструктуры локальных цифровых сервисов ограничивают перспективное развитие села.

Комплексная оценка уровня цифровизации обуславливает необходимость учета всех компонентов цифрового развития сельской местности. Адаптация модели трех уровней цифрового разрыва [3] к сельской местности позволяет выделить в структуре цифрового развития села три ключевых компонента: «ИКТ-инфраструктура» как комплекс размещенных в сельской местности технических устройств и связей между ними, «Цифровое сообщество» как часть сельского сообщества, обладающая цифровыми навыками и применяющая их для повышения качества жизни, и «Цифровые экосистемы и сервисы» как часть глобаль-



ной цифровой среды, взаимодействующая с сельским цифровым сообществом. По мнению А. И. Костяева, сельское сообщество наряду с базовой технической инфраструктурой и предметно-ориентированными сервисами выступает в качестве компонента «цифровой деревни» [6].

Базовым условием цифровизации является наличие доступа к интернету. В сельской местности наблюдается разрыв в доступности технологий связи, скоростных характеристиках интернет-покрытия, причем в большей степени с проблемами подключения сталкиваются малые населенные пункты [18]. Технические особенности проводных технологий связи ограничивают возможность подключения сельских сообществ к оптоволоконному кабелю, из-за чего основным средством доступа к ИКТ остается мобильный интернет.

Важную роль в цифровом развитии села играет уровень цифрового развития сельских сообществ, а именно набор цифровых навыков [2], необходимых для взаимодействия с цифровой средой. Разрыв в цифровой грамотности сельского населения проявляется в центро-периферийном отношении: при удалении от городов уровень навыков сообществ снижается, с чем связан низкий уровень полезного использования цифровых сервисов; интернет становится в большей степени средством для досуга, а интеграция сельских сообществ в цифровую экономику ограничена [16]. Под влиянием цифровизации трансформируется сельская экономика: так, по мнению Б. Сли и Дж. Хопкинса [24], изменяется не только структура сельской торговли, но и состав ее участников — сельское сообщество объединяется для совместного заказа товаров. Высокий уровень цифрового взаимодействия сельских сообществ положительно влияет на социально-экономическое развитие села: А. А. Чернега отмечает важную роль социальных сетей в консолидации усилий местных сообществ [15], когда локальные цифровые сообщества становятся платформой для обсуждения и решения местных проблем. Ряд исследователей [19; 23] подчеркивает необходимость грамотной адаптации цифровых технологий с учетом потребностей и традиционного уклада сельских сообществ, поскольку универсальные механизмы цифровизации способны негативно влиять на образ жизни в сельской местности.

Цель данного исследования — оценить текущий уровень цифровизации сельской местности регионов Центрального федерального округа России (ЦФО РФ). Выбор в качестве территории исследования Центрального федерального округа обусловлен несколькими причинами. Во-первых, сельская местность округа выделяется высокой пространственной неоднородностью: плотная система расселения и сельскохозяйственная специализация регионов Центрально-Черноземного района контрастирует с мелкоселенностью сельского расселения северной, нечерноземной части округа [1]. Это позволяет учесть влияние расселенческих факторов на цифровое развитие села. Во-вторых, миграционные тенденции относительно регионов, примыкающих к Московскому региону, неоднородность геодемографической обстановки [10]



дают возможности для выявления особенностей формирования сельских цифровых сообществ под влиянием процесса поляризации. В третьих, дифференциация социально-экономического развития регионов округа [7] позволяет выявить региональные особенности взаимодействия сельских цифровых сообществ с цифровой средой.

Методика и информационная база исследования

42

Оценка уровня цифровизации сельской местности регионов произведена с использованием авторской методики. Группировка показателей осуществлялась по компонентам цифрового развития сельской местности, таким как ИКТ-инфраструктура, цифровое сообщество, цифровые сервисы и экосистемы. Статистические расчеты проведены для всей генеральной совокупности регионов России (исключение составили города федерального значения Москва, Санкт-Петербург, Севастополь, а также исторические регионы – Донецкая и Луганская народные республики, Запорожская и Херсонская области).

В таблице 1 показана система из 12 использованных в оценке показателей и их распределение относительно компонентов цифрового развития сельской местности

Таблица 1

Система количественных показателей для оценки уровня цифровизации сельской местности на региональном уровне

Компонент	Показатель	
ИКТ-инфраструктура	A ₁	Доля внегородских территорий региона, покрытых мобильным интернетом стандарта 4G от хотя бы 1 оператора, январь 2023 г.
	A ₂	Доля сельских жителей, использующих для выхода в интернет мобильный телефон (сотовая связь), 2022 г.
	A ₃	Отношение абонентской платы за доступ к сети Интернет в месяц к среднему доходу на 1 члена домохозяйства за месяц в сельской местности, 2022 г., %
	A ₄	Доля сельских общеобразовательных учреждений со скоростью интернета 30 и более Мбит, 2023 г.
Цифровое сообщество	B ₁	Численность учеников на 1 учителя информатики и ИКТ в сельских общеобразовательных учреждениях, 2023 г.
	B ₂	Доля сельских жителей, зарегистрированных на портале «Госуслуги», 2022 г.
	B ₃	Средний уровень владения компьютерными навыками, %
	B ₄	Доля сельских жителей, использующих социальные сети, 2022 г.



Окончание табл. 1

Компонент	Показатель		
Цифровые экосистемы и сервисы	C ₁	Максимальная доля сельских учеников, обучающихся с использованием электронных / сетевых / дистанционных технологий, 2023 г.	
	C ₂	Доля сельских жителей, покупавших товары цифровым путем в течение последних 3 месяцев, 2022 г.	
	C ₃	Доля сельских жителей, осуществляющих банковские операции через интернет, 2022 г.	
	C ₄	Доля сельских жителей из числа имеющих персональный компьютер дома, использующих средства защиты от киберугроз, 2022 г.	

43

Часть показателей, например покрытие интернетом внегородских территорий региона, рассчитаны автором с использованием открытых данных сотовых операторов по состоянию на январь 2023 г.¹ Методика расчета показателя апробирована для различных территорий России [14]. Показатель, характеризующий уровень компьютерных навыков сельского населения, рассчитан автором с использованием данных Выборочного обследования по вопросам использования населением сети Интернет за 2022 г.² Для расчета остальных показателей использованы данные комплексного обследования условий жизни населения за 2022 г.³, данные ведомственной статистики Министерства образования России за 2023 г.⁴

¹ Карта покрытия мобильным интернетом // Билайн. URL: <https://kalininograd.beeline.ru/customers/beeline-map> (дата обращения: 10.01.2023) ; Карта покрытия мобильным интернетом // Мегафон. URL: <https://kalininograd.megafon.ru/help/offices/#coverageMap> (дата обращения: 10.01.2023) ; Карта покрытия мобильным интернетом // МТС. URL: <https://kalininograd.mts.ru/personal/podderzhka/zoni-obsluzhivaniya/nasha-set/> (дата обращения: 10.01.2023) ; Карта покрытия мобильным интернетом // Теле2. URL: <https://spb.t2.ru/coverage> (дата обращения: 10.01.2023).

² Выборочное федеральное статистическое наблюдение по вопросам использования населением информационно-коммуникационных технологий и информационно-телекоммуникационных сетей за 2022 год // Росстат. URL: https://rosstat.gov.ru/free_doc/new_site/business/it/ikt22/index.html (дата обращения: 20.02.2025).

³ Комплексное наблюдение условий жизни населения за 2022 год // Росстат. URL: https://rosstat.gov.ru/free_doc/new_site/GKS_KOUZH_2022/index.html (дата обращения: 20.02.2025).

⁴ Кадровое оснащение сельских образовательных учреждений по регионам России на начало 2023/24 года // База данных Министерства просвещения РФ. URL: <https://docs.edu.gov.ru/document/dd4cf021660425786495d744405367f0/> (дата обращения: 20.02.2025) ; Техническое оснащение сельских образовательных учреждений по регионам России на начало 2023/24 года // База данных Министерства просвещения РФ. URL: <https://docs.edu.gov.ru/document/f5e7a3c3f0a8bed24375ac30b2532878/> (дата обращения: 20.02.2025).



Показатели нормированы и стандартизированы, а индикаторы А3 и В1 дополнительно инвертированы. Для компенсирования автокорреляции индикаторы сгруппированы в 3 субиндекса, каждый из которых характеризует развитие отдельного компонента цифровизации сельской местности: А – ИКТ-инфраструктура, В – Цифровое сообщество, С – Цифровые экосистемы и сервисы. Каждый индекс представляет собой среднее арифметическое значение входящих в него индикаторов. В таблице 2 показан уровень автокорреляции индикаторов цифрового развития села для генеральной выборки – 82 регионов России.

Таблица 2

44

Уровень корреляции между индикаторами цифрового развития сельской местности регионов России

	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4
A1	1											
A2	-,078	1										
A3	,246	-,405	1									
A4	,461	-,226	,294	1								
B1	-,107	-,017	-,157	-,385	1							
B2	,357	,054	,231	,257	-,099	1						
B3	,011	,350	,083	-,100	-,104	,360	1					
B4	,182	-,166	,371	,151	-,166	,436	,394	1				
C1	-,059	,108	,165	,049	-,181	,037	,173	,153	1			
C2	,065	,348	,123	,029	-,073	,393	,503	,341	,028	1		
C3	-,081	,504	-,123	-,223	,068	,191	,452	,324	,022	,383	1	
C4	,275	-,076	,294	,247	-,217	,243	,358	,378	,195	,211	,142	1

Сведение субиндексов в интегральный индекс цифровизации сельской местности осуществлено на базе Python в программной оболочке Google Colab. При сведении интегрального индекса использован метод главных компонент: на основе распределения значений по генеральной выборке установлены следующие веса для компонентов цифрового развития села: ИКТ-инфраструктура (А) – 0,47; Цифровое сообщество (В) – 0,25; Цифровые экосистемы и сервисы (С) – 0,29. Распределение весов подчеркивает базисную роль технологического развития инфраструктуры связи и технического обеспечения населения в процессе цифровизации. Формула расчета интегрального индекса I_{DRA} :

$$I_{DRA} = 0,47A + 0,25B + 0,29C, \quad (1)$$

где А – субиндекс «ИКТ-инфраструктура», В – субиндекс «Цифровое сообщество», С – субиндекс «Цифровые экосистемы и сервисы»

Проверка нулевой гипотезы произведена с использованием статистического пакета Python, к выборке регионов России применены тесты Колмогорова – Смирнова и Шапиро – Уилка, результаты которых представлены в таблице 3.



Таблица 3

**Нормальность распределения I_{DRA} по тестам Шапиро – Уилка,
Колмогорова – Смирнова для генеральной выборки**

Критерий	Метрика	A	B	C	I_{DRA}
Шапиро – Уилк	Статистика теста	0,978	0,972	0,992	0,992
	р-значение	0,184	0,072	0,883	0,876
Колмогоров – Смирнов	Статистика теста	0,080	0,086	0,062	0,058
	р-значение	0,635	0,555	0,889	0,929

45

Прохождение методикой нулевой гипотезы позволяет в дальнейшем использовать статистические методы для выявления территориальных закономерностей цифрового развития сельской местности на региональном уровне. Комплексность методики дает возможность использовать в исследовании как индексы, характеризующие развитие компонент цифрового развития сельской местности региона, так и интегральный индекс для оценки общего уровня цифрового развития сельской местности.

На основе значений интегрального индекса I_{DRA} проведена эмпирическая типологизация регионов ЦФО по уровню цифровизации сельской местности. Выделены 3 типа: развитые (значение I_{DRA} 0,65 и более), умеренные (I_{DRA} в диапазоне от 0,5 до 0,65), отстающие (I_{DRA} менее 0,5).

Территориальная дифференциация цифрового развития

На рисунке 1 представлено распределение значений субиндексов по регионам ЦФО РФ.

Наиболее высокий уровень цифрового развития ИКТ-инфраструктуры показывает Московская область (0,89). Место региона обусловлено высокой плотностью системы расселения. Технические особенности сети мобильного интернета позволяют эффективно обеспечивать сельскую местность связью при сочетании крупноселенности с высокой зависимостью сельской местности от городов. Структура расселения Московской области опирается на кучно расположенные крупные города, что определяет высокие показатели качества мобильного интернета. В то же время относительно дешевая стоимость услуг связи для местных сельских сообществ обусловлена экономическим положением Подмосковья, трудовой занятостью селян в близлежащих городах. На втором месте по уровню развития ИКТ в сельской местности Воронежская область (0,86), чье высокое место обусловлено также особенностями системы расселения, на третьем – Владимирская область (0,84), где повышение уровня развития ИКТ-инфраструктуры происходит под влиянием дачной миграции, а также вследствие развития рекреационной сферы.

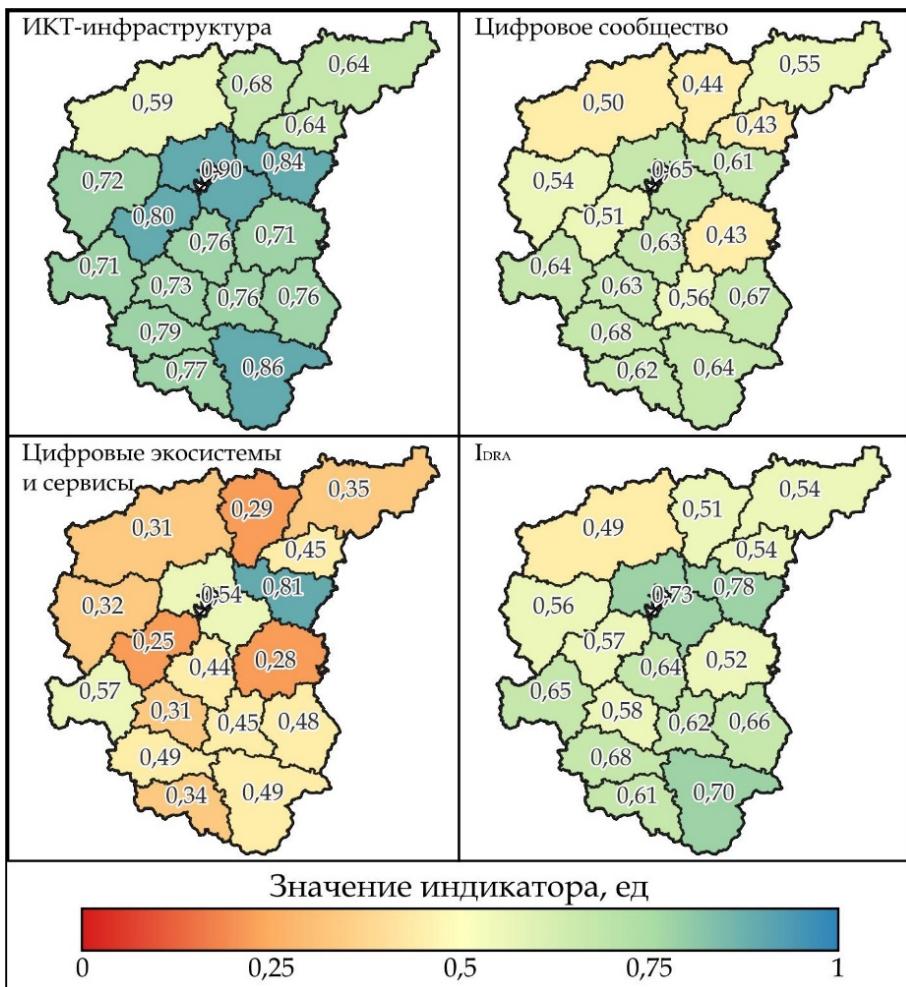


Рис. 1. Распределение субъектов ЦФО РФ по уровню цифровизации сельской местности

Самый низкий уровень развития ИКТ-инфраструктуры показывает сельская местность Тверской области (0,59). Более разреженная система расселения в западной части региона обуславливает размещение фрагментарного интернет-покрытия. Проблемы со связью влечут за собой ограничения в скорости передачи данных в местных школах (в 18,7 % сельских школ скорость интернета не превышает 30 Мбит/с), а также более низкую популярность мобильных телефонов в качестве средства выхода в сеть (их предпочитают 34,44 % селян). Осложняет доступность ИКТ высокая относительная стоимость интернет-услуг: абонентская плата за интернет-услуги составляет 3,52 % от среднего дохода, по этому показателю регион уступает только Брянской (3,97 %) и Липецкой областям (3,93 %).



На предпоследнем месте по развитию ИКТ-инфраструктуры находится Ивановская область (64,1), на третьем с конца – Костромская (64,2). В обоих случаях низкий уровень развития ИКТ обусловлен малоселенностью сельского расселения, перспективное развитие ИКТ ограничивается устойчивой тенденцией к депопуляции периферийной сельской местности.

Значения субиндекса «Цифровое сообщество» колеблются в более узком диапазоне. Средний уровень развития сельского цифрового сообщества ЦФО составляет 0,57. Наиболее высокий уровень развития показывает сельская местность Курской области (0,68). Местное сообщество активно позиционирует себя в социальных сетях: так, профиль на одной из площадок («ВКонтакте», «Одноклассники» и др.) имеется у 62,7 % селян. Кроме того, местные сообщества активно взаимодействуют с государственными сервисами: профиль на портале «Госуслуги» есть у 84,2 % селян (регион по значению показателя занимает третье место после Московской (88 %) и Орловской (86,2 %) областей). Перспективность развития сельского цифрового сообщества региона подчеркивается низкой нагрузкой на преподавателей ИКТ (на 1 учителя приходится порядка 289 учеников при минимуме в 270,5 в Орловской области): меньшая загруженность позволяет сконцентрироваться на более тщательной цифровой подготовке школьников. На втором месте – Тамбовская область (0,66): высокое место региона обусловлено значительным разнообразием цифровых навыков сельских сообществ (14,7 %, второе место после Московской области (16,1 %)). На третьем месте – Московская область (0,65): популярность социальных сетей у селян ниже среднего по округу (52,7 % при среднем в 55,5 %), негативно влияют на развитие цифрового сообщества миграционные тенденции. Субурбанизация в сельской местности Подмосковья приводит к сверхзагрузке преподавателей ИКТ: так, на 1 учителя приходится порядка 634 учеников. Эффективность формирования цифровой грамотности у школьников в таких условиях снижена: отсутствие понимания важности соблюдения цифровой гигиены подвергает сельское сообщество внешним и внутренним киберрискам (кража личных данных, финансовых средств, дезинформация).

В наиболее широком диапазоне колеблются значения индекса «Цифровые экосистемы и сервисы». Лидером является Владимирская область со значением 0,81. Второе и третье место занимают соответственно Брянская (0,57) и Московская (0,53) области. Уровень развития цифровых сервисов и экосистем Владимирской и Брянской областей обусловлен высокой степенью цифровизации образовательного процесса¹. В частности, для всех сельских учеников Владимирской области

¹ Цифровизация сферы образования Владимирской области // Ведомости. URL: <https://vedom.ru/news/2025/03/19/72333-po-cifrovizacii-sfery-obrazovaniya-vladimirskaya-oblstan> (дата обращения: 10.04.2025).



доступны электронные образовательные технологии, в Брянской области – для каждого седьмого сельского ученика. Кроме того, Владимирская область занимает лидирующие позиции по интеграции села в цифровую экономику: 63,6 % селян используют онлайн-банкинг. Устойчивость развития цифровых сервисов в сельской местности Владимирской области подчеркивает популярность средств киберзащиты: антивирусом пользуются 94,3 % селян (второе место после Курской области – 98,9 %). Высокий уровень развития цифровых сервисов в сельской местности Подмосковья обусловлен высокой логистической ролью региона (близость к распределительным центрам позволяет получать заказы быстрее). В то же время ниже среднего по ЦФО уровень цифровизации образовательного процесса региона (доля сельских учеников, обучающихся с использованием цифровых технологий, составляет 11,9 % при среднем по ЦФО 17,2 %) и использование сельскими сообществами средств кибербезопасности (77,4 % при среднем по ЦФО 80,1 %).

Наименьший уровень развития цифровых сервисов показывает Калужская область (0,25), на втором месте с конца Рязанская область (0,28), на третьем – Ярославская (0,29). Низкое место сельской местности данных регионов обусловлено низкой интеграцией их сельских сообществ в цифровую экономику. Лишь каждый пятый сельский житель этих регионов использует онлайн-банкинг. В меньшей степени здесь популярны и практики онлайн-заказов в сервисах доставки: уровень использования локальных цифровых сервисов в сельской местности Калужской, Ярославской и Рязанской областей ниже среднего по округу (30,8 %). В рамках ЦФО наблюдается положительная корреляционная зависимость (0,54) между удовлетворенностью расположением торговых точек (по данным комплексного обследования условий жизни населения¹) и использованием цифровых сервисов доставки товаров. Подобный парадокс подчеркивает стратификационное действие цифровизации: цифровые сервисы доставки товаров развиваются в местности с более высокой покупательской активностью. Периферийная по отношению к торговым точкам сельская местность рассматривается локальными цифровыми сервисами как нерентабельная для экономического освоения, что усугубляет социально-экономический разрыв.

Распределение значений итогового индекса по территории ЦФО неоднородно. Тройку лидеров составляют Владимирская (0,78), Московская (0,73) и Воронежская (0,70) области. Высокий уровень цифровизации регионов обусловлен равномерным развитием всех компонентов цифрового развития. Так, на территории Владимирской области активно внедряются цифровые сервисы государственного управления; местные сообщества формируют устойчивый запрос на улучшение ка-

¹ Комплексное наблюдение условий жизни населения за 2022 год // Росстат. URL: https://rosstat.gov.ru/free_doc/new_site/GKS_KOUZH_2022/index.html (дата обращения: 20.02.2025).



чества интернет-покрытия для взаимодействия в рамках цифровых экосистем¹. Воронежская область сочетает преимущества пространственного развития (развитая система сельского расселения) с уникальными механизмами цифрового развития: в регионе реализуется проект «смарт-зон» — автоматизированных многофункциональных центров²; цифровое сообщество формируется под влиянием регионального ИТ-форума «Цифровоземье». Цифровое развитие сельской местности Подмосковья обусловлено высокой транспортной доступностью локальных цифровых сервисов, а также высокой плотностью населения региона. Тройку регионов с самым низким значением I_{DRA} составляют Тверская (0,49), Ярославская (0,51) и Рязанская (0,52) области. Особенности системы расселения и старение сельского населения не позволяют регионам эффективно адаптировать цифровые инновации.

Перспективы цифрового развития сельской местности ЦФО

Для определения перспектив цифрового развития села целесообразно выделение трех основных типов регионов по текущему уровню цифровизации сельской местности (рис. 2). К развитым регионам относятся Московская, Владимирская, Брянская, Курская, Воронежская, Тамбовская области, к умеренным — Ивановская, Ярославская, Костромская, Смоленская, Калужская, Тульская, Липецкая, Орловская, Рязанская, Белгородская области, к отстающим — Тверская область.

Сельская местность развитых регионов обладает рядом преимуществ, позволяющих активнее внедрять цифровые технологии. Ключевым фактором, влияющим на развитие ИКТ-инфраструктуры, являются особенности системы расселения регионов. Высокая плотность сельского населения в сочетании с равномерным распределением узловых населенных пунктов в рамках транспортно-логистической сети позволила в краткие сроки создать плотную сеть интернет-покрытия и обеспечить цифровизацию социальной инфраструктуры.

Активность сельского сообщества также становится важным преимуществом сельской местности развитых регионов. Так, сельские сообщества Тамбовской области благодаря развитой системе отслеживания обращений в социальных сетях решают проблемы локального развития³.

¹ Во Владимирской области сельские жители стали «заложниками цифровизации». URL: <https://www.vladimir.kp.ru/daily/27688/5078364/> (дата обращения: 22.04.2025).

² Смарт-зоны помогут преодолеть цифровое неравенство среди воронежцев. URL: <https://tv-gubernia.ru/novosti/smart-zony-pomogut-preodolet-czifrovoe-ne-ravenstvo-sredi-voronezhczev/> (дата обращения: 22.04.2025).

³ Пичаевцам рассказали о преимуществах ЦУР. URL: <https://gazetapichaevo.ru/news/society/2022-04-15/pichaevtsam-rasskazali-kak-tsur-pomogaet-reshat-problemy-selchan-131160> (дата обращения: 22.04.2025).



50

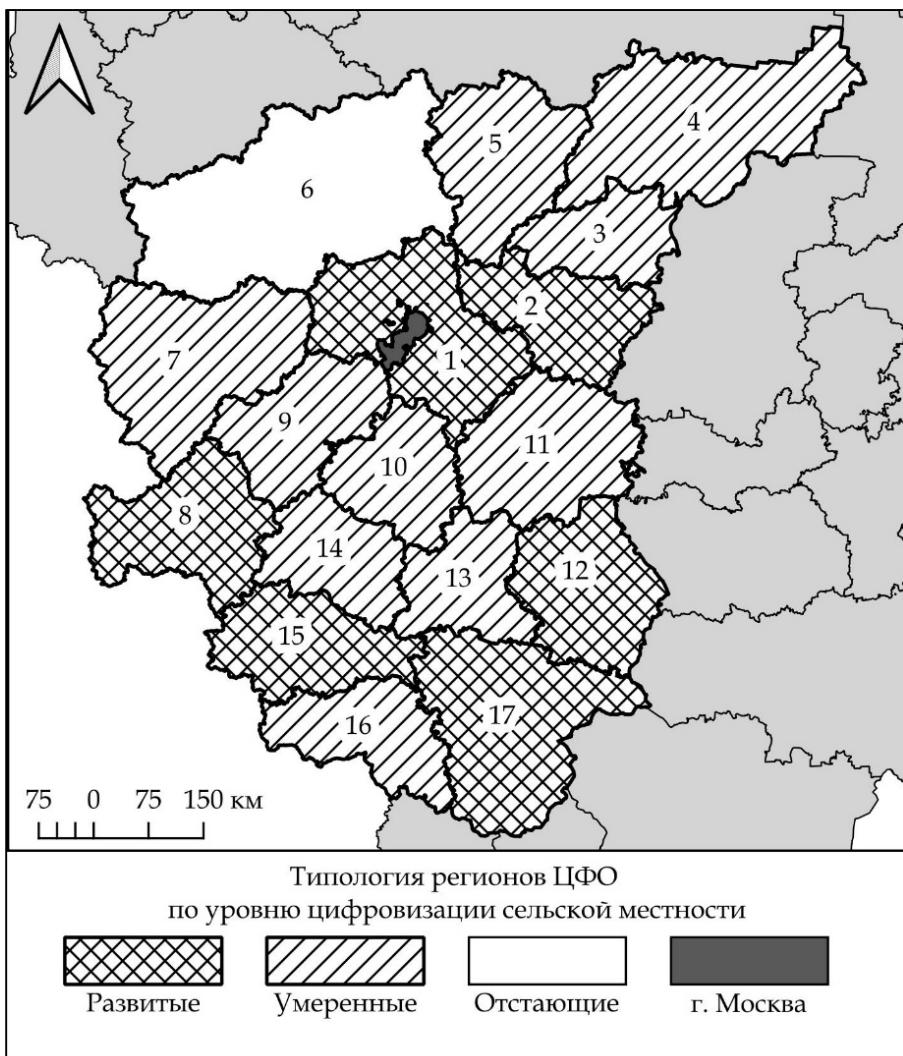


Рис. 2. Типология регионов ЦФО по уровню цифровизации сельской местности:

- 1 – Московская область, 2 – Владимирская, 3 – Ивановская, 4 – Костромская,
- 5 – Ярославская, 6 – Тверская, 7 – Смоленская, 8 – Брянская, 9 – Калужская,
- 10 – Тульская, 11 – Рязанская, 12 – Тамбовская, 13 – Липецкая, 14 – Орловская,
- 15 – Курская, 16 – Белгородская, 17 – Воронежская

Институциональный фактор проявляется в создании комплексных цифровых экосистем, способствующих снижению цифрового и социально-экономического неравенства. Показателен пример Владимирской области, где в рамках исполнения региональной стратегии в области цифровой трансформации отраслей экономики, социальной сферы и государственного управления реализуется проект цифровой образовательной экосистемы¹. Цифровое развитие системы образования

¹ Стратегия цифровой трансформации Владимирской области. URL: <https://digital.avo.ru/documents/5291772/0/Проект+распоряжение+Губернатора+области>



имеет критическое значение для формирования грамотного цифрового сообщества. Примеры создания региональных цифровых экосистем существуют при участии бизнеса в Воронежской¹ и Брянской областях (в рамках механизмов цифровой трансформации сельского хозяйства²). В развитых регионах сельская местность может пойти по пути развития «умной деревни» – высокий уровень развития ИКТ-инфраструктуры в сочетании с заинтересованностью сельских сообществ в повышении качества жизни цифровым путем способен стать преимуществом при комплексной цифровизации периферийной сельской местности территории. Для Московского региона существует риск сжатия сельской местности в результате расширения городов, что, с одной стороны, стимулирует цифровизацию села, но, с другой – способствует урбанизации сельского образа жизни.

Сельская местность умеренных регионов испытывает миграционный отток населения в сторону региональных центров и Москвы. Находящиеся в зоне столичного гравитационного притяжения Ярославская, Ивановская, Калужская, Тульская и Рязанская области теряют молодое население, что ограничивает адаптацию цифровых технологий сельскими сообществами. Тяжелая демографическая ситуация в периферийных регионах, например в Костромской области, в сочетании с мелкоселенной системой расселения приводит к фрагментарному интернет-покрытию и разреженной логистической сети цифровых сервисов. Повышение уровня социального обеспечения для этих регионов возможно с использованием механизмов государственно-частного партнерства. Расширение сети пунктов выдачи товаров локальных цифровых сервисов будет способствовать повышению товарной обеспеченности села, однако необходимо учитывать конкурентные риски для местного малого бизнеса. Кроме того, необходимо повышать осведомленность сельских сообществ о киберугрозах и способах противодействия им.

Низкий уровень цифрового развития сельской местности отстающих регионов связан с комплексом проблем пространственного развития. Низкая плотность системы сельского расселения, ее приуроченность к крупным транспортным магистралям обуславливает внутрирегиональный цифровой разрыв в направлении «центр – периферия». Формирование цифрового сообщества осложнено социально-демографическими, культурными особенностями местного населения. Остро стоит проблема обезлюдения сельской местности [12], с чем связан низкий уровень развития цифровых сервисов вследствие отсутствия запроса на их развитие. Расселенческий каркас Тверской области приурочен к магистральному коридору Москва – Санкт-Петербург, этим объяс-

сти+Об+утверждении+стратегии+цифровой+трансформации+Владимирской+области.pdf/8c90a244-0284-5c72-24ad-97532b8251eb?version=1.0&t=1660228812611 (дата обращения: 22.04.2025).

¹ Цифровизация школ Воронежской области. URL: <https://vrm-pro.kommersant.ru/schooltechno> (дата обращения: 22.04.2025).

² Стратегия цифрового развития Брянской области. URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/bryanskaya-oblast.pdf> (дата обращения: 22.04.2025).



няется высокое цифровое развитие центральной части региона, однако социально-экономическая неоднородность западной и восточной части области проявляется в цифровой плоскости.

Для повышения уровня цифровизации отстающих регионов необходимо компенсировать операторам сотовой связи установку и модернизацию оборудования в районах с низкой плотностью населения. Высокое качество интернет-покрытия будет способствовать более активной цифровой интеграции местной экономики. Система обучения местных сообществ цифровым навыкам может быть основана на механизме «цифрового наставничества» – передаче цифровых компетенций из развитых районов в отстающие. Строительство высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Санкт-Петербург будет способствовать усилению цифрового разрыва между центральными и периферийными районами Тверской области, так как планируется масштабная модернизация сети мобильного интернет-покрытия на всем протяжении магистрали¹.

С учетом тенденций, выделенных Т.Г. Нефедовой и А.А. Медведевым применительно к регионам, окружающим Московскую область [12], можно сделать вывод о важности «запроса сбоку» на цифровое развитие села. Так, активное дачное переосвоение сельской местности обуславливает запрос на модернизацию ИКТ-инфраструктуры и расширение сети пунктов выдачи товаров. Местное цифровое сообщество в летний период расширяется за счет дачников, что может стимулировать цифровизацию в периферийной сельской местности с высоким рекреационным потенциалом.

Заключение

Социально-экономическая неоднородность развития сельской местности Центрального федерального округа РФ обуславливает особенности цифрового неравенства на селе. Одним из ключевых факторов формирования цифрового разрыва становится расселенческий фактор: низкая плотность сельского населения в периферийных районах не позволяет формировать релевантный спрос на расширение и модернизацию ИКТ-инфраструктуры. Высокая плотность расселения в регионах черноземной зоны влечет за собой перспективное цифровое развитие села. Наблюдаются экономические и социально-демографические предпосылки цифрового разрыва: высокая относительная стоимость интернет-услуг не позволяет полноценно внедрять цифровые технологии, а формирование цифрового сообщества ограничено сохраняющимися тенденциями к обездолению сельской местности.

Разработанная комплексная методика оценки уровня цифровизации сельской местности может быть масштабирована для территорий регионов России и ближнего зарубежья. Ключевой особенностью методики является оценка цифровизации сельской местности исходя из

¹ Магистраль Москва – Петербург оснастят быстрым интернетом по всему пути // РБК. URL: <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/67eff3219a7947030488fe83> (дата обращения: 10.04.2025).



центральности сельского сообщества как ядерного элемента территориальной общественной системы села. Важность формирования цифрового сельского сообщества обусловлена его влиянием на расширение и модернизацию ИКТ-инфраструктуры и локализацию цифровой среды (расширение инфраструктуры локальных цифровых сервисов и адаптацию цифровых инноваций в интересах повышения качества жизни). Предложенная методика имеет ряд ограничений, связанных с особенностями сбора статистических данных. Так, сведения о цифровом развитии регионов России, в том числе сельских территорий, публикуются со значительным времененным отставанием, что не позволяет в полной мере оценить перспективы цифровизации села. Масштабирование методики на сельские территории муниципалитетов и сельских населенных пунктов осложнено отсутствием детализированной статистики, что обуславливает необходимость формирования иных подходов к оценке цифровизации села. Результаты, полученные в ходе исследования, могут быть использованы при планировании программ социально-экономического и цифрового развития сельской местности.

Результаты исследования подчеркивают взаимосвязь цифрового и социально-экономического развития сельской местности. С одной стороны, цифровые технологии могут выступать инструментом повышения уровня жизни посредством интеграции села в цифровую экономику, а также качества жизни путем восполнения недостатков сфер образования и здравоохранения. С другой стороны, цифровое развитие социальной сферы опирается на существующую сеть социальной инфраструктуры и местных специалистов. Цифровая экономика села в своем развитии исходит из факторов спроса и предложения. Таким образом, социально-экономический разрыв в сельской местности переходит в цифровой разрыв.

Список литературы и источников

1. Агibalov A. B., Ternovых K. C. Диагностика развития сельских территорий ЦФО // Московский экономический журнал. 2021. №12. С. 192–207. doi: 10.24412/2413-046X-2021-10738.
2. Былина С. Г. Региональные особенности и детерминанты использования электронных услуг сельским населением // Проблемы развития территории. 2018. №5 (97). С. 84–98. doi: 10.15838/ptd.2018.5.97.6.
3. Гладкова А. А., Гарифуллин В. З., Рагнедда М. Модель трех уровней цифрового неравенства: современные возможности и ограничения (на примере исследования Республики Татарстан) // Вестник Московского университета. Сер. 10. Журналистика. 2019. №4. С. 41–72. doi: 10.30547/vestnik.journ.4.2019.4172.
4. Земцов С. П., Демидова К. В., Кичаев Д. Ю. Распространение интернета и межрегиональное цифровое неравенство в России: тенденции, факторы и влияние пандемии // Балтийский регион. 2022. Т. 14, №4. С. 57–78. doi: 10.5922/2079-8555-2022-4-4.
5. Костяев А. И. Дифференциация направлений цифровизации сельских территорий (на примере Северо-Запада) // Экономика сельского хозяйства России. 2022. №10. С. 19–27. doi: 10.32651/2210–19. EDN: IAGPGD.
6. Костяев А. И. Роль местных сообществ в развитии сельской локальной экономики // Никоновские чтения. 2022. №27. С. 18–23. EDN: ENBDON.



7. Лысенко А.Н., Афанасьева Н.А., Рахмеева И.И. Оценка уровня цифровизации регионов Центрального федерального округа // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. 2021. №3. С. 171 – 182. doi: 10.15593/2224-9354/2021.3.12.
8. Михайлова А.А. Территориальные закономерности формирования и развития цифрового пространства России // Материалы Молодежной исследовательской мастерской – 2024. М., 2024. С. 12 – 20. EDN: OPPCXQ.
9. Михайлова А.А., Хвалей Д.В. География мобильного интернета в приграничных и внутренних регионах России // Балтийский регион. 2023. Т. 15, №3. С. 140 – 166. doi: 10.5922/2079-8555-2023-3-8.
10. Нефедова Т.Г. Сельская местность на удаленных подступах к Москве // ЭКО. 2019. №4 (538). С. 50 – 70. EDN: CNNGET.
11. Нефедова Т.Г., Баскин Л.М., Покровский Н.Е. Эволюция пространства сельских территорий Ближнего Севера (кейс Мантуровского района Костромской области) // Социологические исследования. 2021. №12. С. 124 – 134. doi: 10.31857/S013216250016852-0.
12. Нефедова Т.Г., Медведев А.А. Сжатие освоенного пространства в Центральной России: динамика населения и использование земель в сельской местности // Известия Российской академии наук. Сер. географическая. 2020. 84 (5). С. 645 – 659. doi: 10.31857/S258755662005012X.
13. Оборин М.С. Цифровые технологии как фактор экономической безопасности сельскохозяйственного производства // Тенденции развития мировой торговли в XXI веке : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. Пермь, 2023. С. 208 – 214. EDN: SJNDQB.
14. Хвалей Д.В. Влияние пространственных факторов на диффузию мобильного интернета в сельской местности // Псковский регионологический журнал. 2023. Т. 19, №2. С. 52 – 64. doi: 10.37490/S221979310025333-9.
15. Чернега А.А. «Сила местных сообществ»: практики, механизмы и модели участия жителей в социокультурном развитии территории (на примере малых населенных пунктов Вологодской области) // Журнал социологии и социальной антропологии. 2020. №23 (3). С. 51 – 77. doi: 10.31119/jssa.2020.23.3.3.
16. Arion F., Harutyunyan G., Aleksanyan V. et al. Determining Digitalization Issues (ICT Adoption, Digital Literacy, and the Digital Divide) in Rural Areas by Using Sample Surveys: The Case of Armenia // Agriculture. 2024. №14 (2). doi: 10.3390/agriculture14020249.
17. Diana M., Mascia M., Tomczyk Ł., Penna M. The Digital Divide and the Elderly: How Urban and Rural Realities Shape Well-Being and Social Inclusion in the Sardinian Context // Sustainability. 2025. №17. doi: 10.3390/su17041718.
18. Farinha C., Martins F. 5G Internet in Rural Areas: Impacts, Challenges and Sustainable Strategies for Development // Revista de Gestão Social e Ambiental. 2025. №19. Art. №e011106. doi: 10.24857/rgsa.v19n1-177.
19. Hu Y., Sun S., Chen Y., Yang Z. Role and challenges of rural tourism in promoting sustainable rural development // International Theory and Practice in Humanities and Social Sciences. 2025. №2. P. 16 – 30. doi: 10.70693/itphss.v2i3.145.
20. Ofori A., Keaveney K., Campo A., Robinson D. Rural Transformation Through Digitalisation? Understanding the Digital in the Context of Rural Change // European Countryside. 2025. №17. P. 91 – 110. doi: 10.2478/euco-2025-0005.
21. Salemin K., Strijker D., Bosworth G. Rural development in the digital age: A systematic literature review on unequal ICT availability, adoption, and use in rural areas // Journal of Rural Studies. 2017. №54. P. 360 – 371. doi: 10.1016/j.jrurstud.2015.09.001.
22. Salemin K., Townsend L., Chapman P. The remapping of rural digitalisation: A just-rural narrative review // Journal of Rural Studies. 2025. №113. Art. №103499. doi: 10.1016/j.jrurstud.2024.103499.



23. Shen X. Digitalization in Rural Revitalization: A Qualitative Investigation of Challenges // Frontiers in Artificial Intelligence and Applications. 2023. Vol. 376: Digitalization and Management Innovation II. P. 203 – 208. doi: 10.3233/FAIA230732.

24. Slee B., Hopkins J. Place-Based Collaborative Action as a Means of Delivering Goods and Services in Rural Areas of Developed Economies // World. 2024. №5. P. 506 – 526. doi: 10.3390/world5030026.

Об авторе

Дмитрий Витальевич Хвальей – асп., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: hvaley_gusev@mail.ru

ORCID: 0000-0001-9701-9442

SPIN-код: 8980-0630

55

D. V. Hvaley

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE LEVEL OF DIGITALIZATION OF RURAL AREAS IN RUSSIA (USING THE EXAMPLE OF THE CENTRAL FEDERAL DISTRICT)

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

Received 22 April 2025

Accepted 28 June 2025

doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-3

To cite this article: Hvaley D. V., 2025, Comprehensive assessment of the level of digitalization of rural areas in Russia (using the example of the Central Federal District), *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural Sciences*, №3. P. 39 – 55. doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-3.

The aim of the article is to assess the current level of digitalization in rural areas of the regions of the Central Federal District of Russia. A comprehensive methodology for evaluating the level of digitalization has been developed, which includes 12 indicators grouped into three categories: the development of ICT infrastructure, digital community, and digital services. The indicator of rural digitalization is represented by an integral index (I_{DRA}). The index was calculated using statistical data and open data from mobile network operators as of 2023. The study revealed significant disparities in the digital development of rural territories. A typology of the regions of the Central Federal District has been proposed, identifying three types: advanced, moderate, and lagging. The advanced group includes Moscow, Vladimir, Bryansk, Voronezh, Tambov, and Kursk regions, while Tver region is classified as lagging. To overcome digital inequality, a differentiated approach is proposed, which includes modernization of ICT infrastructure, development of public-private partnerships, and the introduction of digital mentoring programs. The results obtained are of considerable significance for shaping targeted digitalization policies for rural territories in Russia.

Keywords: rural digitalization, digital divide, rural community, level of digitalization, rural typology

The author

Dmitry V. Hvaley, PhD student, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: hvaley_gusev@mail.ru

ORCID: 0000-0001-9701-9442

SPIN-код: 8980-06300

УДК 911.7

Д. Н. Чертков

**ДИНАМИКА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ
РЕГИОНОВ СЗФО В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ
АВТОДОРОЖНОЙ СЕТИ**

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

Поступила в редакцию 12.04.2025 г.

Принята к публикации 05.06.2025 г.

doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-4

56

Для цитирования: Чертков Д. Н. Динамика социально-экономического развития регионов СЗФО в условиях развития автодорожной сети // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2025. №3. С. 56 – 69. doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-4.

Исследуется влияние развития сети автомобильных дорог на динамику социально-экономических показателей регионов Северо-Западного федерального округа в контексте реализации Стратегии пространственного развития России. На основе корреляционного анализа данных за период 2007–2023 гг., включающего 22 индикатора динамики социально-экономических маркеров и 6 параметров автодорожной инфраструктуры, выявлены ключевые закономерности взаимодействия транспортной сети с динамикой регионального развития. Использование метода ранговой корреляции Спирмена позволило определить силу и направленность связей, интерпретированных с учетом физико-географических и экономических особенностей субъектов. Исследование подтверждает, что транспортная инфраструктура служит катализатором пространственного развития, однако ее эффекты варьируются в зависимости от экономической специализации и пространственных ограничений. Результаты могут быть использованы для оптимизации региональной транспортной политики и реализации целей национальной стратегии.

Ключевые слова: транспортная инфраструктура, социально-экономические показатели, Северо-Западный федеральный округ, пространственное развитие регионов

Введение

Стратегия пространственного развития территорий Российской Федерации, изложенная в [2], определяет цели и задачи, поставленные перед субъектами для формирования сбалансированной системы расселения, территориальной организации экономики и обеспечения национальной безопасности [15]. Экономическое пространство современной России характеризуется высоким уровнем неоднородности, фрагментарности и несбалансированности. Результатом такой ситуации явилось формирование негативных эффектов, которые заключаются прежде всего в значительном превосходстве одних регионов над другими [15].



Для нивелирования указанных разногласий предлагается использовать автомобильные дороги как векторы развития территорий. С этой целью в исследовании предлагается решение проблемы определения характера влияния показателей дорожной сети на динамику индексов социально-экономического прогресса путем реализации следующих задач:

- определение основных индексов социально-экономического развития;
- определение значимых в контексте исследования показателей сети автомобильных дорог региона исследования;
- сбор статистических показателей для заданного временного интервала;
- проведение корреляционного анализа вышеобозначенных показателей;
- обоснование причин возникновения выявленных корреляционных связей.

57

Исследование проведено в отношении Северо-Западного федерального округа, в значительной степени подверженного влиянию геополитических и международных кризисных ситуаций в силу своих физико-географических характеристик. Закрытые границы в период пандемии COVID-19 и беспрецедентное санкционное давление со стороны приграничных государств послужили не только причиной социально-экономических изменений, но и стимулом к переориентации транспортных потоков на обслуживание импортозамещения и внутреннего товарооборота.

СЗФО представляет собой ключевой регион как с точки зрения географического положения, так и в контексте экономической значимости для страны. Важной составляющей транспортной инфраструктуры этого округа является сеть автомобильных дорог, которая способствует развитию экономики, улучшению социальной связанности населенных пунктов и интеграции с другими регионами России и зарубежья. Сетевое взаимодействие автодорог влияет на оперативность перевозок, доступность удаленных территорий и благосостояние населения, играя ключевую роль в укреплении социально-экономических связей [26].

В рассматриваемой парадигме автомобильный транспорт с учетом гибкости и широты возможностей стал связующим звеном между производством и конечным потребителем. Автомобильный транспорт удобен для перевозок в рамках соседних регионов из-за отсутствия необходимости в дорогостоящих логистических разгрузочных площадках, стоимости и скорости перевозки. Помимо этого, автомобильный транспорт является участником практически любой интермодальной и мультимодальной перевозки [21].

В условиях напряженной геополитической обстановки остро стоит вопрос поиска и определения факторов, способствующих поддержанию курса правительства страны на повышение экономического суверенитета, пространственное развитие и повышение привлекательности регионального туризма [28]. Использование автомобильных дорог как векторов пространственного развития способствует решению проблем



пространственно-временной организации общества, что, в свою очередь, позволяет существенно повысить конструктивный уровень территориальных исследований [23]. Актуальность исследования объясняется злободневностью совокупности обозначенных событий и их эффектов, а научная новизна подтверждается отсутствием публикаций по указанному направлению.

Материалы и методы исследования

Для решения поставленных задач применена совокупность методов, основными из которых являются сравнительно-географический метод, историко-географический, метод выборочного статистического анализа путем определения ранговой корреляции по методу Спирмена. Статистические данные получены посредством анализа материалов ежегодных докладов региональных управлений Федеральной службы государственной статистики. Их обработка проводилась с использованием программного обеспечения MS Excel.

Информационную базу исследования составили литературные, нормативные, статистические, картографические источники, данные Министерства транспорта Российской Федерации, Федерального дорожного агентства и его подведомственных федеральных казенных учреждений, годовые отчеты и плановые документы по развитию транспортной инфраструктуры, информационные ресурсы крупных транспортных компаний и логистических операторов.

Результаты

Оценка влияния автодорожной сети на социально-экономическое развитие региона требует комплексного подхода, включающего анализ ряда важных для экономической сферы параметров. Эти показатели непосредственно влияют на эффективность логистических цепочек, оперативность поставок, уровень и качество жизни населения. Также немаловажным фактором является роль автомобильных дорог в создании и поддержании рабочих мест, улучшении социальной инфраструктуры, обеспечении устойчивого развития территорий, особенно в отдаленных районах.

Ниже представлены результаты анализа влияния автодорожной сети СЗФО на социально-экономическое развитие региона. В целях, определенных для настоящей работы, использована динамика социально-экономических показателей от года к году за релевантный период. В соответствии с положениями стратегии пространственного развития для проведения корреляционного анализа определены следующие показатели, имеющие особое значение для регионального развития:

- численность постоянного населения;
- численность безработных, зарегистрированных в государственных учреждениях службы занятости населения;
- численность пенсионеров;



- реальные располагаемые доходы населения;
- реальная начисленная заработка плата одного работника;
- реальный размер назначенных пенсий;
- валовой региональный продукт;
- инвестиции в основной капитал;
- индекс промышленного производства;
- индекс производства продукции сельского хозяйства в хозяйствах всех категорий;
- объем ввода в действие общей площади жилых домов;
- грузооборот транспорта общего пользования;
- пассажирооборот транспорта общего пользования;
- оборот розничной торговли;
- оборот общественного питания;
- платные услуги населению.

59

Ввиду распространенности и интегрированности автомобильного транспорта в социально-экономическую жизнь – от негабаритных перевозок между регионами до обеспечения функционирования социально-значимых институтов – важно выявить характер влияния автомобильных дорог на регион размещения. Сеть автомобильных дорог, определяя направления территориального развития, способствует удовлетворению потребностей государственных и частных производств в доступных транспортных услугах, а следовательно, участвуя в устойчивом развитии, вносит вклад в улучшение качества жизни населения и экономические показатели региона.

Автомобильный транспорт активно замещает железнодорожные перевозки в малых и средних объемах, особенно в регионах с ограниченной транспортной инфраструктурой, и выполняет важную роль в логистических цепочках, соединяя морские и железнодорожные узлы с конечными потребителями.

Обеспечение связанности всех видов транспортной инфраструктуры является приоритетной целью не только для развития товарооборота, но и для улучшения социально-экономических условий – поддержания пространственного развития территорий, создания рабочих мест и попутного улучшения транспортной инфраструктуры [24]. Федеральным дорожным агентством планируется более чем в 2 раза увеличить возможности транспортной сети по пропускной способности, что обеспечит еще больший рост грузооборота. Открытие транспортного коридора позволит вывести товары, производимые в СЗФО, на осваиваемые нашей страной новые внешние рынки дружественных стран. При этом на территорию Северо-Запада приходится четверть протяженности нового коридора [19; 24], что свидетельствует как о существенной роли сети автомобильных дорог СЗФО в критически значимой для промышленности России инфраструктуре, так и о важности производств, расположенных на севере европейской части страны.

В рамках исследуемого региона автомобильный транспорт выполняет распределющую роль. Густоразветвленная сеть автомобильных дорог обеспечивает доставку грузов из логистических хабов до мест ко-



нечного потребления и организует перемещение населения в частном порядке [17]. Кроме того, от удобства и качества автодорожной сети зависят мигрирующие миграции и предпочтения при выборе места работы.

При этом следует отметить значительное улучшение качественного состояния автомобильных дорог в целом по стране. Так, с 2002 г. протяженность федеральных направлений, отвечающая нормативным требованиям, увеличилась с 38 до 73 %, что стало возможным в том числе благодаря увеличению бюджета на перераспределение направлений по уровню значимости между органами исполнительной государственной власти. Существенно изменилась и дорожная сеть регионального значения, обеспечивающая взаимосвязь на уровне, следующем за федеральными магистралями. Нормативным требованиям к транспортно-эксплуатационным показателям соответствуют 53 % региональных дорог и более 82 % дорог в крупнейших городских агломерациях. За 2004 – 2023 гг. построено и реконструировано 6,5 тыс. км федеральных дорог и более 174 км искусственных сооружений, на региональной сети этот показатель превысил 30 тыс. км. Активными темпами ведутся работы по капитальному ремонту: с 2010 г. проведены работы на почти 100 тыс. км федеральных дорог и почти 3 тыс. км мостовых сооружений [19].

В связи с определяющим значением количественных и качественных показателей автодорожной сети при оценке ее вклада в социально-экономическое развитие региона определены следующие индикаторы для корреляционного анализа в том числе изложенные и описанные в [22; 28], аналогично маркерам регионального развития приведенные к относительным показателям от года к году за релевантный период:

- общая протяженность автомобильных дорог;
- плотность автомобильных дорог с твердым покрытием;
- протяженность автомобильных дорог с твердым покрытием;
- протяженность автомобильных дорог с усовершенствованным твердым покрытием;
- удельный вес дорог с твердым покрытием в общей протяженности автомобильных дорог;
- удельный вес дорог с усовершенствованным покрытием в протяженности автомобильных дорог с твердым покрытием.

Для решения задач, поставленных в рамках исследования, важно оценить динамику рассматриваемых показателей в релевантном временному интервале. Активные капиталовложения в автомобильные дороги начались с формирования Федерального дорожного агентства в 2004 г., а влияние первых реализованных объектов стало очевидным начиная с 2007 г. [7; 8]. Социально-экономические маркеры регионов также приведены к выбранному периоду.

Анализ проведен в соответствии с современными методологическими требованиями, описанными в [14; 18; 20; 25]. Выполнен сбор данных, обеспечивающих полноту представленной выборки. В свете анализа соответствия развития автодорожной сети стратегии пространственного развития опорных населенных пунктов релевантным являет-



ся выбор показателей, описываемых официальными источниками: территориальными органами Росстата, открытыми геопорталами дорожной инфраструктуры [29; 30]. Для 11 анализируемых субъектов СЗФО собраны и составлены в массив данные по 22 показателям во временном интервале с 2007 по 2023 г.

Для выбора метода проведения корреляционного анализа и обеспечения валидности результатов проведена проверка нормальности распределения данных. Для поставленных целей и объема выборки выполнен тест Шапиро – Уилка, который продемонстрировал отклонение от гауссовой для 60 % показателей при уровне значимости $\alpha=0,05$ [1]. По полученным результатам отдано предпочтение непараметрическому методу корреляционного анализа – определению коэффициентов ранговой корреляции Спирмена. При этом сила корреляций интерпретирована по шкале Эванса, выделяющей слабые ($|\rho| < 0,3$), умеренные ($0,3 \leq |\rho| < 0,5$) и сильные ($|\rho| \geq 0,5$) связи. Результаты с учетом значимости связи для каждого региона представлены в таблице.

Результаты корреляционного анализа связи динамики социально-экономических показателей с динамикой показателей автодорожной сети СЗФО с учетом значимости коэффициентов

Регион исследования	Социально-экономические показатели	Динамика показателей автодорожной сети					
		Общая протяженность	Плотность дорог с твердым покрытием	Протяженность дорог с твердым покрытием	Протяженность дорог с усовершенствованным покрытием	Удельный вес дорог с твердым покрытием в общей протяженности	Удельный вес дорог с усовершенствованным покрытием в протяженности дорог с твердым покрытием
Республика Карелия	Пенсионеры	0,53				0,59	
	С/х производство	0,54					-0,68
	Пассажирооборот						0,58
Республика Коми	Доходы	0,60					
	ВРП		-0,53				
	Пром. производство		-0,56				
	Общепит	0,52				-0,58	
Архангельская область	Пенсионеры	0,68	0,57	0,54	0,60		
	Доходы		0,57	0,56			
	Реальная з/п		0,72	0,73			
	С/х производство	0,67	0,55	0,53	0,52		
	ВРП						0,53
	Розничная торговля	0,59	0,78	0,76	0,52		



Окончание табл.

Регион исследования	Социально-экономические показатели	Динамика показателей автодорожной сети				
		Общая протяженность	Плотность дорог с твердым покрытием	Протяженность дорог с твердым покрытием	Протяженность дорог с усовершенствованым покрытием	Удельный вес дорог с твердым покрытием в общей протяженности
Вологодская область	Пенсионеры				0,51	
	С/х производство	-0,54	-0,60	-0,57		0,59
	Розничная торговля	0,60	0,60	0,58		-0,62
Калининград-ская область	Доходы	-0,53				
	ВРП	-0,55				
	Общепит	-0,56	-0,51	-0,53		
	Платные услуги	-0,50				
Ленинградская область	Инвестиции в ОК				0,59	
	Пассажирооборот		0,53	0,51		
	Общепит			0,52		-0,59
Мурманская область	Население					0,58
	Пенсионеры	-0,55				
	Доходы					-0,69
Новгородская область	Пенсионеры	0,68	0,60	0,60		
	Инвестиции в ОК					-0,51
	Пассажирооборот	0,51	0,55	0,55	0,76	
Псковская область	Реальная з/п					-0,53
	Объем ввода жилых площадей					0,77
	Общепит		0,53	0,53		
г. Санкт-Петер-бург	Население	0,69				
	Пенсионеры	-0,76	-0,70	-0,70	-0,64	
	Грузооборот					0,77
	Пассажирооборот	0,70	0,64	0,64		
Ненецкий авто-номный округ	Население					0,54
	Пенсионеры		0,55	0,59		
	Пенсии		-0,75	-0,81	-0,55	

Составлено по: [2; 3; 5 – 11].



Определенные корреляционные коэффициенты позволяют выявить как общие тенденции для СЗФО, так и региональные особенности влияния транспортной инфраструктуры на динамику социально-экономических показателей субъектов.

Для Карелии, характеризующейся достаточно суровым климатом, разреженной сетью населенных пунктов и особенностями рельефа, значительно удорожающими прокладку транспортных магистралей иных типов [13], наблюдаются положительные связи между индексом производства сельскохозяйственной продукции и плотностью дорог с твердым покрытием. При этом удельный вес дорог с усовершенствованным покрытием не так важен. Автомобильные дороги Карелии отличаются извилистостью и серпантинобразным профилем, что не позволяет повышать скорость перевозок даже с учетом качества покрытия. Обратная корреляция в данном случае с учетом сложности проведения строительства и организации на его период дорожного движения свидетельствует о необходимости ускоренного проведения работ для нейтрализации отрицательного эффекта от усложнения логистики. Противоположная ситуация выявлена в отношении пассажирооборота. Автовокзалы республики размещены преимущественно в крупных городах, обеспеченных федеральными магистралями, избавленными от подобных неудобств.

В Республике Коми, характеризующейся специфической экономической структурой, наблюдаются значимые корреляции: положительная связь между доходами и общей протяженностью сети и отрицательные корреляции динамики ВРП и промышленного производства с показателями плотности дорог с твердым покрытием, а также разнополярная зависимость для оборота сектора общественного питания, что свидетельствует о многоаспектности влияния развития транспортной инфраструктуры на экономические процессы. Данный субъект занимает последнее место в СЗФО по плотности автомобильных дорог, поэтому развитие их протяженности и густоты, безусловно, оказывает положительный эффект на качество жизни населения в регионе. При этом промышленность Коми в основном представлена добывающими отраслями (топливный комплекс и лесная промышленность), использующими преимущественно железнодорожный и трубопроводный виды транспорта. Для обеспечения потребностей населения в республике, как правило, используются зимники, поэтому качество дорожного покрытия не оказывает значимого влияния на качество жизни [16]. Подобные корреляционные связи обнаружены и для Ненецкого автономного округа.

В Архангельской области интеграция социально-экономических и транспортных показателей выражена наиболее однозначно – значимые положительные корреляции демонстрируют, что развитие дорожной сети тесно связано с общим уровнем экономической активности. Это подтверждает эмпирические выводы о влиянии транспортной ин-



фраструктуры на региональное развитие. Транспортный комплекс составляет в Архангельской области 15 % ВРП, и его влияние на ее социально-экономическое положение неоспоримо [12]. Автомобильный транспорт занимает здесь доминирующее положение, поэтому влияние протяженности дорог с твердым покрытием для данного субъекта так велико.

В Вологодской области разноплановость корреляционных зависимостей проявляется в противоположных связях. В силу преобладающего положения обрабатывающих производств в структуре ВРП региона качественное состояние автодорожной отрасли оказывает большее влияние на оборот розничной торговли и состояние населения. Сельскохозяйственная отрасль страдает от развития дорожной инфраструктуры из-за того, что трассы преимущественно проходят через возделываемые угодья, однако удельный вес дорог с усовершенствованным покрытием, улучшая логистику, поддерживает отрасль.

Особенности транспортно-экономического взаимодействия в Калининградской области, являющейся полуанклавом, выражаются в устойчиво отрицательных корреляциях между основными социально-экономическими показателями и характеристиками дорожной сети, что может отражать приоритет альтернативных направлений инвестирования в условиях специфической региональной интеграции с европейским пространством.

В Ленинградской области выявлены смешанные зависимости. Так, инвестиции в основной капитал положительно коррелируют с качественными характеристиками дорожного покрытия, пассажирооборот демонстрирует умеренную положительную связь, а сектор индекса оборота общественного питания — отрицательную, что указывает на разницу во влиянии инфраструктурного развития на различные отрасли экономики.

В Мурманской области, где экстремальные климатические условия и географическая удаленность играют определяющую роль, демографические показатели и доходы имеют слабые или отрицательные корреляции с динамикой дорожной сети, что отражает затруднения в реализации инвестиционных проектов в транспортном секторе региона. Аналогичным образом в Новгородской области положительные зависимости между численностью пенсионеров и пассажирооборотом, с одной стороны, и характеристиками дорожной сети — с другой, указывают на высокую значимость транспортного обслуживания для социально-демографического развития.

В Псковской области положительные корреляции между показателями реальной заработной платы и ввода жилых площадей, с одной стороны, и с показателями дорожной сети — с другой, а также влияние качества дорожного покрытия на сектор общественного питания подтверждают взаимосвязь между качеством транспортной инфраструктуры и уровнем жизни населения.

В столичном регионе, несмотря на положительную связь динамики населения и пассажирооборота с динамикой развития дорожной сети,



наблюдаются выраженные отрицательные корреляции с числом пенсионеров, что может свидетельствовать о специфике урбанистических процессов, где развитие транспортной системы оказывает разное влияние на демографическую структуру и интенсивность грузоперевозок.

Выводы

Проведенный анализ позволил выявить ключевые закономерности, обусловленные физико-географическими особенностями и структурой экономики регионов, входящих в СЗФО. Кроме того, подтверждено значимое влияние развития автодорожной сети на социально-экономическое развитие субъектов СЗФО. При этом характер такого влияния существенно варьируется в зависимости от уникального набора исследованных маркеров.

В диверсифицированных региональных экономиках сеть автомобильного транспорта играет ключевую роль. Ее развитие коррелирует с ростом пассажирооборота, инвестиционной привлекательности и интеграцией удаленных территорий.

Влияние на социально-демографические аспекты наиболее ярко проявляется в сельскохозяйственных и урбанизированных субъектах. Улучшение качества дорожной сети напрямую связано с повышением уровня жизни населения, включая рост реальных доходов, доступность и количество жилья.

На основе выявленных взаимосвязей предлагается при реализации адресных транспортных программ для повышения эффективности и социально-экономического потенциала регионов рассмотреть возможность учета следующих предложений.

Для Республики Карелия и Коми, Мурманской области и Ненецкого автономного округа как регионов с наиболее трудными условиями из рассмотренных, необходимо расширить государственные программы работ по строительству и реконструкции дорог с усовершенствованным покрытием, особенно в удаленных районах. В долгосрочной перспективе это повысит скорость и качество перевозок, минимизирует затраты на логистику и улучшит доступность территорий, что в свете переориентации производственных и туристических потоков особенно актуально. Кроме того, следует особое внимание уделять обеспечению нормативного круглогодичного содержания транспортных направлений, которое вносит вклад не только в развитие, но и в экономическую безопасность и стабильность региона.

В отношении наиболее урбанизированных регионов с достаточно густо развитой сетью (г. Санкт-Петербург, Ленинградская область, Архангельская область) рекомендованы расширение и модернизация дорожной сети с твердым покрытием. При этом важно уделить особое внимание ключевым транспортным коридорам (в том числе международным), способствующим росту экономической активности и инвестиционной привлекательности субъектов. Поэтапная ликвидация участ-



ков с грунтовым сообщением значительно повысит доступность отдаленных, в том числе сельских, территорий и создаст новые векторы пространственного развития. Для поддержания социально-экономического эффекта, вызванного повышением качества автодорожной инфраструктуры, следует формировать предпосылки для стабилизации и постепенного улучшения динамики капиталовложений в пассажирские перевозки, что положительно скажется на социальном благополучии населения с учетом существующих урбанистических тенденций.

Применительно к регионам с большой долей сельскохозяйственной спецификации (Вологодская, Псковская и Новгородская области) при территориальном планировании предлагается обеспечить сбалансированное развитие автомобильных дорог с сохранением сельхозугодий при выборе вариантов прохождения трасс. Формирование густой дорожной сети, обеспечивающей выявленную нехватку дорог на межселенных территориях, позволит не только увеличить динамику социально-экономических показателей, но и косвенно поддержать производство региональной продукции.

Особый случай представляет Калининградская область, где отрицательные корреляции отражают приоритет транзитных международных коридоров над внутренней дорожной сетью, что характерно для полуанклавных территорий с интеграцией в европейское экономическое пространство.

Таким образом, вклад автодорожной инфраструктуры в социально-экономическое развитие СЗФО определяется балансом между физико-географическими ограничениями, структурой региональной экономики и демографическими трендами. При планировании транспортного развития следует учитывать цели пространственного развития страны. Результаты исследования подчеркивают необходимость адресной транспортной политики, учитывающей региональную специфику для максимизации мультиплекативного эффекта на ВРП и социальное благополучие.

Список литературы

1. Shapiro S.S., Wilk M.B. An analysis of variance test for normality // Biometrika. 1965. Vol. 52, №3-4. P. 591 – 611.
2. Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2036 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 13 февраля 2019 г. №207-р). URL: <http://static.government.ru/media/files/UVAIqUtT08o60Rkt0OXl22jAe7irNxc.pdf> (дата обращения: 10.03.2025).
3. Регионы России. Социально-экономические показатели : стат. сб. // Федеральная служба государственной статистики (Росстат). М., 2023. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения: 22.03.2025).
4. Доклад о социально-экономическом положении Архангельской области. 2023 // Архангельскстат. URL: https://arhangelskstat.gks.ru/publication_collection/2023 (дата обращения: 25.03.2025).
5. Социально-экономическое развитие Вологодской области : стат. сб. // Вологдастат. 2023. URL: <https://volgdastat.gks.ru/publications> (дата обращения: 23.03.2025).



6. Социально-экономическое развитие Калининградской области. 2023 // Калининградстат. URL: <https://kaliningradstat.gks.ru/folder/64610> (дата обращения: 26.03.2025).
7. Статистический ежегодник Республики Карелия. 2023 // Карелиястат. URL: https://kareliastat.gks.ru/publications/statistical_yearbook (дата обращения: 20.03.2025).
8. Основные показатели социально-экономического развития Мурманской области. 2023 // Мурманскстат. URL: <https://murmanskstat.gks.ru/news/document/152654> (дата обращения: 21.03.2025).
9. Статистический ежегодник Новгородской области. 2023 // Новгородстат. URL: https://novgorodstat.gks.ru/publications_collection (дата обращения: 25.03.2025).
10. Социально-экономическое положение Санкт-Петербурга и Ленинградской области в 2022 году. 2023 // Петростат. URL: https://petrostat.gks.ru/storage/mediabank/Ежегодник_2022.pdf (дата обращения: 24.03.2025).
11. Основные социально-экономические показатели Псковской области. 2023 // Псковстат. URL: <https://pskovstat.gks.ru/news> (дата обращения: 22.03.2025).
12. Бухарский В. В. Транспортная система региона как каркас экономического развития (на примере Архангельской области) // Актуальные вопросы современной экономики. 2018. №6. EDN: YODUGL.
13. Голубев А. А. История становления транспортного комплекса Северо-Запада Российской Империи // Исторические аспекты науки и техники. 2010. №2010/4. С. 274 – 284. EDN: NTXVRL.
14. Дианов Д. В. Методологические аспекты определения области учета транспортной статистики // Вестник экономической безопасности. 2023. №4. С. 153 – 8. <https://doi.org/10.24412/2414-3995-2023-4-153-158>. EDN: MWAZOQ.
15. Каленицкий О. А. Стратегия пространственного развития Российской Федерации: проблемы и реалии // Вестник Калининградского филиала Санкт-Петербургского университета МВД России. 2021. №4 (66). С. 85 – 89. EDN: YRXJYQ.
16. Кисленко А. Н., Фомина И. В. Тенденции и анализ функционирования предприятий транспорта Республики Коми // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: Вестник научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. 2011. №1. С. 81 – 87. EDN: OOKLYB.
17. Куратова Э. С. Магистрали транспортной сети Европейского Севера России с выходом в Арктику // Транспортное дело России. 2019. №1. С. 144 – 146. EDN: ZCQSJV.
18. Машкин А. Л., Гоголина Е. С. Значение статистики на автомобильном транспорте // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. М., 2016. С. 17. EDN: XILWGJ.
19. Новиков Р. В. Проектное развитие // Дороги России XXI века. 2024. №3 (141). С. 16 – 19.
20. Сигел Э. Ф. Практическая бизнес-статистика. М., 2008.
21. Скрипаль А. С., Сигитова М. А. Аспекты формирования сети транспортно-логистических центров: организационная структура функционирования ТЛЦ // Материалы секционных заседаний 57-й студенческой научно-практической конференции ТОГУ : в 2 т. Т. 2. Хабаровск, 2017. С. 59 – 63. EDN: YSSNEH.
22. Тархов С. А. Россия. География транспорта. Автомобильный транспорт // Большая российская энциклопедия. URL: <https://bigenc.ru/c/rossiia-geografiia-transporta-avtomobil-nyi-transport-1550c5> (дата обращения: 20.01.2025).



23. Федоров Г.М. Формирование центра общественно-географических исследований в БФУ им. И. Канта // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер. Естественные и медицинские науки. 2022. №1. С. 5–18. EDN: CGHOCA.
24. Федулов И.В. Международный транспортный коридор «Север – Юг» в новых geopolитических условиях: современное состояние и перспективы // Восточная аналитика. 2023. Т. 14, №3. С. 81–97. doi: <https://doi.org/10.31696/2227-5568-2023-03-81-97>. EDN: YQIZFQ.
25. Хусаинов Ф.И. Экономическая статистика железнодорожного транспорта. Очерки. М., 2016.
26. Чертков Д.Н. Влияние развития сети автомобильных дорог на социально-экономические характеристики регионов Северо-Западного федерального округа Российской Федерации // География, экология, туризм: новые горизонты исследований : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвященной 90-летию создания факультета географии, геоэкологии и туризма ВГУ. Воронеж, 2024. С. 178 – 184.
27. Шарыгин М.Д. Основные проблемы экономической и социальной географии. Пермь, 1997.
28. Шлихтер С.Б. Транспортные системы в территориальной структуре капиталистического хозяйства // Итоги науки и техники. Сер. География зарубежных стран. Т. 17 / под ред. В.Ф. Худолея. М., 1990.
29. Национальная система пространственных данных. URL: <https://nsdp.gov.ru/> (дата обращения: 10.10.2023).
30. Система контроля за формированием и использованием средств дорожных фондов. URL: <https://скдф.рф/> (дата обращения: 10.03.2025).

Об авторе

Даниил Николаевич Чертков – асп., Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия.

E-mail: daniilaz13@gmail.com

D.N. Chertkov

DYNAMICS OF THE SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF NORTHWESTERN FEDERAL DISTRICT REGIONS IN THE CONTEXT OF ROAD NETWORK EXPANSION

Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia

Received 12 April 2025

Accepted 05 June 2025

doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-4

To cite this article: Chertkov D.N., 2025, Dynamics of the socio-economic development of Northwestern Federal District regions in the context of road network expansion, *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural Sciences*, №3. P. 56 – 69. doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-4.

The study examines the impact of the development of the road network on the dynamics of socio-economic indicators of the regions of the Northwestern Federal District in the context of the implementation of Russia's Spatial Development Strategy. Based on a correlation analysis of data for the period 2007 – 2023, which includes 22 indicators of socio-economic dy-



namics and 6 parameters of road infrastructure, key patterns of interaction between the transport network and regional development dynamics have been identified. The use of Spearman's rank correlation method made it possible to determine the strength and direction of relationships, interpreted with regard to the physical-geographical and economic characteristics of the regions. The study confirms that transport infrastructure acts as a catalyst for spatial development; however, its effects vary depending on economic specialization and spatial constraints. The results may be applied to optimize regional transport policy and achieve the goals of the national strategy.

Keywords: transport infrastructure, socio-economic indicators, Northwestern Federal District, spatial regional development

The author

69

Daniil N. Chertkov, PhD student, Kazan (Volga Region) Federal University, Russia.
E-mail: daniilaz13@gmail.com

М. Ю. Демидионов

**ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ
ПРИМОРСКОГО КРАЯ К РАЗВИТИЮ
ШЕЛЬФОВОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ**

Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена,
Санкт-Петербург, Россия

Поступила в редакцию 30.03.2025 г.

Принята к публикации 26.06.2025 г.

doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-5

70

Для цитирования: Демидионов М. Ю. Оценка пригодности прибрежной зоны Приморского края к развитию шельфовой ветроэнергетики // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2025. №3. С. 70 – 84. doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-5.

Рассматривается вопрос выявления наиболее пригодных территорий прибрежья Приморского края для установки шельфовых ветролектростанций, в том числе с возможностью использования полученной электроэнергии для производства «зеленого» водорода. В качестве метода оценки был выбран метод анализа иерархий в комбинации с нечеткой логикой, применяемой для унификации абсолютных значений параметров. Для анализа отобрано 11 критерiev, оказывающих влияние на пригодность территории к установке ВЭС. Опрошено 6 экспертов в соответствующей области для расчета весов критерiev и произведена унификация абсолютных значений. После получения индекса пригодности из анализа исключены территории, где размещение ВЭС технически нежелательно. В результате наибольшие значения индекса выявлены в Уссурийском заливе, в прибрежной зоне возле портов Восточный и Находка, а также неподалеку от порта Ольга. Развитие ветроэнергетики может стать важным подспорьем в развитии региона как с технологической точки зрения, так и при решении проблем энергодефицита, а производство «зеленого» водорода позволит создать в регионе крупный хаб по торговле водородом между странами Азиатско-Тихоокеанского региона. Все вышеупомянутые пункты отвечают потребностям страны, что выражено в концепции развития водородной энергетики РФ и доктрине энергетической безопасности РФ.

Ключевые слова: шельфовые ВЭС, Азиатско-Тихоокеанский регион, метод анализа иерархий, пространственный анализ, «зеленый» водород, энергетическая безопасность

Введение

С начала XXI в. доля возобновляемой энергетики в энергобалансе ряда мировых стран неуклонно растет. Данная тенденция характерна и для некоторых стран, входящих в состав БРИКС [1]. В Российской Федерации использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) постепенно получает свое развитие, хотя отставание в этой сфере от ряда стран, к примеру от Китая и США, очевидно. Данное явление носит комплексный характер и обусловлено рядом факторов, таких как



поздний старт развития соответствующих сфер энергетики и большие запасы углеводородов, благодаря которым не возникает проблемы в обеспечении энергией собственного населения и решается вопрос экспорта [2]. Однако, как было ранее отмечено, в России наблюдается развитие сфер энергетики, связанных с ВИЭ, чем обусловлена актуальность и своевременность исследований по данной тематике. Промышленное развитие рассматриваемой сферы выражается в реализации таких амбициозных проектов, как Кольская ВЭС, являющаяся крупнейшей ВЭС за полярным кругом.

При развитии соответствующих направлений энергетики в региональном масштабе особую роль приобретают географические исследования, так как по своей сути они обладают необходимой комплексностью, которая позволяет всестороннее оценить различные аспекты затрагиваемого вопроса. В связи с тем что возобновляемая энергетика, как никакая другая, связана с географическими процессами и имеет строгую локализацию согласно мере воздействия различных природных сил (скорость ветра, приход солнечной радиации и пр.), при проведении исследований, направленных на оценку пригодности и потенциала территории к использованию ВИЭ, именно географическая наука приобретает экзистенциальный характер, что отчасти отражает концепцию географического неодетерминизма. Данное утверждение подкрепляется многочисленными исследованиями, затрагивающими вопросы возобновляемой энергетики и опирающимися на географический базис.

Одним из важных направлений в подобных исследованиях является использование группы методов мультикритериального анализа при определении оптимальных локаций для размещения объектов энергетики. При использовании методов, входящих в указанную группу, оценка производится на основе данных различных критериев (физико-географических и экономико-географических), складывающихся в целостную картину для каждой отдельной территории. В РФ подобные исследования проводились для ряда регионов. Одним из наиболее заметных среди них стала кандидатская диссертация Т.Ю. Горбуновой по оценке потенциала использования ВИЭ на юго-восточных территориях Республики Крым [3]. Помимо оценки собственно потенциала, в данной работе отдельное внимание уделено геоэкологическим последствиям, в частности сокращению выбросов CO₂. Также можно выделить исследование по оценке потенциала развития ветровой и солнечной энергетики острова Сахалин [4]. Некоторые аспекты солнечной энергетики Мурманской области рассматривались в работе Н.И. Лазарева и Н.М. Кузнецова [5]. Кроме того, стоит отметить масштабную деятельность НИЛ возобновляемых источников энергии МГУ [6].

Отдельной темой является поиск оптимальных локаций для размещения объектов генерации электроэнергии с использованием ВИЭ на шельфовых ветроэлектростанциях (ВЭС). Данный вопрос подробно изучается в зарубежной литературе. Среди подобных исследований отметим работы по оценке прибрежных территорий Мексики [7], Турции [8; 16], Марокко [12], Северной Ирландии [13], Южной Африки



[14], Греции [15], Балтийского моря [9], залива Мэн [10]. Выделяется работа Х. Диаса и др. [11], в которой представлен сравнительный анализ различных методов из группы мультикритериального анализа. Исследование производилось на основе данных прибрежных территорий Шотландии и острова Мадейра.

Некоторые из вышеупомянутых исследований направлены не только на оценку собственно шельфовой ветроэнергетики, но и на рассмотрение ее в соединении с возможностью производства «зеленого» водорода, то есть водорода, получаемого методом электролиза с использованием электроэнергии, источником которой являются ВИЭ. Актуальность рассмотрения данного вопроса в совокупности с вопросом использования шельфовых ВЭС заключается в возможности создания единой системы, включая портовую инфраструктуру для последующего экспорта водорода. В свою очередь, морской метод доставки водорода представляется наиболее выгодным, когда речь идет о больших расстояниях [17]. Кроме того, шельфовая зона отличается более стабильными и высокими скоростями ветра, что критически важно для функционирования ВЭС.

В отечественной литературе исследования, посвященные поиску оптимальных локаций для размещения шельфовых ВЭС, встречаются крайне редко, хотя это направление является крайне перспективным. Данный тезис подтверждается наличием Концепции развития водородной энергетики РФ [18], в которой обосновывается необходимость создания в РФ как минимум трех кластеров по производству «зеленого» водорода, в том числе «Восточного». Учитывая приморское положение Дальнего Востока, а также постепенную переориентацию экспорта России на Азиатско-Тихоокеанский рынок, можно предположить, что именно это направление будет наиболее перспективным для соответствующих изысканий.

Представленное исследование направлено на поиск оптимальных локаций для расположения шельфовых ВЭС с возможной ориентацией на производство «зеленого» водорода в прибрежной зоне Приморского края.

Материалы и методы

Основным методом для расчета степени пригодности территории к развитию шельфовой ветроэнергетики стал Метод анализа иерархий (МАИ), предложенный Т. Саати [19] и широко используемый в подобных исследованиях. Суть метода заключается в расчете коэффициента пригодности территории на основе матриц попарного сравнения, составленных экспертами в своей области. В матрицах представлены критерии, оказывающие влияние на расположение соответствующих типов электростанций. Данные критерии представлены как физико-географическими факторами (к примеру, скорость ветра), так и экономико-географическими (инфраструктурными). Эксперты заполняют матрицы в зависимости от того, насколько важно учитывать тот или иной



критерий при размещении электростанции. Оценка производится на основе девятивалльной шкалы сравнения (табл. 1), разработанной Т. Саати [19].

Таблица 1

Шкала сравнения по Т. Саати

Описание значимости	Значения	Инверсивные значения
Одинарная значимость	1	1
Умеренное превосходство	3	1/3
Сильное превосходство	5	1/5
Очень сильное превосходство	7	1/7
Абсолютное превосходство	9	1/9
Промежуточные значения	2, 4, 6, 8	1/2, 1/4, 1/6, 1/8

73

После получения матриц от экспертов производится их усреднение. Существует дискуссия по поводу того, какой метод для усреднения значений матрицы более эффективен. В данном исследовании было принято решение использовать среднее геометрическое, так как оно позволяет сохранить в действии правило согласованности матрицы, что положительно влияет на итоговую точность результата [20]. На основе полученной матрицы рассчитываются веса критерии.

На следующем этапе необходимо произвести проверку матрицы на согласованность, чтобы исключить любые чрезмерные расхождения в мнениях экспертов. Для проведения данной операции необходимо получить коэффициент согласованности матрицы (CR). Его значение не должно превышать 0,1, в противном случае необходимо пересмотреть составленные экспертами матрицы. Расчет коэффициента происходит следующим образом:

$$CR = \frac{\left(\frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \right)}{RI}, \quad (1)$$

где n — размерность матрицы, λ_{\max} — наибольшее собственное значение матрицы, RI — среднее значение индекса однородности в зависимости от размерности матрицы (табл. 2).

Таблица 2

Индекс однородности матрицы попарного сравнения в зависимости от размерности матрицы

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0	0,52	0,89	1,12	1,26	1,36	1,41	1,46	1,49	1,52

После получение весов критерии в ряде подобных исследований производится унификация их абсолютных значений. Стандартизация



необходима в связи с тем, что у ряда критериев разнятся единицы измерения, а также из-за того, что влияние некоторых критериев на результат изменяется нелинейно. В текущем исследовании для решения данной задачи была использована нечеткая логика. Суть метода заключается в расчете степени принадлежности значения к множеству. Данное значение находится в промежутке между 0 и 1. Таким образом, все параметры выбранных критериев приходят к единому знаменателю, что позволяет производить дальнейшие вычисления [21]. При подобном подходе дискуссионным является вопрос о том, какими функциями для унификации, подходящими под понятие нечеткой логики, следует воспользоваться при произведении расчетов для различных критериев.

74

Для настоящего исследования было принято решение использовать три функции, представленные в таблице 3.

Таблица 3

Функции, входящие в инструментарий нечеткой логики, использованные в исследовании

Функция	Уравнение
Сигмоидальная	$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \cos^2 \alpha e^{\alpha} = (1 - \frac{x-a}{b-a}) & a < x < b \\ 1 & x \geq b \end{cases}$
Линейная возрастающая	$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a < x < b \\ 1 & x \geq b \end{cases}$
Линейная убывающая (II)	$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-b}{a-b} & a < x < b \\ 1 & x \geq b \end{cases}$

Были выбраны 11 критериев, которые могут оказывать влияние на размещение шельфовых ВЭС. Стоит отметить, что большинство критериев из данного набора достаточно типично и представлено в большинстве схожих исследований. В качестве примера можно привести скорость ветра — ключевой параметр, определяющий эффективность ВЭС (как обычной, так и шельфовой). В свою очередь, такие критерии (характерные только для исследований, рассматривающих шельфовые ВЭС), как высота волны, встречаются реже, однако их тоже следует принимать во внимание. Вместе с тем чрезмерное количество критериев может повлечь за собой проблемы с согласованностью матрицы из-за слишком большой выборки, поэтому их количество обычно не превышает 15. Критерии, а также параметры унификации, использованные в текущем исследовании, представлены в таблице 4.



Таблица 4

Критерии и параметры унификации

Критерий	Функция унификации	Единицы измерения	Параметр унификации	
			a	b
Скорость ветра	Сигмоидальная	м/с	4	13
Глубина	Линейная убывающая (II)	м	10	80
Пути морского транспорта	Линейная убывающая (II)	Количество сигналов AIS	мин.	макс.
Толщина осадочного слоя	Линейная убывающая (II)	м	мин.	макс.
Расстояние от портов	Линейная убывающая (II)	м	10000	100000
Расстояние от берега	Линейная убывающая (II)	м	10000	100000
Высота волны	Линейная убывающая (II)	м	мин.	макс.
Расстояние от ООПТ	Линейная возрастающая	м	2000	20000
Подводные кабели	Линейная возрастающая	м	500	10000
Расстояние от ЛЭП	Линейная убывающая (II)	м	мин.	120000
Расстояние от аэропортов	Линейная возрастающая	м	15000	макс.

75

Основополагающим критерием для поиска локации для расположения ВЭС является *скорость ветра*. В ряде исследований вместо данного показателя используется плотность энергии ветра — понятие, в которое помимо скорости ветра входит и плотность атмосферы, зависящая от рельефа. Учитывая, что текущие расчеты производятся относительно морских территорий, необходимость принимать во внимание особенности рельефа отпадает, таким образом, можно ограничиться только скоростью ветра. Важно отметить, что для унификации упомянутого критерия используется сигмоидальная функция, а не линейная возрастающая. Данный выбор обусловлен тем, что на практике зависимость скорости ветра и фактической выработки электроэнергии выражается именно сигмоидальной функцией [22]. Параметры унификации введены согласно стандартным техническим характеристикам средней ВЭС, предназначеннной для работы на шельфе: SG 6.0-155 [16]. Скорость ветра анализируется для высоты в 100 метров над уровнем моря.

Глубина напрямую влияет на стоимость строительства ВЭС. В данном исследовании в центре внимания находится сценарий с установкой ВЭС на фундаменте, вследствие чего рассматриваются только глубины до 80 метров [23], хотя существуют и плавающие ВЭС, позволяющие оперировать на больших глубинах. Для унификации была использована линейная убывающая функция, так как меньшая глубина установки ВЭС положительно влияет на снижение стоимости как строительства, так и последующего обслуживания станции. Другим значимым физико-географическим критерием является *высота волны*. Его влияние на расположение ВЭС выражается в повышении стоимости



обслуживания и строительства при большей высоте волн, а также усилении вибраций на фундамент, что негативно сказывается на долговечности конструкции. Зачастую в подобных исследованиях используется такой показатель, как «значительная высота волн» (significant wave height), который определяется как средняя высота волны (от подошвы до гребня) самой высокой трети волн [9; 10]. Таким образом, большинство волн в точке пространства будут равны или ниже самого значения, что позволяет говорить о преобладающей высоте волн. Отдельно стоит отметить критерий *толщина осадочного слоя*. Согласно исследованию М. Тауфик и А. Фекри [12], большая толщина данного слоя повышает стоимость строительства станции, так как вызывает необходимость использовать большее количество материала.

Экономико-географические критерии можно разделить на две условные группы: 1) близкое расположение ВЭС с которыми является преимуществом; 2) в случае которых подобное соседство сказывается негативно. В случае с первыми для унификации использовалась линейная убывающая функция. В число подобных критериев входят *расстояние от портов, расстояние от берега и расстояние от ЛЭП*. Данную группу объединяет тот факт, что близкое расположение к подобной инфраструктуре упрощает логистику и, как следствие, удешевляет производство. Отдельно стоит отметить вопрос о расстоянии до портов. Этот фактор включен в исследование не только с позиции логистики обслуживания ВЭС, но и с идеей потенциального экспорта «зеленого» водорода морским путем. В то же время как от берега, так и от портов должно выдерживаться определенное расстояние, чтобы не создавать проблем для судоходства. В большинстве исследований данное расстояние составляет 10 км. С целью соблюдения интересов судоходства введен и критерий *пути морского транспорта*. Зачастую в подобных исследованиях используется критерий расстояний от путей следования морского транспорта [16; 24]. При подобном подходе вычленяются основные маршруты следования кораблей (линейные) и производится соответствующий расчет буферной зоны. В таком случае при унификации используют различные типы возрастающей функции. Однако для текущего исследования было принято решение отталкиваться от данных о количестве зарегистрированных сигналов AIS в каждой точке, что позволяет более детально выделить зоны не только с активным судоходством, но и с менее интенсивным. Так как в качестве параметра «*a*» при унификации данного критерия было выбрано минимальное значение сигналов, а для «*b*» — максимальное, то в качестве функции также служит линейная убывающая функция.

Использование линейной возрастающей функции обусловлено теми случаями, когда расположение ВЭС рядом с объектом нежелательно. Под подобные критерии подпадают *расстояния от ООПТ, аэропортов (и взлетно-посадочных полос), а также от подводных кабелей*. В случае с аэропортами важным вопросом является то, какую буферную зону необходимо выдерживать от подобной инфраструктуры, так как работа ВЭС создает излишнюю турбулентность. В боль-



шинстве исследований данный показатель варьируется от 3 до 15 километров [12; 14; 25; 26]. В текущем исследовании в целях обеспечения безопасности было принято решение использовать значение в 15 километров.

После расчета весов критериев и унификации их абсолютных значений можно получить индекс пригодности территории к размещению шельфовых ВЭС. Для этого используется взвешенная линейная комбинация:

$$A^{WLC-score} = \sum_{i=1}^n x_i w_i, \quad (2)$$

где $A^{WLC-score}$ — индекс пригодности (0 — наименее пригодные территории, 1 — наиболее пригодные), x_i — унифицированное значение параметров, w_i — вес критерия.

77

Дополнительно необходимо исключить из полученных данных те территории, где соответствующая хозяйственная деятельность невозможна. Параметры, согласно которым производилось исключение, а также источники данных представлены в таблице 5. В результате удалось получить итоговый массив данных, в котором присутствуют как исключенные из анализа территории, так и обладающие различным индексом пригодности. Полученный массив был разделен на классы согласно методике, предложенной в исследовании М. Баржекара, однако их количество изменено на 4. Классы «очень низкий» и «низкий» объединены в один ввиду меньших перспектив развития отрасли на территориях, имеющих подобные индексы пригодности.

Таблица 5

Параметры, согласно которым происходило исключение ряда территорий, а также источники данных

Критерий	Исключенные территории	Источник данных
Скорость ветра	—	Global Wind Atlas
Глубина	> 80 м	Open Topography
Пути морского транспорта	> 100 000 сигналов AIS	World Bank Group
Толщина осадочного слоя	—	GlobeSed
Расстояние от портов	< 10 000 м	NextGIS
Расстояние от берега	< 10 000 м	NextGIS
Высота волны	—	Copernicus
Расстояние от ООПТ	< 2000 м	NextGIS
Подводные кабели	< 500 м	TeleGeography
Расстояние от ЛЭП	—	NextGIS
Расстояние от аэропортов	< 15 000 м	NextGIS



Результаты и обсуждение

Для составления матриц попарного сравнения были опрошены 6 экспертов в области анализа ветроэнергетического потенциала и/или занимающиеся вопросам географических исследований в возобновляемой энергетике. На основе матриц были рассчитаны веса критериев, представленные на рисунке 1. Стоит отметить, что CR составил 0,031, что говорит о высокой степени согласованности матрицы.

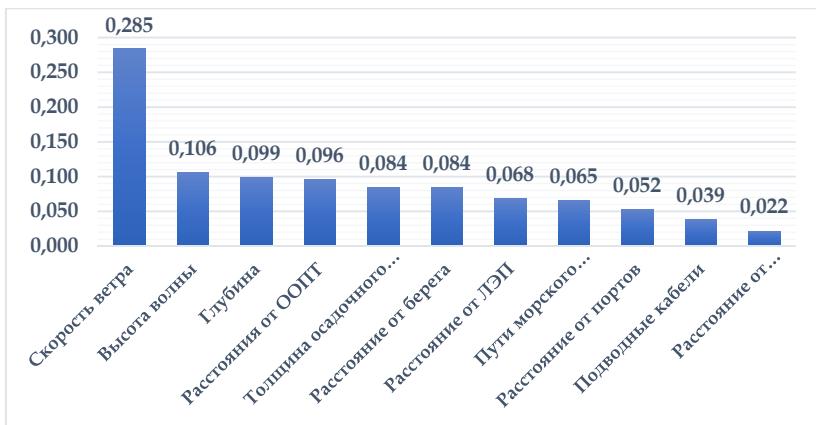


Рис. 1. Веса критериев

Как ожидалось, наибольшим весом обладает критерий *скорость ветра*, что еще раз подтверждает его экзистенциальное значение для размещения ВЭС. Стоит также отметить, что именно такие географические, природные детерминанты, как высота волны и глубина, занимают лидирующие позиции в данном исследовании. Это еще раз подтверждает важность рассмотрения вопросов развития возобновляемой энергетики с позиции географической науки. Необходимо заметить и достаточно значимый вес критерия *расстояние до ООПТ*, что говорит о важности рассмотрения ветровой энергетики не только с позиции эффективности, но и с точки зрения заботы о сохранности окружающей среды.

Результаты расчета индекса пригодности представлены на рисунке 2. Для проведения сравнительного анализа территории последние были разделены на 4 категории, представленные в таблице 6.

Таблица 6

Распределение значений индекса пригодности и их доля в массиве полученных данных

Категория	Значения индекса	Доля значений в общем массиве, %
Установка ВЭС нежелательна	0	82,3
Низкий	0 – 0,5	0,8
Средний	0,5 – 0,7	12,2
Высокий	0,7 – 1	4,7

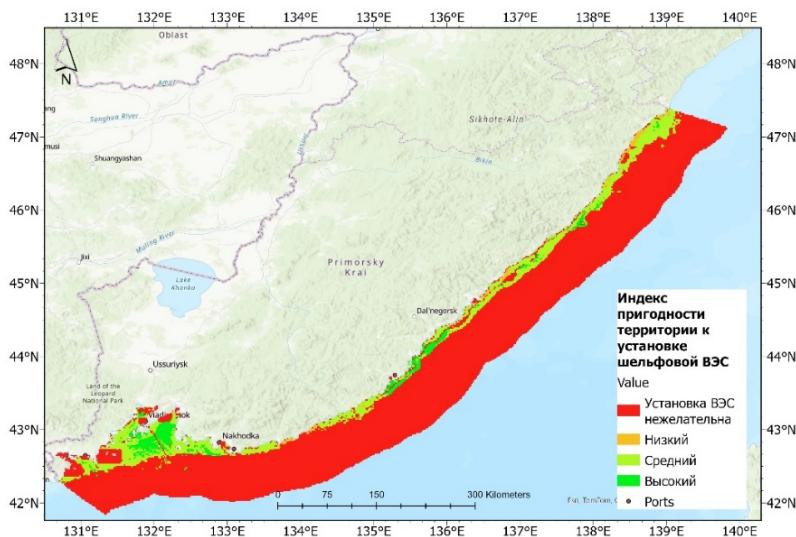


Рис. 2. Индекс пригодности территории к установке шельфовой ВЭС

Согласно полученному массиву, наиболее перспективные территории для размещения шельфовых ВЭС расположены в Уссурийском заливе, а также неподалеку от порта Ольга. В случае с Уссурийским заливом подобные результаты объясняются как достаточно высокими средними скоростями ветра (около 8 м/с, рис. 3), так и высоким уровнем развития соответствующей инфраструктуры.

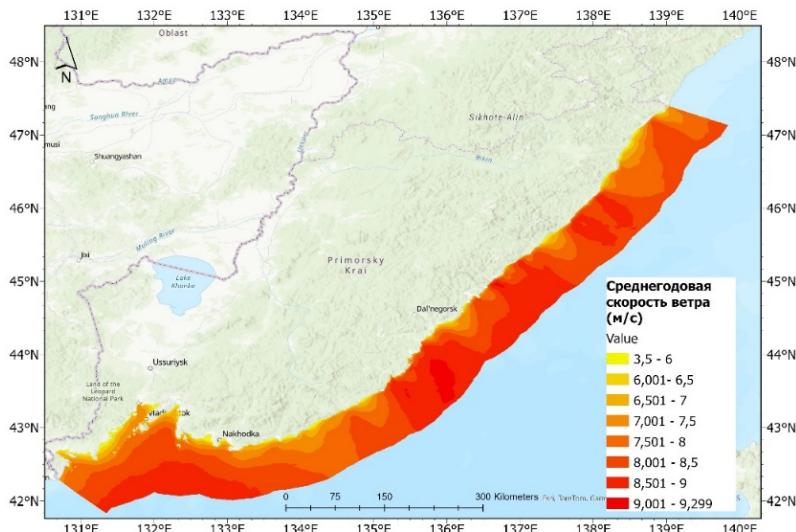


Рис. 3. Среднегодовая скорость ветра

Составлено по данным Global Wind Atlas.



Также на данном участке отмечены сравнительно небольшие значения высоты волн, что, с учетом значительного веса данного критерия согласно мнениям экспертов, достаточно важно. Кроме того, в этом районе расположен порт Владивосток, что станет безусловным подспорьем при реализации сценария развития водородной энергетики региона с использованием электроэнергии, полученной на ВЭС. Однако существенной деталью, которую необходимо учитывать при проектировании соответствующих станций, является активное судоходство в регионе, что выражено наличием проходящей через участок полосы территорий, подпадающих под категорию «установка ВЭС нежелательна». Зона со средними и местами высоким индексом пригодности продолжается на восток в направлении портов Находка и Восточный, однако там не формируется ярко выраженной группировки территорий с высокими значениями индекса, что связано с большими глубинами в данной локации. Несмотря на это, в береговой зоне присутствует полоса, характеризуемая средними и высокими значениями индекса.

Высоким потенциалом могли бы обладать территории возле заливов Посыт и Амурского, однако они были исключены из анализа из-за близости ООПТ – Дальневосточного морского заповедника и Хасанского природного парка.

Как было отмечено ранее, высокие значения характерны и для территорий неподалеку от порта Ольга. Подобные показатели стали следствием совокупности причин, в том числе близости самого порта. При этом в данной локации встречаются высокие значения скорости ветра (вплоть до 9 м/с) относительно других прибрежных зон при глубине до 80 м, что дает серьезное преимущество для рассмотрения данной территории как перспективной для установки комплекса ВЭС.

Высокие значения среднегодовой скорости ветра (рис. 3) характерны и для залива Петра Великого, однако его глубина на отдалении от материка слишком велика. Нельзя забывать и о том, что расположение шельфовой ВЭС на большом отдалении от берега не столь эффективно, и большинство подобных станций локализованы не далее чем в 80–100 километров от берега, согласно исследованию С. Санчеза и др. [23]. Анализ, представленный в данной работе, показывает, что шельфовые ВЭС, расположенные в Азии, обычно размещаются ближе к берегу (до 50 км), чем в Европе, что, скорее всего, связано с различиями в прибрежной батиметрии данных регионов.

Заключение

Суммируя все вышесказанное, можно утверждать, что согласно представленной методике определения индекса пригодности к развитию шельфовой ветроэнергетики на исследуемой территории наиболее перспективно выглядят две зоны. Первая расположена в Уссурийском заливе и тянется до портов Находка и Восточный, постепенно сужаясь. Вторая протягивается полосой неподалеку от порта Ольга.



Если проводить сравнительный анализ, то каждая из зон обладает своими преимуществами и недостатками. Территории, находящиеся в Уссурийском заливе и рядом с ним, имеют весомое преимущество с точки зрения наличия развитой инфраструктуры. Если рассматривать вопрос с позиции не только производства электроэнергии, но и последующего производства «зеленого» водорода, здесь расположено несколько крупных портов, что с учетом меньшей стоимости при транспортировке водорода морским путем на дальние расстояния (характерные для Азиатско-Тихоокеанского региона) может стать большим подспорьем при проведении экспортной политики. Если же не учитывать вопрос «зеленого» водорода, то в упомянутом районе находится несколько крупных поселений, и наличие шельфовой ВЭС позволит произвести диверсификацию энергосистемы региона. Нельзя забывать и о проблеме энергодефицита на Дальнем Востоке, которая понималась в том числе и в рамках Дальневосточного экономического форума.

Территории у порта Ольга выделяются большими скоростями ветра, а также не таким плотным морским трафиком, что, безусловно, является преимуществом для размещения ВЭС. Однако в данном случае размещение подобной станции имеет больший смысл в связи с производством водорода, так как шельфовые ВЭС обычно обладают большой установленной мощностью, которая будет избыточной для рассматриваемого района, если речь идет о прямом потреблении электроэнергии. Впрочем, данный вопрос представляется темой для более подробного экономического анализа.

Подводя итоги, нельзя не затронуть и другие перспективные направления в исследовании развития шельфовой ветроэнергетики региона. Выделение перспективных территорий методом поиска индекса пригодности — один из первоначальных этапов оценки потенциала использования ВИЭ. Важным направлением является моделирование возможных скоростей ветра с использованием вероятностных моделей, в том числе распределения Вейбулла. Такое исследование уже проводилось для расчета потенциала производства электроэнергии и зеленого водорода на Дальнем Востоке, но для ВЭС, которые могут быть расположены на суше [27]. В подобных случаях основой моделирования служат эмпирические данные с существующих метеостанций. При расчетах, производимых для шельфовых ВЭС, перспективно использование данных ERA5 [28; 29]. Также нельзя забывать и об экономико-техническом анализе целесообразности подобного производства, включающем подбор как наиболее эффективных для конкретных условий турбин, так и установок для электролиза. Все подобные исследования в сумме могут дать наиболее приближенную к реальности картину, которая позволит точнее оценить потенциал возможностей использования ВИЭ в регионе.

Дальний Восток является стратегически важным регионом Российской Федерации, и его развитие, в том числе в парадигме возобновляемой энергетики, может стать большим подспорьем в дальнейшем всестороннем развитии страны.



Список литературы

1. Демидионов М.Ю. Альтернативная энергетика стран БРИКС: компараторный анализ // Региональные геосистемы. 2023. Т. 47, №2. С. 205–216. doi: 10.52575/2712-7443-2023-47-2-205-216.
2. Суслов К., Дорошин А., Кабанов В., Переображен Д. Анализ развития солнечной энергетики в России // Энергетическая политика. 2023. №7 (185). С. 26–45. EDN: NIIOLV.
3. Горбунова Т.Ю. Оценка ландшафтного потенциала Юго-Восточного Крыма для использования систем возобновляемой энергетики – солнечной и ветровой : дис. ... канд. геогр. наук. Симферополь, 2019. EDN: ZOWEKE.
4. Демидионов М.Ю. Пространственное моделирование потенциала развития альтернативной энергетики на примере острова Сахалин // Тихоокеанская география. 2023. №4. С. 82–92. doi: 10.35735/26870509_2023_16_8. EDN: PDZYFQ.
5. Lazarev N.I., Kuznetsov N.M. Solar energy for power supply of remote consumers in Murmansk Region // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2024. №40. Р. 55–58. doi: 10.26160/2474-5901-2024-40-55-58.
6. Киселева С.В., Лисицкая, Н.В., Попель О.С. и др. Геоинформационные системы для возобновляемой энергетики (обзор) // Теплоэнергетика. 2023. №11. С. 115–127. doi: 10.56304/S0040363623110073. EDN: SNIADQ.
7. Juárez-Casildo V., Cervantes I., González-Huerta R. de G. Harnessing offshore wind for decarbonization: A geospatial study of hydrogen production and heavy industry utilization in Mexico // International Journal of Hydrogen Energy. 2024. Vol. 83. P. 701–716. doi: 10.1016/j.ijhydene.2024.08.142.
8. Karipoglu F., Ozturk S., Efe B. A GIS-based FAHP and FEDAS analysis framework for suitable site selection of a hybrid offshore wind and solar power plant // Energy Sustainable Development. 2023. Vol. 77. Art. №101349. doi: 10.1016/j.esd.2023.101349.
9. Barzehkar M., Parnell K., Soomere T., Koivisto M. Offshore wind power plant site selection in the Baltic Sea // Regional Studies in Marine Science. 2024. Vol. 73. Art. №103469. doi: 10.1016/j.rsma.2024.103469.
10. Gil-García I.C., Ramos-Escudero A., García-Cascales M.S. et al. Fuzzy GIS-based MCDM solution for the optimal offshore wind site selection: The Gulf of Maine case // Renewable Energy. 2022. Vol. 183. P. 130–147. doi: 10.1016/j.renene.2021.10.058.
11. Díaz H., Loughney S., Wang J., Guedes Soares C. Comparison of multicriteria analysis techniques for decision making on floating offshore wind farms site selection // Ocean Engineering. 2022. Vol. 248. Art. №110751. doi: 10.1016/j.oceaneng.2022.110751.
12. Taoufik M., Fekri A. GIS-based multi-criteria analysis of offshore wind farm development on Morocco // Energy Conversion and Management: X. 2021. Vol. 11. Art. №100103. doi: 10.1016/j.ecmx.2021.100103.
13. Johnston B., Al Kez D., McLoone S., Foley A. Offshore wind potential in Northern Ireland using GIS multi-criteria assessment // Applied Energy. 2025. Vol. 378, Part A. Art. №124764. doi: 10.1016/j.apenergy.2024.124764.
14. Umoh K., Hasan A., Kenjegaliev A. Combined AHP-GIS methodology for floating offshore wind site selection in South Africa // Ocean Engineering. 2025. Vol. 317. Art. №120037. doi: 10.1016/j.oceaneng.2024.120037.
15. Dimitriou I.C., Sarmas, E., Trachanas G.P. et al. Multi-Criteria GIS-based offshore wind farm site selection: Case study in Greece // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2025. Vol. 207. Art. №114962. doi: 10.1016/j.rser.2024.114962.



16. Basaran H.H., Tarhan I. Investigation of offshore wind characteristics for the northwest of Türkiye region by using multi-criteria decision-making method (MOORA) // Results in Engineering. 2022. Vol. 16. Art. №100757. doi: 10.1016/j.rineng.2022.100757.
17. Berna C., Vargas-Salgado C., Alfonso-Solar D., Escrivá-Castells A. Hydrogen production from surplus electricity generated by an autonomous renewable system: Scenario 2040 on Grand Canary Island, Spain // Sustainability. 2022. Vol. 14, №19. Art. №11884. doi: 10.3390/su141911884.
18. Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации : распоряжение Правительства РФ от 05.08.2021 №136-ФЗ. URL: <http://static.gov.ernment.ru/media/files/5JFns1CDAKqYKzZ0mnRADAw2NqcVsexl.pdf> (дата обращения 01.03.2023).
19. Saaty T. The Analytic Hierarchy Process. N. Y., 1980.
20. Krejčí J., Stoklasa J. Aggregation in the analytic hierarchy process: Why weighted geometric mean should be used instead of weighted arithmetic mean // Expert Systems with Applications. 2018. Vol. 114. P. 97 – 106.
21. Metegam I.F.F., Wolff E., Tchinda R. et al. Evaluation of on-grid and off-grid solar photovoltaic sites in Cameroon using geographic information systems, fuzzy logic, and multi-criteria analysis // Energy. 2025. Vol. 318. Art. №134614. doi: 10.1016/j.energy.2025.134614.
22. Hosseini-Doost S.E., Sattari A. Eskandari M. et al. Techno-Economy Study of wind energy in Khvaf in Razavi Khorasan Province in Iran // Journal of Computational Applied Mechanics. 2016. Vol. 47, №1. P. 53 – 66. doi: 10.22059/jcamech.2016.59255.
23. Sanchez S., Lopez-Gutierrez J-S., Negro V., Esteban M.D. Foundations in Offshore Wind Farms: Evolution, Characteristics and Range of Use. Analysis of Main Dimensional Parameters in Monopile Foundations // Journal of Marine Science and Engineering. 2019. Vol. 7, №12. Art. №441. doi: 10.3390/jmse7120441.
24. Vasileiou M., Loukogeorgaki E., Vagiona D. G. GIS-based multi-criteria decision analysis for site selection of hybrid offshore wind and wave energy systems in Greece // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. Vol. 73. P. 745 – 757. doi: 10.1016/j.rser.2017.01.161.
25. Baseer M.A. GIS-based site suitability analysis for wind farm development in Saudi Arabia // Energy. 2017. Vol. 141. P. 1166 – 1176. doi: 10.1016/j.energy.2017.10.016.
26. Schallenberg-Rodriguez J., Montesdeoca N. Spatial planning to estimate the offshore wind energy potential in coastal regions and islands. Practical case: The Canary Islands // Energy. 2018. Vol. 143. P. 91 – 103. doi: 10.1016/j.energy.2017.10.084.
27. Demidionov M. Green hydrogen production from wind energy in Far Eastern Federal District (FEFD), the Russian Federation // Regional Sustainability. 2025. Vol. 6, iss. 1. Art. №100199. doi: 10.1016/j.regsus.2025.100199.
28. Albani A., Syazwani S., Ibrahim M.Z. et al. Three-Parameter Weibull for Offshore Wind Speed Distribution in Malaysia // Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology. 2024. Vol. 39. P. 149 – 158. doi: 10.37934/araset.39.1.149158.
29. Ahmad S., Abdullah M., Kanwal A. et al. Offshore wind resource assessment using reanalysis data // Wind Engineering. 2022. Vol. 45, iss. 4. P. 1173 – 1186. doi: 10.1177/0309524X211069384.



Об авторе

Михаил Юрьевич Демидионов — канд. геогр. наук, доц., Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Россия.

E-mail: demidionovforwork@gmail.com

ORCID: 0009-0009-6853-319X

SPIN-код: 4146-4913

M. Yu. Demidionov

ASSESSMENT PRIMORSKY KRAI COASTAL ZONE SUITABILITY FOR THE OFFSHORE WIND ENERGY DEVELOPMENT

84

The Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, Russia

Received 30 March 2025

Accepted 26 June 2025

doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-5

To cite this article: Demidionov M. Yu., 2025, Assessment Primorsky Krai coastal zone suitability for the offshore wind energy development, *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural Sciences*, №3. P. 70–84. doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-5.

The article addresses the identification of the most suitable coastal areas of Primorsky Krai for the installation of offshore wind farms, including the potential use of the generated electricity for the production of "green" hydrogen. The analytic hierarchy process, combined with fuzzy logic applied for the unification of absolute parameter values, was selected as the assessment method. Eleven criteria influencing the suitability of territories for wind farm deployment were analyzed. Six experts in the relevant field were surveyed to determine the weights of the criteria, and the absolute values were unified. After obtaining the suitability index, areas where wind farm installation was technically undesirable were excluded from consideration. As a result, the highest suitability values were identified in Ussuri Bay, in the coastal zone near the ports of Vostochny and Nakhodka, as well as in the vicinity of the port of Olga. The development of wind energy may serve as an important driver of regional growth both from a technological perspective and in addressing energy shortages, while the production of "green" hydrogen could establish the region as a major hub for hydrogen trade among the Asia-Pacific countries. All of the above correspond to national priorities as outlined in the Concept for the Development of Hydrogen Energy of the Russian Federation and the Energy Security Doctrine of the Russian Federation.

Keywords: offshore wind stations, Asia-Pacific region, Analytic Hierarchy Process, spatial analysis, green hydrogen, energy security

The author

Dr Mihail Yu. Demidionov, Associate Professor, The Herzen State Pedagogical University of Russia, Russia.

E-mail: demidionovforwork@gmail.com

ORCID: 0009-0009-6853-319X

SPIN-код: 4146-4913

УДК 911.373

М. О. Попов

ТИПОЛОГИЯ РЕГИОНОВ РОССИИ ПО РАЗВИТОСТИ РЕГИОНАЛЬНОГО ГАСТРОНОМИЧЕСКОГО БРЕНДА

¹ Российская академия народного хозяйства и государственной службы
при Президенте РФ, Москва, Россия

² ООО «ПОМАТТИ», Калининград, Россия

Поступила в редакцию 22.05.2025 г.

Принята к публикации 28.07.2025 г.

doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-6

85

Для цитирования: Попов М. О. Типология регионов России по развитости регионального гастрономического бренда // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2025. №3. С. 85 – 98.
doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-6.

Представлена оценка устойчивости и вариативности гастрономических брендов регионов России. На основе анализа опыта участия регионов в национальном конкурсе «Вкусы России» в 2020 – 2021 гг., проводимых в регионах России в 2024 и 2025 гг. гастрономических событий, а также информации о гастрономических особенностях российских регионов, представленной на портале TasteAtlas, разработана типология региональных гастрономических брендов. Данная типология учитывает вариативность и сбалансированность бренда и характер его продвижения на национальном и международном уровнях. В результате все регионы РФ разделены на 4 типа (с некоторым количеством подтипов). Для каждого из определенных типов предлагаются практические рекомендации по дальнейшему развитию региональных гастрономических брендов.

Ключевые слова: гастрономический туризм, региональный гастрономический бренд, регионы России, гастрономическое событие, гастрономический фестиваль

Введение

Гастрономический туризм относится к числу молодых, но активно развивающихся туристических направлений. Российский рынок гастрономического туризма имеет высокий потенциал к развитию за счет внутреннего и международного туризма. Последнее в том числе связано с высокой узнаваемостью российской национальной кухни на мировом уровне. Развитию гастрономического туризма в регионах России способствует формирование и продвижение региональных гастрономических брендов, являющихся отражением гастрономической культуры региона. Гастрономический туризм как отдельное направление туризма и отрасль «экономики впечатлений» еще находится на стадии своего активного становления как в мире в целом, так и в России в частности. В первую очередь это связано с относительной молодостью



данного направления: впервые термин «кулинарный туризм» был использован в 1998 г. американским исследователем Люси Лонг, и лишь в 2012 г. термин «гастрономический туризм» стал общепринятым наименованием данного вида туризма. Относительная молодость гастрономического туризма не помешала Всемирной туристической организации (UNWTO) идентифицировать его как обособленный вид туризма, благодаря чему активизировался исследовательский и практический интерес к данному направлению.

В исследовании «Глобальный рынок гастрономического туризма» [14] совокупный объем мирового рынка гастротуризма оценивается в 2025 г. на уровне 3824,6 млн долл. США (за период с 2021 по 2025 г. он вырос почти в два раза с уровня 2004,57 млн долл. США). Страной-лидером, согласно данному отчету, является США (712,2 млн долл. США), а среди стран Европы лидирующие позиции занимает Германия (325,8 млн долл. США), рынок которой почти в два раза выше, чем у общепризнанных гастрономических стран – Франции, Италии и Испании. Российский рынок гастрономического туризма, согласно данному отчету, оценивается на уровне 80 млн долл. США, при этом за последние 5 лет он вырос почти в два раза и по прогнозам к 2033 г. вырастет до 259,2 млн долл. США.

Россия обладает высоким потенциалом для развития гастрономического туризма, в том числе благодаря наличию национального гастрономического бренда, имеющего узнаваемость на международном уровне. На портале TasteAtlas [18], где собрана информация о более чем 15000 различных гастрономических продуктов стран мира и проведена их сравнительная оценка на основе более 450 тыс. пользовательских оценок, в рейтинге 100 лучших гастрономических стран Россия занимает 34-ю позицию, между Болгарией и ЮАР (первые 5 мест принадлежат Греции, Италии, Мексике, Франции и Португалии). Самыми популярными блюдами русской кухни согласно рейтингу стали шашлык, блины, пельмени, пироги, варенье и бефстроганов из говядины. Также в число знаковых блюд русской кухни входят голубцы, винегрет, салат «Оливье», каша и десерт «Медовик». Наиболее популярными продуктами питания пользователи называли белужью, севрюжью и осетровую икру, рыбу пород нельма, муксун и белый амур, а также творог и кефир. Самыми популярными российскими напитками названы водка, квас, самогон, сбитень, йёрг и калмыцкий чай.

Россия как страна, несомненно, обладает узнаваемым гастрономическим брендом, имеет высокий потенциал для развития гастрономического туризма, связанный как с гастрономической культурой и местными традициями, так и с богатствами природного происхождения. Этот потенциал еще предстоит реализовать через активное продвижение национальных продуктовых брендов внутри страны и на внешние рынки, в том числе активное посредством развития региональных гастрономических брендов. Развитый региональный гастрономический бренд должен прочно ассоциироваться с конкретным регионом, его



природными, историческими и культурными традициями и отражать гастрономическую специфику данного региона (то, чем он в гастроно-мическом плане отличается от других регионов России).

Данная статья посвящена анализу региональных гастрономических брендов России – не столько их идентификации, сколько оценке их сбалансированности, устойчивости и вариативности. Российские исследователи неоднократно изучали гастрономические бренды регионов как на уровне страны в целом [7; 8], так и в разрезе отдельных регионов [2; 3; 5], но предлагаемый автором методологический подход применяется впервые.

Говоря о связи между уровнем развития рынка гастрономического туризма страны / региона и уровнем узнаваемости гастрономического бренда, стоит признать, что прямую связь проследить достаточно сложно ввиду субъективности (или, точнее, многоаспектности) самого понятия «гастрономический бренд». Объективных критериев оценки «уровня развитости» гастрономического бренда практически не существует (хотя исследований по рыночной оценке брендов, в том числе продуктовых, как таковых достаточно много [15–17]).

Подходы к определению понятия «гастрономический бренд региона»

Гастрономический бренд является важным компонентом всего туристического бренда региона и неразрывно связан с направлениями и видами туристической деятельности, существующими на его территории. Вместе с тем региональный гастрономический бренд является отражением гастрономического образа и гастрономической культуры региона. М. В. Капкан и Л. С. Лихачева определяют гастрономическую культуру как систему «правил, предписаний и образцов, определяющих: а) способы приготовления пищи (кулинарную культуру), б) набор принятых в данной культуре продуктов и их сочетания, в) практику потребления пищи (культуру принятия пищи), а также г) рефлексию над вышеперечисленными феноменами и процессами» [11, с. 42]. М. А. Белаева вводит понятие «гастрономический образ территории» под которым предлагает понимать «комплексное представление об особенностях гастрономической культуры определенного региона или города, выделяющих его на фоне других регионов» [1, с. 67].

Как отмечают Е. Л. Драчева и Т. Т. Христов, «гастрономический бренд является очень сильным “магнитом” для туристов. Привлекательные кулинарные образы связаны с крайне приятными ощущениями, поэтому они легко запоминаются и зачастую становятся причиной возвращения в определенный регион. Кухня является способом знакомства с местной культурой, отражает характер и менталитет местного населения» [9, с. 11]. Они же предлагают следующие обязательные составляющие любого гастрономического бренда:

- хорошо развитая сфера гастрономии;
- энергичное гастрономическое сообщество с традиционными ресторанами и поварами;



- местные ингредиенты, используемые в традиционной кухне;
- местное ноу-хау в кулинарии;
- традиционные продовольственные рынки и пищевая промышленность;
- гастрономические фестивали, награды, конкурсы;
- уважение к окружающей среде;
- продвижение гастрономии в образовательные учреждения [9, с. 11–12].

Довольно «узкую», по нашему мнению, трактовку гастрономического бренда дают В. Э. Гордин и Ю. Г. Трабская ограничивая гастроно-мический бренд продуктом, напитком или блюдом, «встречающимся только в конкретном регионе или обладающим особой аутентичностью, в том числе основанной на мифах, легендах или поверьях» [6, с. 15]. Гастрономический бренд может базироваться не только на конкретном продукте или блюде, но и на уникальном способе его приготовления, подачи и презентации, учитывающем природно-географические, исторические или культурные особенности региона. Автор разделяет позицию, согласно которой гастрономическим брендом региона может стать «целый комплекс решений, реализованных посредством гастрономических фестивалей, национального стритфуда, меню кафе и ресторанов, торговых точек (от уличных рынков до супермаркетов), где определенный гастрономический продукт всегда будет в продаже, а также создания гастрономических музеев» [10].

По нашему мнению, гастрономический бренд региона — уникальный продукт или способ его приготовления, представления и продвижения, неразрывно связанный с данным регионом, повышающий его туристическую привлекательность, при этом отражая его гастрономический образ. Гастрономический бренд формируется продуктами (еда, блюда) как промышленного, так и ремесленного способа производства, местами потребления, людьми и специализированными гастрономическими мероприятиями. Региональный гастрономический бренд обладает ярко выраженной экспортной ориентацией, при этом распространен и активно употребляется и внутри региона.

Исходя из предложенного определения, гастрономический бренд региона будет рассмотрен через призму включения в него местных продуктов, характерных для данного региона, способов приготовления пищи (кухня), связанных с историей и культурой населения, наличия продуктов, отражающих историю развития региона, и широкой линейки продуктовых брендов промышленного производства, формирующими устойчивую ассоциацию с данным регионом. Неотъемлемым элементом гастрономического бренда, призванным том числе продвигать и регион, и сам гастрономический бренд, привлекать широкую аудиторию и формировать потенциальные рынки сбыта туристических услуг, являются гастрономические события (фестивали, ярмарки, выставки и пр.).

Информационной базой исследования стали следующие базы данных:

1. Каталог региональных гастрономических брендов, участвовавших в национальном конкурсе «Вкусы России» [12]. Первый национальный



конкурс прошел на площадке ВДНХ (Москва) в 2020 г., на нем был представлен 491 региональный гастрономический бренд из 79 субъектов РФ. В последующие годы развивалась как география, так и число участников. Каталог региональных брендов, использованный в настоящем исследовании, включил участников первого и второго конкурсов. Общее число составило 880 региональных брендов.

2. Список значимых гастрономических фестивалей, прошедших в регионах России в 2024 г. и запланированных на 2025 г. Данная информация собиралась из открытых источников сети Интернет [4; 13]. Общее число составило 110 гастрономических фестивалей, проведенных или планируемых к проведению в регионах России.

3. Информация о гастрономических особенностях регионов России, представленная на портале TasteAtlas [18].

89

Результаты исследования

Типология гастрономических брендов регионов России по данным национального конкурса «Вкусы России».

В каталоге представлено 880 региональных гастрономических брендов. Представленные региональные бренды продуктов питания можно дифференцировать на три группы:

1. Бренды продуктов питания растительного или животного происхождения. Это продукты питания, которые не проходят глубокую стадию переработки и попадают к покупателю в исходном (слабо измененном) виде. К ним относятся фрукты, овощи, мясо животных, рыба, крупы, мед и т.д. Данные продукты питания связаны с природно-географическими условиями региона и зависят от сельскохозяйственной специализации региона, богатства его растительного или животного мира.

2. Товарные бренды массового производства, отражающие характер развития региональной пищевой промышленности. Данные продукты обеспечивают базовые потребности населения в продуктах питания, но вместе с тем прочно ассоциируются с регионом производства. Для них выбирается соответствующее название, дизайн решения или соответствующая стратегия маркетингового продвижения на внешних рынках. Многие из них также базируются на природно-ресурсном потенциале, региональной сельскохозяйственной специфике, историческом и культурном наследии, что позволяет ассоциировать данные продукты с гастрономической культурой региона. Благодаря продуктам этой группы массовый турист чаще всего начинает знакомство с региональной гастрономической культурой, принимая для себя решения о дальнейшем погружении в гастрономическую культуру региона.

3. Бренды региональной кухни, связанные с культурой проживающих в регионе народов. В данную категорию вошли гастрономические бренды, связанные с региональными способами приготовления мясных или рыбных блюд, выпечки и кулинарных изделий, основанные в том числе на историческом наследии, культурных обычаях употребления различных видов продуктов.



В каталоге региональных продуктов питания «Вкусы России» присутствуют региональные производители из 85 субъектов России¹ (единственным регионом, не имевшим на конкурсе ни одного представителя, стала Еврейская автономная область). В среднем на один регион приходится 10,3 региональных бренда, но при детальном рассмотрении проявляется высокая региональная контрастность. В 29 регионах России общее число брендов не превышало 5 единиц. В число таких регионов вошли, например, Магаданская и Амурская области, несколько республик Северного Кавказа, Калужская, Липецкая и Рязанская области. Примечательно, что всего 2 региональных бренда оказалось у г. Москвы (московский пончик и столичный пряник) и 4 у г. Санкт-Петербурга (ленинградская пышка, невская корюшка, батончики из Санкт-Петербурга и выборгская сметана). В группу с общим числом региональных брендов от 6 до 10 включительно вошли 28 регионов, в их числе Ленинградская, Владимирская и Мурманская области, Забайкальский и Камчатский края. В группе с показателями выше среднероссийского уровня (с числом брендов от 11 до 20) оказалось 18 субъектов РФ, таких как, например, Костромская, Белгородская, Воронежская и Оренбургская области. К регионам с числом региональных брендов в два и более раза выше среднероссийского уровня относятся 10 субъектов (рис. 1).

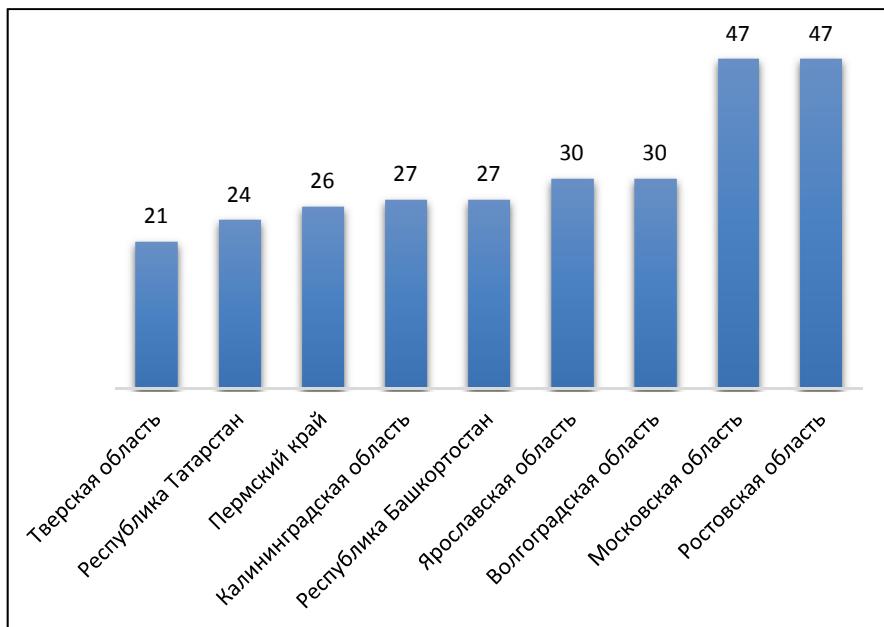


Рис. 1. Регионы-лидеры по числу региональных брендов продуктов питания (по данным каталога «Вкусы России»)

Составлено на основе данных: [12].

¹ Данные по гастрономическим брендам ДНР, ЛНР, Херсонской и Запорожской областей отсутствуют, так как рейтинг составлялся по данным 2020-2021 гг.



Наряду с общим числом продуктовых региональных брендов важна и оценка их вариативности. С этой точки зрения все регионы можно разделить на 4 типа (с подтипами в некоторых из них):

1. Регионы с вариативным сбалансированным брендом. К данному типу относятся регионы, в которых в равной мере представлены все три группы региональных брендов продуктов питания, ни один из которых не доминирует над остальными. В данный тип входит 21 субъект (например, Ростовская и Волгоградская области, Республика Татарстан и Пермский край).

2. Регионы с вариативным, но несбалансированным региональным брендом. Включает регионы, в которых присутствуют все три группы брендов продуктов питания, но представленность одной из групп выше остальных (на нее приходится 50 % и более от общего числа брендов). Всего регионов России такого типа – 35. Данный тип подразделяется на три подтипа:

2а) регионы, в которых доминирующей группой являются бренды продуктов питания растительного или животного происхождения (7 регионов, в том числе Республики Карелия, Крым, Хакасия, Бурятия, Краснодарский край и Астраханская область);

2б) регионы России, где доминируют товарные бренды массового производства (общее число 27, в том числе Брянская, Владимирская, Калининградская, Ленинградская области, г. Санкт-Петербург, Приморский и Хабаровский края);

2в) регионы России, в которых доминирующей группой являются бренды региональной кухни, связанные с гастрономической культурой проживающих в регионе народов (к такому типу регионов относится только Чувашская Республика).

3. Регионы со слабовариативным несбалансированным гастроэкономическим брендом. В данную группу входят регионы, где отсутствует одна из групп продуктовых брендов. Всего к данному типу относится 21 регион, которые также логично подразделяются на три подтипа:

3а) регионы, в которых отсутствует группа брендов продуктов питания растительного или животного происхождения (4 региона: Тульская и Вологодская области, Ненецкий автономный округ, Республика Ингушетия);

3б) регионы, в которых отсутствует группа товарных продуктовых брендов массового производства (2 региона: Тамбовская и Нижегородская области);

3в) регионы с отсутствием группы брендов региональной кухни (15 регионов, в их числе Калужская, Иркутская, Сахалинская и Амурская области, Забайкальский и Камчатский края).

4. Регионы с гастрономическим монобрендом (представлена только одна группа продуктовых брендов). Регионов данного типа – 7, из них 2 (Магаданская область и Республика Калмыкия) представлены только группой продуктовых брендов растительного и животного происхождения, 3 (Липецкая и Омская области, Чеченская Республика) – исключительно продуктовыми брендами массового производства и 2 (г. Москва и Курганская область) – брендами, связанными с региональной кухней.



По итогам анализа представленности регионов России на национальном конкурсе «Вкусы России», к регионам с хорошим уровнем развитости регионального гастрономического бренда относятся 56 регионов России, из которых 21 имеет вариативный и сбалансированный гастрономический бренд, а еще 35 – вариативный, но несбалансированный гастрономический бренд.

Группировка регионов России по числу гастрономических фестивалей.

Гастрономические события являются важным инструментом формирования и продвижения гастрономических брендов. Крупнейшие гастрономические фестивали в мире давно переросли исключительно гастрономические рамки, став самостоятельными туристическими событиями, что делает их уже компонентом событийного туризма, вставшим в один ряд с крупными спортивными или культурными мероприятиями. Вместе с тем ключевая роль гастрономических событий – продвижение гастрономической культуры региона, повышение ее туристической привлекательности. Собранный список гастрономических событий 2024–2025 гг. не является полным и не включает в себя многочисленные гастрономические события регионального или локального (муниципального) уровня, отражая только те мероприятия, которые фиксируются федеральными СМИ и включены в разнообразные списки знаковых гастрономических событий национального уровня. Собранный список насчитывает 110 мероприятий, при этом почти все отмеченные события проводятся не в первый раз и имеют устоявшуюся концепцию, сроки проведения и программу (например, «День селедки» в Калининграде, который проводится ежегодно в апреле начиная с 2006 г.), что позволяет рассматривать их как знаковые события в туристической и гастрономической жизни региона.

Из 89 регионов России гастрономические события национального уровня зафиксированы в 46 субъектах. При этом в 16 проводится не более 1 гастрономического события в год, в 13–2 события (табл.). В 8 регионах России проходят по 3 гастрономических события, а в 6 – по 4 мероприятия. Лишь в 3 субъектах число гастрономических событий за период 2024–2025 гг. больше 4: в г. Москве (8 мероприятий), Московской области (7 мероприятий) и Краснодарском крае (5 мероприятий). При этом лидерство данных регионов логично объясняется как агломерационным фактором, так и высоким уровнем их туристической привлекательности. В большей степени удивительным оказались скромные результаты г. Санкт-Петербурга как «второй столицы» страны (всего 3 гастрономических мероприятия), Республики Татарстан (1 мероприятие – «Сабантуй») и Крым (1 мероприятие – «Гастролис») пользующихся высоким туристическим спросом внутри страны. С другой стороны, активность таких регионов, как Республика Хакасия (3 мероприятия), Томская область (3 мероприятия) Иркутская область (4 мероприятия) и Приморский край (4 мероприятия), отражает инициативу регионов по развитию национальной гастрономии и региональных гастрономических брендов.



Группировка 46 регионов России по числу проводимых оригинальных гастрономических мероприятий за период 2024 – 2025 гг.

Число событий	Число регионов	Примеры проводимых мероприятий и регион проведения
1	16	«Лук-Лучок» (Ивановская обл.), «Шаньгафест» (Республика Коми), «Фестиваль адыгейского сыра» (Республика Адыгея), «В Сибири – есть!» (Новосибирская обл.)
2	13	«Барыня капуста» (Рязанская обл.), «День пряника» (Тульская обл.), «День донской селедки» (Ростовская обл.), «Арзамасский гусь» (Нижегородская обл.), «Ямальская строганина» (Ямало-Ненецкий АО), «ПапоротНИКРАБ» (Камчатский край)
3	8	«Доброе сало» (Липецкая обл.), «Кукарекино» (Тамбовская обл.), «Праздник корюшки» (г. Санкт-Петербург), «Елань – столица сыра» (Волгоградская обл.), «Субботинская земляниха» (Красноярский край), «Жимолость» (Томская обл.)
4	6	«Фестиваль постной кухни» (Ярославская обл.), «Фиштиваль» (Калининградская обл.), «Корюшка идет!» (Ленинградская обл.), «Князь, вы кушать хотите?» (Новгородская обл.), «Сытый Бабр» (Иркутская обл.), «На гребне» (Приморский край)
Более 4	3	«Луховицкий огурец» и «День пареной репы» (Московская обл.), «Russian Grill Fest» и «Вкусы России» (г. Москва), «Веселые шкварки» и «Гастрофест на “Роза Хутор”» (Краснодарский край)

93

Обобщая приведенные выше подходы к оценке гастрономических брендов регионов России, можно создать типологию региональных гастрономических брендов, которая учитывает их вариативность и сбалансированность, а также уровень продвижения на национальном и международном уровнях. В результате все регионы РФ разделены на 4 типа (с некоторым числом подтипов).

I. Регионы с вариативным гастрономическим брендом, активно продвигаемым через гастрономические события на национальном уровне. Проведенные оценки позволяют выделить подтип Ia, к которому относятся регионы России, имеющие компоненты регионального гастрономического бренда, узнаваемые на международном уровне.

II. Регионы с вариативным гастрономическим брендом, слабопротивляемым на национальном уровне через гастрономические события. Как и в случае с первым типом, здесь может выделяться подтип IIa.

III. Регионы со слабовариативным (зачастую моногастрономическим) региональным гастрономическим брендом, которые активно проводят гастрономические события национального уровня, чему способствует их выгодное и/или уникальное экономико-географическое положение или высокий уровень развития туристического рынка региона. По аналогии с предыдущими типами возможно выделение подтипа IIIa.



IV. Регионы со слабовариативным (зачастую моногастрономическим) региональным гастрономическим брендом, не проводящие достаточноного числа гастрономических событий национального уровня. Здесь возможно выделение подтипа IVa при наличии узнаваемости на международном уровне компонентов регионального гастрономического бренда.

Для четырех новых регионов России (Донецкая и Луганская народные республики, Запорожская и Херсонская области) на текущий момент не был определен тип гастрономического бренда из-за геополитической ситуации и отсутствия достоверных данных.

94

Итоговая типология регионов по развитости региональных гастрономических брендов охватывает 85 субъектов России, из которых к первому типу отнесены 12 регионов (в том числе к подтипу Ia – 2), ко II типу – 46 регионов (к подтипу IIa – 9). К III типу отнесены всего 4 региона, в том числе к подтипу IIIa – один регион. К IV типу относятся 23 региона России, из которых 2 входят в подтип IVa. (рис. 2).

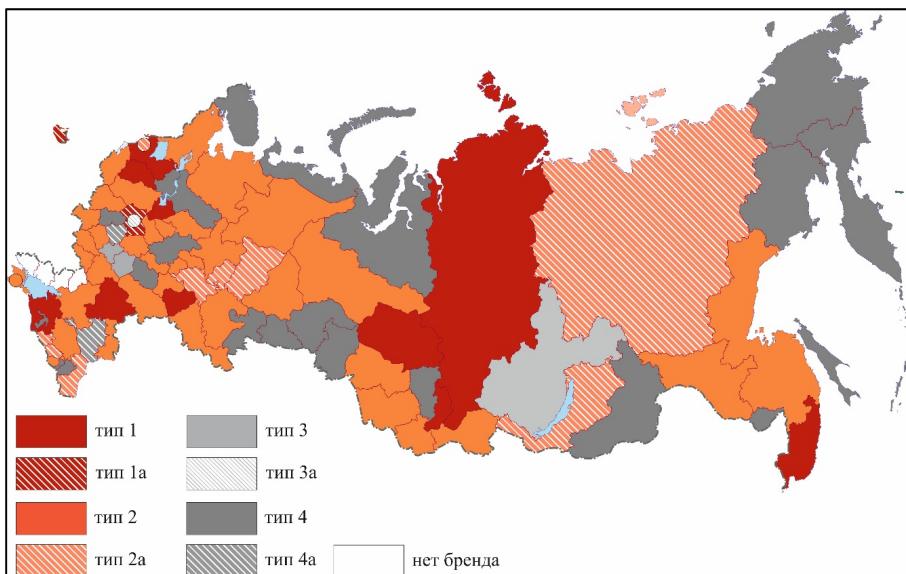


Рис. 2. Типология регионов России по гастрономическим брендам

К типу I отнесены регионы, которые уже имеют вариативный и сбалансированный региональный гастрономический бренд и активно проводят более 3 гастрономических мероприятий национального уровня в течение года. Два региона отмечены компонентами регионального гастрономического бренда и на международном портале TasteAtlas: Московская область (коломенская пастыля) и Калининградская область (кёнигсбергские клопсы и калининградский марципан). Также в данный тип вошли Ярославская, Ленинградская, Новгородская, Волгоградская, Самарская и Томская области, Краснодарский, Красноярский,



Приморский края и Республика Хакасия. Практические рекомендации по дальнейшему развитию регионального гастрономического бренда в регионах данного типа включают в первую очередь расширение компонентной базы гастрономического бренда и реализацию программ по международному продвижению на внешних рынках (в том числе дружественных стран), способных в перспективе обеспечить приток как иностранных туристов, так и инвестиций в развитие всего региона.

Регионов типа II выделено 46, в том числе 9 из них отнесены к подтипу IIa. В данный подтип вошли г. Санкт-Петербург (на международном уровне известен невский пирог), Республика Дагестан (аварский хинкал и курзэ), Республики Кабардино-Балкария и Карачаево-Черкессия (в обоих регионах отмечают хычин), Республика Татарстан (4 блюда: чак-чак, эчпочмак, элеш, талкыш-калеве), Республика Удмуртия (перепечи и табани), Пермский край (пельмени с грибами), Республика Бурятия (бузы) и Республика Саха (Якутия) (строганина, сугудай, салат «Индигирка», кричех, муксун). Практические рекомендации по развитию регионального гастрономического бренда для регионов данного типа в первую очередь касаются необходимости расширения числа гастрономических мероприятий. Необходимо повышать уровень уже существующих событий (переход от локального или регионального уровня на общенациональный), в том числе используя уже имеющийся устойчивый и вариативный в регионе гастрономический бренд, некоторые компоненты которого хорошо известны за пределами России.

В тип III вошли 4 субъекта: Липецкая, Тамбовская и Иркутская области, а также г. Москва (представляет подтип IIIa). Данные регионы по результатам проведенного анализа не обладают вариативным региональным гастрономическим брендом, при этом весьма активно проводят гастрономические фестивали разной тематической направленности. Очевидно, что гастрономическая культура этих регионов гораздо богаче и разнообразнее, чем она представлена на выставке «Вкусы России» или в базе региональных брендов Роспатента. Требуется более детальный анализ на внутрирегиональном уровне продуктов питания, которые могут в перспективе обеспечить гастрономическую узнаваемость и, следовательно, привлекательность региона в будущем. Понятно также, что Москва как федеральный центр должна существенно отличаться по своей политике формирования и продвижения гастрономического бренда. В первую очередь она выступает гастрономической витриной всей страны для иностранных туристов, во вторую – для жителей регионов России. Именно Москва может выступить агрегатором гастрономической культуры регионов России, а далее турист сам примет решение о посещении соответствующего региона. Примером такого агрегатора является выставка-форум «Россия» на ВДНХ, где были представлены все регионы России, в том числе их гастрономическая культура.

IV тип регионов со слабым, на наш взгляд, уровнем проработанности регионального гастрономического бренда включает в себя 23 реги-



она. Данные регионы весьма ограниченно представлены продуктами брендами как на национальном конкурсе, так и в базе Роспатента, а также проводят крайне мало гастрономических мероприятий (многие не проводят ни одного значимого мероприятия национального уровня в течение года). В этой группе регионов выделяются Тульская область и Республика Калмыкия за счет международной узнаваемости. В Туле региональным брендом является, конечно же, тульский пряник, а в Калмыкии — калмыцкий чай. Регионам данного типа необходимо как активизировать свои усилия по продвижению местных продуктов питания на национальных конкурсах и выставочных площадках, так и разнообразить освоенную программу гастрономических мероприятий. В Тульской области в год проходят лишь два гастрономических фестиваля, хотя местоположение, богатая история и высокая брендовая узнаваемость дают возможности существенно увеличить число гастрономических мероприятий национального уровня на территории региона.

Заключение

Представленная типология и проведенные оценки гастрономических брендов регионов России являются одним из возможных вариантов их изучения. В рамках данной части исследования не ставилась задача создания «карты» гастрономических брендов регионов России; скорее говоря, была предпринята попытка анализа региональных гастрономических брендов с точки зрения их устойчивости, вариативности, сбалансированности, характера продвижения на национальном и международном уровнях. Более детальный анализ внутрирегиональной структуры гастрономического бренда, входящих в него компонентов, связей с ключевыми природно-географическими и социально-культурными особенностями конкретного региона — таковы перспективы развития исследований в данном направлении.

Список литературы

1. Беляева М.А. Гастрономический образ территории: структура и специфика // *Russian Studies in Culture and Society*. 2023. Т. 7, №3. С. 61–79. doi: 10.12731/2576-9782-2023-3-61-79. EDN: TAFLSN.
2. Бодрова Ю.В. Перспективы развития Тверского региона как гастрономической дестинации // Сервис в России и за рубежом. 2020. Т. 14, №2 (89). С. 99–111. doi: 10.24411/1995-042X-2020-10209. EDN: VORISY.
3. Винокурова М.А., Коноплев Н.А. Гастрономический туризм как значимая культурная форма в брендировании территорий // Культура и искусство. 2024. №10. С. 92–109. doi: 10.7256/2454-0625.2024.10.71972. EDN: EPCEDZ.
4. Гид по гастрофестивалям / Что, где и когда пройдет в России в 2024 году // Food.ru. URL: <https://food.ru/articles/10702-gid-po-gastrofestivalyam> (дата обращения: 15.07.2025).
5. Гладышев Д.Е., Соколова П.Е. Развитие гастрономического сектора в креативных индустриях и формирование гастробренда Екатеринбурга // Управление культурой. 2023. №1 (5). С. 18–25. EDN: WTRNRJ.



6. Гордин В.Э., Трабская Ю.Г. Гастрономические бренды дестинаций: подходы и применение. СПб., 2014.
7. Горошко Н.В., Пацала С.В. Гастрономический бренд как инструмент развития регионального гастрономического туризма // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. 2022. №4. С. 377 – 400. doi: 10.15593/2224-9354/2022.4.25. EDN: BXYYDUZ.
8. Грачева Е.В. Повышение туристической привлекательности регионов Российской Федерации посредством использования гастрономических брендов территории в рамках институционализации отрасли туризма // Научный ежегодник Центра анализа и прогнозирования. 2018. №2. С. 271 – 274. EDN: YUKDZB.
9. Драчева Е.Л., Христов Т.Т. Гастрономический туризм: современные тенденции и перспективы // Российские регионы: взгляд в будущее. 2015. №3 (4). С. 1 – 19. EDN: UDZGWN.
10. Зачем регионам нужны гастрономические бренды // RG.ru. URL: <https://rg.ru/2019/10/08/reg-szfo/zachem-regionam-nuzhny-gastronomichekie-brendy.html> (дата обращения: 30.06.2025).
11. Капкан М.В., Лихачева Л.С. Гастрономическая культура: понятия, функции, факторы формирования // Известия Уральского государственного университета. Сер. 2: Гуманитарные науки. 2008. Т. 55, №15. С. 34 – 43. EDN: KHQNET.
12. Каталог региональных брендов // Национальный конкурс региональных брендов продуктов питания «Вкусы России». URL: <https://russiantastes.ru/catalog/> (дата обращения: 18.06.2025).
13. Лучшие гастрофестивали 2025 в России: даты, города, программа // Халва Медиа. URL: <https://media.halvacard.ru/travel/gastrofestivals> (дата обращения: 15.07.2025).
14. Gastronomy Tourism Market Report 2025 (Global Edition). URL: <https://www.cognitivemarketresearch.com/gastronomy-tourism-market-report> (дата обращения: 04.07.2025).
15. Janoskova K., Krizanova A. Comparison of selected internationally recognized brand valuation methods // Oeconomia Copernicana. 2017. №8 (1). P. 99 – 110. doi: 10.24136/oc.v8i1.7.
16. Marsolla B.C., Soriano D.H.G., Gimenes R.M.T. et al. Alternative methodology for brand value evaluations: The Friboi case // Journal of Food, Agriculture and Environment. 2017. №15 (3-4). P. 26 – 34. doi: 10.1234/4.2017.5457.
17. Reyneke J., Abratt R., Bick G. What is your corporate brand worth? A guide to brand valuation approaches // South African Journal of Business Management. 2014. №45 (4). P. 1 – 10, doi: 10.4102/sajbm.v45i4.136.
18. TasteAtlas. URL: <https://www.tasteatlas.com/about> (дата обращения: 07.07.2025).

Об авторе

Михаил Олегович Попов – слушатель программы «Доктор делового администрирования (DBA)» Института бизнеса и делового администрирования Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, Москва, Россия; генеральный директор ООО «ПОМАТТИ», Калининградская область, Россия.

E-mail: popov@pomatti.com



M. O. Popov

**TIPOLOGY OF RUSSIAN REGIONS BY THE DEVELOPMENT
OF THE REGIONAL GASTRONOMIC BRAND**

Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration,

Moscow, Russia

LLC "POMATTI", Kaliningrad, Russia

Received 22 May 2025

Accepted 28 July 2025

doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-6

98

To cite this article: Popov M.O., 2025, Typology of Russian regions by the development of the regional gastronomic brand, *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural Sciences*, №3. P. 85–98. doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-6.

The article presents an assessment of the sustainability and variability of regional gastronomic brands in Russia. Based on the analysis of the regions' participation in the national competition "Flavors of Russia" in 2020 – 2021, gastronomic events held in Russian regions in 2024 and 2025, as well as information on the gastronomic characteristics of Russian regions provided on the TasteAtlas platform, a typology of regional gastronomic brands has been developed. This typology takes into account the variability and balance of a brand, as well as the nature of its promotion at the national and international levels. As a result, all regions of the Russian Federation are classified into four types (with several subtypes). For each identified type, practical recommendations are proposed for the further development of regional gastronomic brands.

Keywords: gastronomic tourism, regional gastronomic brand, Russian regions, gastronomic event, gastronomic festival

The author

Mihail O. Popov, Student of the Doctor of Business Administration (DBA) program at the Institute of Business and Business Administration of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russia; General Director of LLC "POMATTI", Kaliningrad Region, Russia.

E-mail: popov@pomatti.com

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ, ГЕОЭКОЛОГИЯ И ОКЕАНОЛОГИЯ

УДК 574.52

C. В. Александров

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ И СЕЗОННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В ЭСТУАРНОЙ СИСТЕМЕ РЕКИ ПРЕГОЛИ И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ АКВАТОРИИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

99

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

Поступила в редакцию 09.04.2025 г.

Принята к публикации 18.06.2025 г.

doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-7

Для цитирования: Александров С. В. Пространственное и сезонное распределение биогенных веществ в эстуарной системе реки Преголи и прилегающей акватории Балтийского моря // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2025. №3. С. 99–115. doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-7.

Представлены сезонные и пространственные изменения содержания биогенных элементов (минеральных форм азота и фосфора) в эстуарной системе реки Преголи (Калининградский морской канал, Калининградский залив) и прибрежной зоне Балтийского моря в 2024 г. Их сезонная динамика характеризовалась максимумом в период половодья. Минимумы были весной и летом при «цветении» воды на фоне интенсивного прогрева вод. Пространственное распределение характеризовалось наибольшими величинами азота и фосфора в устьевой зоне, куда поступает сток реки Преголи. Отмечено эпизодическое загрязнение, превышающее ПДК по аммонийному и нитритному азоту, в восточном районе Калининградского морского канала, в том числе в районе выпуска очистных сооружений Калининграда. В зимний период концентрации минерального азота и фосфора соответствовали потенциально гипертрофному уровню согласно классификации для вод Балтийского моря, который реализуется в высокой биопродуктивности эстуарной системы реки Преголи. Увеличение фосфора летом при низкой концентрации азота создает условия для развития цианобактерий и «цветения» воды. Поступление биогенных веществ через морской пролив увеличивает их концентрации в прибрежной зоне и способствует эвтрофированию этого района Балтийского моря.

Ключевые слова: река Преголя, Калининградский морской канал, соленость, азот, фосфор, загрязнение, трофический статус, «цветение» воды

Введение

Река Преголя относится к средним рекам Балтийского моря. Ее водосборный бассейн охватывает большую часть Калининградской области и Варминско-Мазурского воеводства. Преголя впадает в восточную



часть Калининградского залива, составляя половину его материкового стока [20]. Вдоль северного берега залива проходит Калининградский морской канал — гидротехническое сооружение, построенное в 1901 г., длиной 43 км и глубиной 9–12 м. В восточной части канал отделен от залива насыпными дамбами, а западная его часть проходит по открытой акватории залива и соединяется с Балтийским морем проливом через Балтийскую косу.

Калининградский залив, Калининградский морской канал и устьевой участок Нижней Преголи образуют единую гидрологическую систему [17]. Значительная часть воды из реки Преголи поступает в Калининградский морской канал, который направляет эту воду по относительно глубоководному руслу в Балтийское море. Поступление через пролив морских вод в залив многократно превышает материковый сток [20], в результате водоем имеет гидрологические признаки эстuarной системы [26]. В нем происходит перемешивание речных и морских вод, особенно интенсивное в искусственно углубленном желобе морского канала, что определяет выраженную неоднородность пространственного распределения гидрологических, химических, биологических показателей [10; 22; 24].

Гидрологические условия в реке Преголе и Калининградском морском канале изучаются длительный период, в том числе интенсивные работы выполняются в последние годы. Исследования показали наличие выраженных градиентов солености в зонах смешения речных вод с водами канала и их дальнейшего смешения с водами Балтийского моря, а также влияние речного стока и ветрового режима на пространственное положение градиентных зон [7; 8; 10; 17; 22].

На гидрохимический режим и загрязнение Калининградского залива и Калининградского морского канала как его части влияют как природные факторы (сток пресных вод реки Преголи, нагоны соленых вод Балтийского моря и др.), так и антропогенные. Большие объемы биогенных элементов поступают со стоком реки Преголи, на водосборной территории которой расположены многочисленные источники загрязнения [5; 6; 11; 24]. До 2016 г. ведущим источником антропогенного загрязнения были сточные воды г. Калининграда, подвергаемые только механической очистке и сбрасывавшиеся в Приморскую бухту, где регистрировались высокие концентрации биогенных веществ с регулярным превышением ПДК [1]. Введенные в эксплуатацию в 2016 г. очистные сооружения имеют значительно лучшую очистку, а их выпуск перенесен в восточный участок Калининградского морского канала. В последние годы наблюдается снижение загрязнения вод в Приморской бухте одновременно с его увеличением в восточном районе залива [3; 16]. Кроме выпуска очищенных сточных вод Калининграда и поступления загрязнения со стоком реки Преголи значимое антропогенное влияние могут оказывать точечные источники вдоль акватории канала, где расположен ряд крупных населенных пунктов (г. Балтийск,



Светлый, пос. Ижевское и др.) и промышленных предприятий (ЗАО «Содружество-Соя», рыболовецкий колхоз «За Родину», ООО «Лукойл-Калининградморнефть» и др.).

В Калининградском заливе с начала 1990-х гг. ведется регулярный гидрохимический мониторинг, в том числе биогенных элементов, который показал пространственную неоднородность между районами, периодическое загрязнение вод и формирование в заливе эвтрофногипертрофной экосистемы, в которой наблюдается «цветение» вод [1; 3; 15; 16; 23; 27]. Однако эти исследования не затрагивали акваторию Калининградского морского канала, район устья реки Преголи, а также морского пролива и прилегающей зоны Балтийского моря. Ранее было показано, что воды залива и восточной части канала, разделенные насыпными дамбами, практически не смешиваются, следовательно, их можно отнести к разным гидрологическим объектам [8]. В акватории морского канала могут формироваться гидрохимические условия, отличные от ранее исследованных в заливе. По распределению взвешенных веществ и ряда металлов наблюдается формирование маргинального фильтра реки Преголи, в котором происходит уменьшение взвеси, обогащение биогенным материалом и, возможно, техногенное загрязнение рядом микроэлементов [10]. Поступление вод Калининградского залива и морского канала через Балтийский пролив влияет на акваторию Балтийского моря, что прослеживается на расстоянии 20–30 км [4; 18; 24]. Опубликованные данные по биогенным элементам в Калининградском морском канале дают предварительную информацию о сезонной и пространственной изменчивости, обусловленной биологическим процессами и, вероятно, дополнительным антропогенным загрязнением вод [2; 24]. Однако они ограничены либо одним сезоном (весна), либо небольшой акваторией (восточная часть) и могут не отражать современное состояние, в частности с учетом ввода в эксплуатацию очистных сооружений Калининграда и переноса их выпуска в морской канал.

Целью работы стало выполнение анализа сезонных изменений концентрации биогенных элементов как важнейших гидрохимических компонентов, отражающих современное загрязнение вод и биопродукционные процессы, на всей акватории эстuarной системы реки Преголи, включающей устье реки, Калининградский морской канал, залив, морской пролив и прибрежную зону моря.

Материалы и методы

Исследования велись вдоль Калининградского морского канала от устья реки Преголи до морского пролива, а также в прилегающей акватории Гданьского залива Балтийского моря. Расположение 12 комплексных станций (№1–18) позволило получить данные о пространственном распределении биогенных элементов (рис. 1). Исследования выполнялись в различные сезоны (27 февраля, 13 мая, 25 июня и 8 ноября 2024 г.).



102

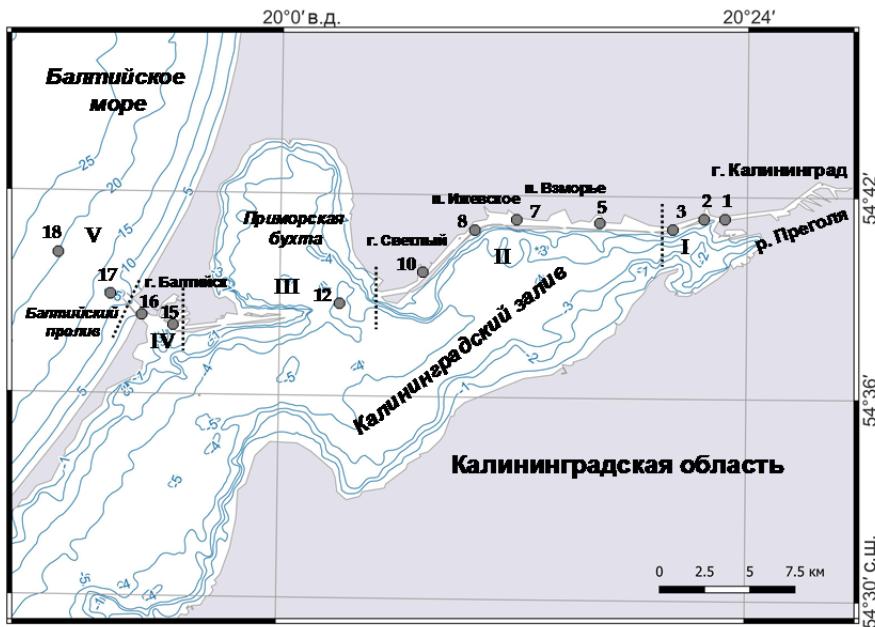


Рис. 1. Схема станций (1 – 18) вдоль Калининградского морского канала и в Балтийском море и их деление по районам (I – V)

Соленость и температуру определяли мультипарметрическими зондами CastAway и Sea&Sun CTD90M. Пробы воды отбирали батометрами Нискина с последующим определением концентрации биогенных элементов по стандартным методикам [14] на спектрофотометре КФК-3КМ в лаборатории геоэкологии АО ИО РАН.

При описании пространственной и сезонной изменчивости использованы данные по гидрологическим условиям и содержанию минеральных форм биогенных элементов (азот аммонийный, нитратный, нитритный, фосфор фосфатов), полученные для подповерхностного слоя (0 – 1 м), которые отражают распространение речных вод Преголи, а также влияние биологических процессов в фотическом слое. Для оценки загрязнения вод применялись ПДК вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения, обозначенные в приказе Минсельхоза РФ № 552 от 13 декабря 2016 г.

При анализе пространственной изменчивости в работе предложено условное деление акватории на 5 районов, которые отличаются физико-географическими и гидрологическими особенностями (рис. 1):

I – устьевая зона (станции 1 – 3) с выраженным влиянием речных вод Преголи (до 1 ПЕС в мае) и загрязнения с водосборной площади;

II – восточный район (станции 5 – 10): участок морского канала, отделенный насыпными дамбами от акватории залива, где происходит активное взаимодействие речных и солоноватоводных вод залива, а также поступление загрязнений от крупных промышленных объектов и с выпуском очищенных сточных вод Калининграда;



III – акватория залива (станция 12): участок морского канала, проходящий по открытой акватории Калининградского залива;

IV – район морского пролива (станции 15, 16), где происходит активное взаимодействие вод Балтийского моря и эстуарных вод из залива и морского канала;

V – морской район (станции 17, 18): прибрежная акватория Балтийского моря до изобаты 20 м, где значительное влияние может оказывать сток, поступающий из Калининградского залива.

Результаты и обсуждение

Гидрологические условия

103

Погодные условия в период проведения исследований в 2024 г. характеризовались повышенной температурой воздуха в феврале (среднемесячная температура выше нормы на 4,5–5°C), мае (выше нормы на 3–4°C) и конце июня (выше нормы на 4,5–5°C, с прогревом до 30–33°C), согласно данным Калининградского ЦГМС. Температура воды 27 февраля 2024 г. характеризовалась достаточно однородным прогревом поверхностного слоя (4,5–6°C), незначительно снижаясь от устьевой зоны к прибрежной Балтике (рис. 2, а). Весной в мае поверхностные воды в районе морского пролива и в прибрежной части моря были прогреты на 4–5°C менее, чем воды канала и залива (до 17°C в устьевой зоне). Осенью в ноябре, наоборот, морской район сохранял больший прогрев (до 11°C) по сравнению однородным распределением на остальной акватории (около 8°C). Летом в июне температура воды постепенно снижалась от устьевой зоны к морскому району в диапазоне 17–24°C. Пространственное распределение температуры характеризовалось резким изменением (на 2–3°C) в районе морского пролива весной и осенью, а сезонная динамика – интенсивным летним прогревом (до 22–24°C в июне).

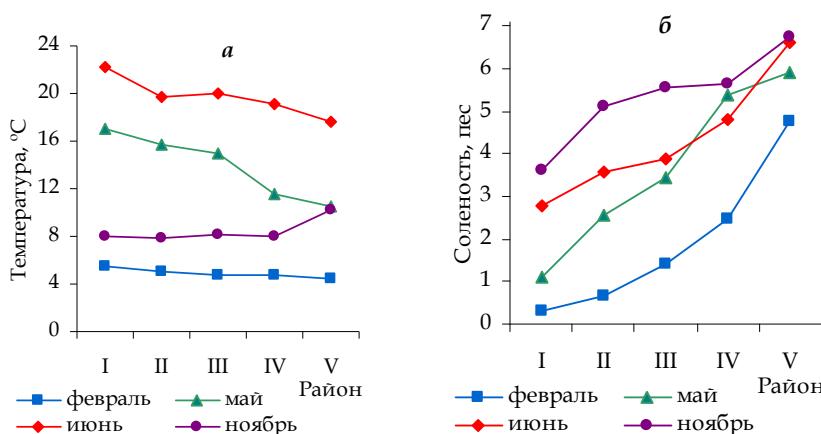


Рис. 2. Гидрологические условия в морском канале и прибрежной Балтике:
а – температура воды; б – соленость; I – устьевая зона, II – восточный район,
III – акватория залива, IV – район пролива, V – морской район



Соленость подповерхностного слоя закономерно увеличивалась от устья реки Преголи до морского района во все сезоны года (рис. 2, б). Для Преголи характерна значительная внутригодовая изменчивость стока. Наибольший расход воды (период половодья) наблюдается в феврале – марте, а минимальный (межени) – в мае – октябре [21], что значительно влияет на сезонную изменчивость солености в эстuarной системе. Согласно данным Калининградского ЦГМС, в феврале 2024 г. в Калининградской области среднемесечная температура воздуха была выше нормы на 4,5–5 °C, а количество осадков больше на 180–250 %, вследствие чего водность рек области была выше среднемноголетней, в том числе Преголи (уровень воды ГП-1 Гвардейск выше на 133 см). Минимальная соленость (0,1–0,8 ПЕС), характерная для пресных вод (<1 ПЕС), распространялась в период исследований 27 февраля на устьевую зону и восточный район, что обусловлено значительным речным стоком в этот период. В акватории залива и в проливе соленость возрастила, резко увеличиваясь в морском районе (до 4,8 ПЕС).

Согласно данным Калининградского ЦГМС, в последующие месяцы происходил спад уровня воды в реке Преголе до среднемноголетних значений в марте и ниже в апреле и мае. В период исследований 13 мая влияние речных вод (соленость <1 ПЕС) сохранялось в устьевой зоне, а в восточном районе и заливе соленость увеличивалась до 3,5 ПЕС, в проливе отмечено резкое увеличение солености с 4,3 до 6,4 ПЕС, которая соответствовала наблюдаемой в море. Летом (июнь) и осенью (ноябрь) в устьевой зоне соленость была повышена до 2,5–4 ПЕС. Это связано с уменьшением речного стока в период межени, а также с распространением вверх по каналу солоноватоводных вод залива. В частности, в ноябре 2024 г. среднемесечный уровень Преголи был ниже среднемноголетнего и было отмечено существенное различие между устьевой зоной и восточным районом (в среднем 3,6 и 5,1 ПЕС). Также в июне и ноябре значительно увеличивалась соленость в морском районе при достаточно равномерном распределении солоноватых вод в восточном районе и заливе (рис. 2, б).

Наблюданное в 2024 г. пространственное и сезонное распределение температуры и солености воды в целом соответствует описанным ранее закономерностям для морского канала и залива [1; 10; 21; 22; 24]. Летом 2024 г. наблюдался интенсивный прогрев вод ($>20^{\circ}\text{C}$), способствующий «цветению» воды при развитии фитопланктона, что могло оказать влияние в использование биогенных элементов.

Содержание биогенных элементов

Основным гидрохимическим источником эвтрофирования водных экосистем служат высокие концентрации фосфора и азота [9]. Исследования биогенной нагрузки на Калининградский залив показали, что основным источником фосфора являются сточные воды (включая Калининград), а азота – сельскохозяйственные угодья [5; 6; 19].

Аммонийный азот связан преимущественно с биохимическим разложением органических веществ в водоеме или на водосборной терри-



тории. В 2024 г. наибольшие концентрации аммонийного азота наблюдались в феврале из-за большого поступления органических веществ и их первичным разложением в речной воде в период половодья. Высокие концентрации были в устьевой зоне и в заливе (в среднем 232 и 247 мкг N/л) и снижались в морском проливе и прибрежной Балтике (рис. 3, а). Наряду с этим выделялся восточный район, где отмечены повышенные концентрации (в среднем 338 мкг N/л), возможно из-за антропогенного загрязнения. Весной, в мае, концентрации были относительно небольшими, постепенно снижаясь от устьевой зоны до морского района (с 35 до 2 мкг N/л), что связано с нитрификацией. Летом содержание аммонийного азота в устьевой зоне и заливе было сопоставимо с весной, на этом фоне снова выделялся восточный район, где отмечались повышенные концентрации. Осенью после прекращения активной жизнедеятельности планктона концентрации аммонийного азота возрастили, особенно в устьевой зоне и в восточном районе, в заливе содержание аммонийного азота снижалось в 4 раза, в морском районе было минимальным. В ноябре с речным стоком в аммонийной форме поступало в несколько раз больше азота, чем в виде нитратов, в отличие от февраля.

В целом наибольшие концентрации аммонийного азота отмечены в устьевой зоне и в восточном районе (рис. 3, а), куда они поступают с речным стоком и, возможно, в результате антропогенного загрязнения. В заливе содержание аммонийного азота ниже, в июне — многократно, и его поступление по морскому каналу может оказывать эвтрофирующее влияние на залив и на прибрежную Балтику. В частности, концентрация аммонийного азота на выходе из восточного района была многократно выше, чем в заливе (соответственно 152 и 13 мкг N/л в июне, 225 и 89 мкг N/л в ноябре). Также в ноябре было увеличение в прибрежной зоне по сравнению с более мористым районом (19 и 5 мкг N/л).

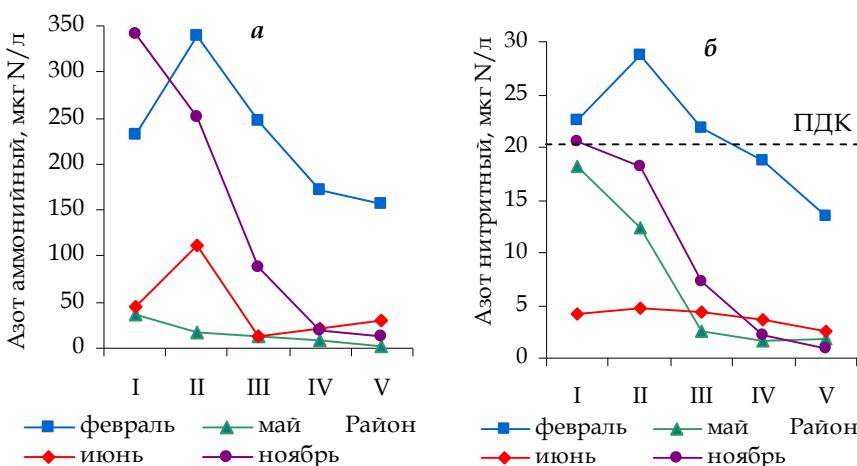


Рис. 3. Концентрации аммонийного азота (а) и нитритного азота (б) в морском канале и прибрежной Балтике



Нитритный азот в природных водах представляет собой промежуточный продукт окисления аммоний-иона до нитрат-иона. В 2024 г. наибольшие концентрации нитритного азота были в феврале и ноябре одновременно с высоким содержанием аммонийного азота и согласовывались с его пространственным распределением (коэффициент корреляции $r = 0,77$ и $0,88$). Максимальные величины отмечались в устьевой зоне и восточном районе и значительно снижались в заливе (рис. 3, б). В феврале от устьевой зоны до залива и в ноябре в устьевой зоне концентрации нитритного азота превышали ПДК (20 мкг N/l). Такое высокое содержание нитритного азота, вероятно, связано с окислением в воде аммоний-иона, концентрации которого также были максимальны в этих районах. Летом низкие концентрации нитритного азота ($3–5 \text{ мкг N/l}$) наблюдались на всей акватории. Минимальные концентрации отмечены в заливе и морском районе, особенно с мая по ноябрь ($1–3 \text{ мкг N/l}$). Сезонная динамика нитритного азота в разных районах существенно различалась. В устьевой зоне и восточном районе она характеризовалась высокими величинами на протяжении большей части года, за исключением летней межени. На акватории залива и в морском районе, напротив, концентрации были на низком уровне в течение года, за исключением периода половодья, когда большое количество нитритного азота поступает с речным стоком в эти районы.

Нитратный азот является важнейшей формой поступления азота в водные экосистемы с речным стоком. Его содержание имеет выраженную сезонную изменчивость. Поступление в период половодья с речными водами Преголи определяет сезонный максимум. В феврале 2024 г. наибольшие концентрации ($990–1130 \text{ мкг N/l}$) были в устьевой зоне и восточном районе, заполненном пресными водами стока Преголи (рис. 4, а, правая ось Y). В заливе и морском районе величины нитратного азота снижались, но сохранялись на достаточно высоком уровне ($700–820 \text{ мкг N/l}$). Весной (апрель – май) нитраты интенсивно потребляются водорослями, поэтому их концентрация многократно уменьшалась. В мае 2024 г. максимальные концентрации (в среднем 466 мкг N/l) отмечались в устьевой зоне, где сохранялось сильное влияние речных вод (соленость $<1 \text{ ПЕС}$) (рис. 4, а, левая ось Y). Речной сток распространялся до начала восточного района (станция 5 – соленость $1,5 \text{ ПЕС}$), дальше акватория была занята более солеными водами ($2,5–2,9 \text{ ПЕС}$), в которых наблюдалось аномально высокое весеннее «цветение» (хлорофилл «а» соответствовал гипертрофному уровню, $>100 \text{ мкг/l}$). Весь нитратный азот использовался фитопланктоном, и наблюдалось резкое уменьшение его концентрации: от 454 (станция 5) до 3 мкг N/l (станция 7) на расстоянии 5 км . Минимальные концентрации в мае наблюдались в заливе, незначительно увеличиваясь в прибрежной Балтике ($0,2$ и 2 мкг N/l). Летом в июне высокая величина нитратного азота была только на границе реки и устьевой зоны (станция 1 – 101 мкг N/l), но уже в самой устьевой зоне (станции 2, 3) азот использовался до концентрации $7–8 \text{ мкг N/l}$ при «цветении» воды (хлорофилл «а» $>100 \text{ мкг/l}$). Минимальные концентрации отмечались в заливе и прибрежной Бал-



тике ($1-4$ мкг N/л), где их активно использовал фитопланктон. Осенью величины нитратного азота увеличиваются из-за снижения обилия фитопланктона. В ноябре в устьевой зоне и восточном районе наблюдались повышенные концентрации (122 и 112 мкг N/л). В самом заливе эти величины уменьшались в 4–5 раз, а в морском районе были минимальны.

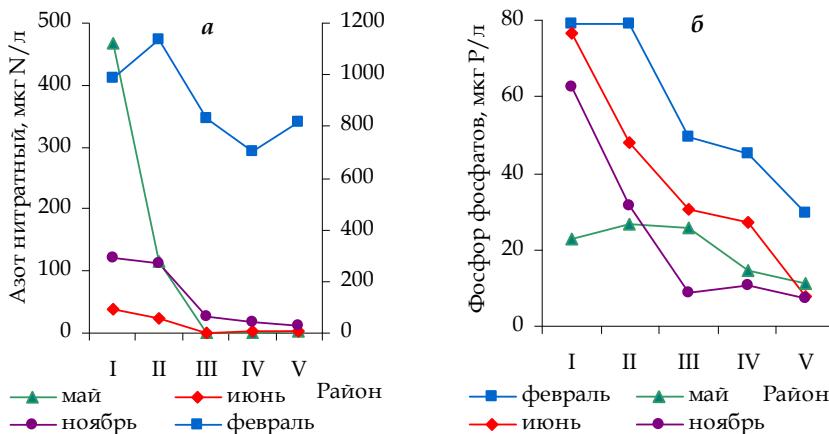


Рис. 4. Концентрации нитратного азота (а) и фосфора фосфатов (б) в морском канале и прибрежной Балтике

Сезонная динамика нитратного азота в Калининградском морском канале в целом соответствовала ранее установленной для Вислинского залива и реки Преголи [1; 12; 15; 16], характеризуясь максимумом до начала активного развития фитопланктона весной, летним минимумом, особенно в условиях «цветения» воды, и постепенным увеличением осенью. Отличия наблюдались только в районе устьевой зоны, где были высокие концентрации азота весной и летом, обусловленные поступлением с речным стоком (рис. 4, а).

Во время половодья (февраль) и слабого развития фитопланктона (февраль, ноябрь) область высоких концентраций нитратного азота распространялась на восточный район. В эти периоды поступление нитратного азота по морскому каналу может оказывать эвтрофирующее влияние на залив и опосредованно на прибрежную Балтику. В частности, в ноябре 2024 г. концентрация азота на выходе из восточного района была значительно выше, чем в заливе (128 и 25 мкг N/л), а в морской зоне за проливом (станция 17–19 мкг N/л) – многократно выше, чем мористее (станция 18–3 мкг N/л).

Фосфор фосфатов имеет сезонную изменчивость, максимальные концентрации формируются за счет зимней аккумуляции на водосборной территории и поступления с речным стоком. В 2024 г. наибольшие концентрации наблюдались в конце февраля, в устьевой зоне и восточном районе, заполненном пресными водами Преголи, они составляли в среднем 79 мкг P/л. В заливе и в районе пролива концентрации снижались, но сохранялись на достаточно высоком уровне (45–50 мкг P/л),



уменьшаясь в морском районе (до 30 мкг Р/л) (рис. 4, б). Весной содержание фосфора снижалось, без максимума в устьевой зоне, и уменьшалось в морском районе. Концентрация фосфора вновь возрастала летом, несмотря на его интенсивное использование фитопланктоном: максимальная концентрация (102 мкг Р/л) отмечена на границе реки и устьевой зоны, далее она постепенно уменьшалась. В конце осени концентрации фосфора были ниже. Наибольшие величины фосфора фосфатов отмечены в устьевой зоне (63 мкг Р/л), снижаясь в два раза в восточном районе, а в заливе и морском районе концентрации были значительно ниже (7–11 мкг Р/л) из-за затока морских вод (рис. 4, б). В заливе фосфора фосфатов обычно в 1,5–3 раза меньше, чем в восточном районе, и его поступление по каналу оказывает эвтрофирующее влияние на Калининградский залив и прибрежную зону Балтики.

В целом наибольшие концентрации фосфора фосфатов характерны для устьевой зоны, куда фосфаты поступают со стоком реки Преголи. В феврале область высоких концентраций фосфора, так же как и азота, распространялась на восточный район (рис. 4, б). На концентрацию фосфора оказывали влияние как интенсивность поступления с речным стоком, так и заток морских вод и распределение этих вод в эстuarной системе. Для февраля, мая и ноября наблюдалась высокая зависимость от солености воды (достоверность аппроксимации $R^2=0,90–0,94$). Более пресные воды характеризовались повышенной концентрацией фосфора, поступающего с речным стоком, и наоборот, заток морских вод мог снижать концентрацию фосфора за счет разбавления (рис. 5). Зависимость отсутствовала только в мае, когда с увеличением солености в восточном районе и заливе одновременно увеличивалось содержание фосфора фосфатов из-за внутренней биогенной нагрузки.

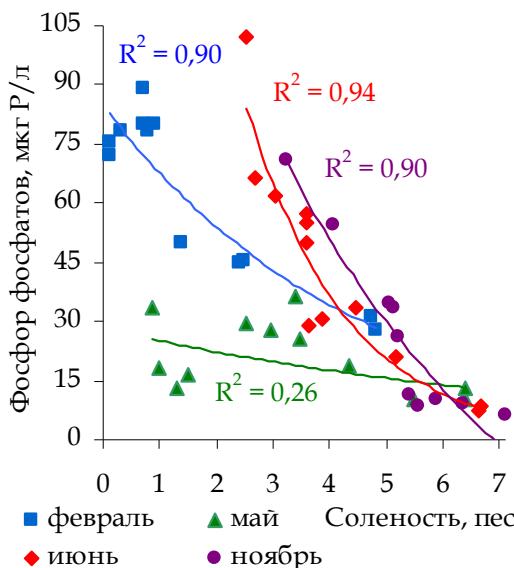


Рис. 5. Зависимость между соленостью и фосфором фосфатов в морском канале и прибрежной Балтике



Сезонная динамика содержания фосфора фосфатов имеет отличие от внутригодовой изменчивости, типичной для водных экосистем умеренных широт. Наряду с характерным максимумом зимой и в начале весны до начала активного развития фитопланктона, весенним снижением и постепенным увеличением осенью наблюдается рост концентраций минерального фосфора летом. Такое увеличение вероятно, связано с активной минерализацией органического вещества в воде и донных осадках и ранее отмечалось в высоковтрофном Калининградском заливе [1; 13; 16; 25; 29].

Антропогенное загрязнение

109

Проведенные в 2024 г. исследования показали, что наибольшие концентрации биогенных веществ, превышающие ПДК, наблюдаются в восточном районе Калининградского морского канала, где находится выпуск очистных сооружений Калининграда и ряд промышленных предприятий и населенных пунктов. Основное загрязнение отмечается по аммонийному и нитритному азоту. Эти вещества могут поступать со слабоочищенными сточными водами. В феврале ниже выпуска очистных сооружений (станция №5) наблюдалось двукратное увеличение аммонийного азота (до 444 мкг N/л), превышающее ПДК (400 мкг N/л). Также повышенные концентрации аммонийного азота отмечены в районе пос. Ижевское и г. Светлый: они достигали 152–183 мкг N/л в июне, что было многократно выше, чем восточнее.

Нитритный азот – единственный показатель из биогенных элементов, который в Калининградском заливе может сезонно в период половодья превышать ПДК (20 мкг N/л), что наблюдалось в феврале 2024 г. на значительной акватории от устья реки до акватории залива. Ранее такое превышение уже отмечалось в Калининградском заливе в ранневесенний период [1; 16]. В этот период высокие концентрации нитритов не связаны напрямую с антропогенным загрязнением со сточными водами, а являются результатом окисления в воде аммоний-иона, в большом количестве поступающего с речным стоком. Наряду с этим отмечается и антропогенное загрязнение по нитритному азоту, так как его наибольшие величины (1,5–2-кратный рост концентрации до 33–39 мкг N/л) регулярно (февраль, май, ноябрь) выявлялись ниже выпуска очистных сооружений (станция №5).

Для нитратного азота не выделены зоны высоких концентраций, которые могут быть связаны со значительным и регулярным антропогенным загрязнением, в частности у выпуска очистных сооружений Калининграда. Отмечено локальное увеличение в июне в районе пос. Ижевское (на 50 %) по сравнению с участками выше и ниже. На всей акватории концентрации в течение года были многократно ниже ПДК для рыбоводческих водоемов (9100 мкг N/л).

Опубликованные данные по биогенным элементам в Калининградском морском канале ограничены, в частности наблюдениями в 2005–2006 гг. [2], однако также показывают превышение ПДК по азоту между



пос. Взморье и г. Светлый (аммонийный азот 442 и 474 мкг N/л в апреле и ноябре). В 2024 г. уровень загрязнения был ниже, что, возможно, свидетельствует об улучшении очистки вод и экологической ситуации в целом. Это подтверждает тенденцию для Калининградского залива, когда после введения в 2016 г. новых очистных сооружений Калининграда содержание аммонийного азота снизилось и перестало отмечаться превышение ПДК [1; 16]. Превышения по азоту имели однократный характер, но требуют внимания для оценки эффективности работы очистных сооружений Калининграда и выявления потенциальных источников загрязнения вод в районе пос. Ижевское и г. Светлый.

110

Для фосфора фосфатов не отмечено локальное повышение концентраций в местах возможного антропогенного воздействия. На всей акватории восточного района, включая район выпуска очистных сооружений Калининграда, пос. Ижевское, г. Светлый, наблюдались близкие величины фосфора. До 2016 г. в Приморской бухте, куда поступали неочищенных сточные воды Калининграда, отмечалось превышение ПДК для эвтрофных вод (200 мкг P/л), что могло быть следствием антропогенного загрязнения [1; 16; 25]. Значительно более низкие величины в 2024 г., вероятно, свидетельствуют об удовлетворительной работе новых очистных сооружений, предусматривающих дефосфатирование.

Уровень эвтрофирования и гидрохимические условия «цветения» воды

В качестве основополагающих критериев трофического статуса (эвтрофирования вод) используют ключевые для функционирования водных экосистем биологические и гидрохимические показатели, в том числе концентрацию минерального азота и фосфора в зимний период. Они характеризуют нагрузку на экосистему и ее потенциальную возможность достичь определенного уровня биопродуктивности [9]. Соответственно принятой для вод Балтийского моря, включая прибрежные зоны, классификации [28], концентрация минерального азота (сумма аммонийного, нитритного и нитратного азота) в феврале 2024 г. на всей акватории (840–1800 мкг N/л) соответствовала потенциально гипертрофному уровню (>840 мкг N/л). Концентрация фосфора фосфатов в устьевой зоне и восточном районе (78–89 мкг P/л) также приближалась к этому уровню (93 мкг P/л). В заливе и морском проливе (50 и 45 мкг P/л) она соответствовала эвтрофному уровню, в прибрежной Балтике (30 мкг P/л) снижалась до пограничного с мезотрофными водами состояния (условная граница 25 мкг P/л) (рис. 3, 4). При избытке азота, поступающего с речным стоком в период половодья, поступление и содержание фосфора в этот период определяет потенциальный уровень биопродуктивности. В весенний период (май) в восточном районе наблюдалось массовое развитие фитопланктона до гипертрофного уровня (хлорофилл «а» >100 мкг/л), которое вдвое снижалось в



заливе и далее в прибрежной Балтике. Потенциальный трофический уровень по зимним концентрациям азота и фосфора соответствует наблюдаемому гипертрофному состоянию Калининградского залива (по обилию и продуктивности планктона) по многолетним данным [3].

В период интенсивного развития фитопланктона концентрации азота снижались до минимальных величин, а концентрации фосфора фосфатов, напротив, сохранялись на высоком уровне, особенно в восточном районе и заливе (26–27 мкг Р/л весной и 31–48 мкг Р/л летом) (рис. 3, 4). Вероятно, увеличение концентрации фосфора фосфатов обусловливается активной в теплый период минерализацией органического вещества. Летнее увеличение содержания фосфора фосфатов – характерная черта Калининградского залива и ряда других эвтрофных лагун Балтики, связанная с активно протекающими процессами деструкции органического вещества [1; 13; 16; 25]. При одновременно низкой концентрации минерального азота в эстуарной системе реки Преголи (включая морской канал и залив) соотношение минеральных форм N:P=1–3, что значительно ниже стехиометрического соотношения для фитопланктона. Как следствие, наблюдается азотная лимитация водорослей, и в этих условиях преимущество получают цианобактерии, способные к азотфиксации. В результате в морском канале и Калининградском заливе летом наблюдается «гиперцветение» воды (хлорофилл «а» >100 мкг/л), которое может неблагоприятно воздействовать на прибрежные зоны и условия обитания гидробионтов.

Заключение

Гидрохимический режим эстуарной системы реки Преголи во многом определяется поступлением азота и фосфора с водосборной территории, их участием в биологических процессах, а также антропогенным загрязнением. Сезонная динамика минеральных форм фосфора и азота характеризуется максимумом, связанным с накоплением в зимний период в водной экосистеме и на водосборной территории и интенсивным поступлением в период половодья. Весной с началом активной вегетации планктона содержание азота и фосфора значительно снижалось. Минимальные концентрации, особенно азота, характерны для лета, особенно в период «цветения» воды (хлорофилл «а» >100 мкг/л) при максимальном прогреве вод (>20 °C). Осенью происходит увеличение содержания азота и фосфора, связанное с окончанием вегетационного периода. Сезонная динамика соответствовала ранее установленным закономерностям для Калининградского залива как части эстуария, но выявила значительно больший диапазон изменчивости с учетом анализа на всем протяжении от устья до морских вод.

Пространственное распределение минеральных форм азота и фосфора имело наибольшие величины в устьевой зоне, куда поступают речные воды Преголи, значительно снижаясь в заливе и морском районе. В период половодья (февраль) область высоких концентраций распространялась на восточный район (соленость <1 ПЕС). В условиях



интенсивного водообмена с морем часть минерального азота и фосфора, а также планктона поступает в прилегающую акваторию Балтийского моря, что увеличивает их концентрации в прибрежной зоне за морским проливом.

На концентрацию биогенных элементов оказывают влияние как интенсивность его поступления с речным стоком и заток морских вод, так и распределение этих факторов в эстуарной системе. Для фосфора фосфатов отмечена высокая корреляция с соленостью воды ($R^2=0,90-0,94$), обусловленная их повышенным поступлением с речным стоком и, наоборот, низкими концентрациями в морской воде.

112

Эстуарная система реки Преголи находится под значительным антропогенным воздействием, в том числе из точечных источников. Эпизодическое загрязнение, превышающее ПДК по аммонийному и нитритному азоту, и повышенные величины нитратного азота в 2024 г. наблюдались в восточном районе Калининградского морского канала у выпуска очистных сооружений Калининграда, а также у пос. Ижевское. По фосфору локального загрязнения не отмечено.

В зимний период в эстуарной системе реки Преголи концентрации минерального азота и фосфора соответствуют потенциально гипертрофному уровню, который реализуется в массовом весеннем развитии водорослей. Увеличение фосфора фосфатов летом при минимуме азота создает условия для развития азотфикссирующих цианобактерий и «цветения» воды.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ИО РАН (тема № FMWE-2024-0025). Автор выражает благодарность Д.А. Найданову, В.В. Лариной, А.О. Корнеевой, М.О. Ульяновой за помощь в выполнении экспедиционных работ и гидрохимических анализов.

Список литературы

1. Александров С.В. Пространственные изменения гидрохимических показателей в Вислинском заливе в 2014–2016 годах // Труды АтлантНИРО. 2018. Т. 2, №1 (5). С. 5–21. EDN: LZNYIX.
2. Александров С.В., Сенин Ю.М. Гидрохимические условия в Калининградском морском канале // Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 2006–2007 годах. Т. 1: Балтийское море и заливы. Калининград, 2009. С. 146–155.
3. Александров С.В., Стасико А.В. Экологическое состояние Вислинского залива с учетом параметров качества и эвтрофирования вод // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные и медицинские науки. 2023. №3. С. 78–91. doi: 10.5922/gikbfu-2023-3-6.
4. Буканова Т.В., Бубнова Е.С., Александров С.В. Дистанционный мониторинг морской площадки карбонового полигона «Росянка» (Балтийское море): первые результаты // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19, №6. С. 234. doi: 10.21046/2070-7401-2022-19-6-234-247.
5. Горбунова Ю.А. Поступление биогенных веществ с водосборного бассейна реки Преголи в Вислинский залив // Вестник Российского государственного университета им. И. Канта. 2010. №1. С. 87–93. EDN: LDEOSJ.



6. Горбунова Ю.А., Чубаренко Б.В., Домин Д.А. Биогенная нагрузка на водосборный бассейн реки Преголи от антропогенных источников // Известия КГТУ. 2017. №47. С. 34–45. EDN: ZRTCRT.
7. Двоеглазова Н.В., Чубаренко Б.В. Гидрологическая ситуация накануне осолонения устьевого участка реки Преголи (Юго-Восточная Балтика) // Труды Кольского научного центра РАН. Сер.: Естественные и гуманитарные науки. 2024. Т. 3, №1. С. 21–26. doi: 10.37614/2949-1185.2024.3.1.003.
8. Двоеглазова Н.В., Чубаренко Б.В. Изменения в структуре гидрологических характеристик устьевой зоны смешения реки Преголи (Юго-Восточная Балтика) в период осеннего осолонения // Гидрометеорология и экология. 2024. №74. С. 87–104. doi: 10.33933/2713-3001-2024-74-87-104.
9. Коплан-Дикс И.С., Крыленкова Н.Л., Милиус А.Ю., Стравинская Е.А. Возможность количественной оценки пространственной неоднородности уровня трофии озер // Антропогенное перераспределение органического вещества в биосфере. СПб., 1993. С. 132–136.
10. Лукашин В.Н., Кречик В.А., Клювиткин А.А., Стародымова Д.П. Геохимия взвешенного вещества в маргинальном фильтре реки Преголи (Балтийское море) // Океанология. 2018. Т. 58, №6. С. 933–947. doi: 10.1134/S0030157418060102.
11. Молчанова Н.С. Основные виды антропогенного воздействия на водосборе р. Преголи // Биологические сообщества реки Преголи (бассейн Вислинского залива, Балтийское море). Калининград, 2013. С. 33–39.
12. Наумов В.А., Великанов Н.Л., Маркова Л.В., Смирнова А.А. Моделирование фонового гидрохимического режима р. Преголя // Вода: химия и экология. 2012. №11 (53). С. 91–98.
13. Романенко В.И., Сиренко Л.А., Федоровский А.Д. Экологические проблемы Днепра в ретроспективе и на современном этапе // Гидробиологический журнал. 1998. Т. 34, №6. С. 22–35.
14. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана. М., 2003.
15. Сенин Ю.М., Смыслов В.А., Хлопников М.М. Общая характеристика Вислинского залива // Закономерности гидробиологического режима водоемов разного типа. М., 2004. С. 17–18.
16. Сташко А.В., Александров С.В. Пространственное распределение и сезонная динамика гидрохимических условий в Вислинском заливе Балтийского моря в 2020–2022 гг. // Океанологические исследования. 2023. №51 (1). С. 71–90. doi: 10.29006/1564-2291.JOR-2023.51(1).4.
17. Чубаренко Б.В., Двоеглазова Н.В., Боскевич Р.В., Шушарин А.В. Пространственно-временная изменчивость гидрологических характеристик в зоне смешения реки Преголи (Юго-Восточная Балтика) и методические подходы к ее изучению // Океанологические исследования. 2024. №52 (1). С. 157–176. doi: 10.29006/1564-2291.JOR-2024.52(1).8.
18. Andrulewicz E., Kruk-Dowgiallo L., Osowiecki A. An expert judgment approach to designating ecosystem typology and assessing the health of the Gulf of Gdansk // Managing the Baltic Sea. Coastline Reports. 2004. №2. P. 53–61.
19. Chubarenko B., Gorbunova J., Domnin D. Scenario Analysis of Socio-Economic and Climate Related Changes in Nutrient Load and Retention for the Pregolya River Catchment (South-Eastern Baltic): The View at the Beginning of 21st Century // Fundamental and Applied Hydrophysics. 2024. Vol. 17, №2. P. 35–49. doi: 10.59887/2073-6673.2024.17(2)-4.
20. Ciesliski R., Chlost I. Water balance characteristics of the Vistula Lagoon coastal area along the southern Baltic Sea // Baltica. 2017. №30 (2). P. 107–117. doi: 10.5200/baltica.2017.30.12.



21. Domin D., Chubarenko B., Capell R. Formation and re-distribution of the river runoff in the catchment of the Pregolya River // The Handbook of Environmental Chemistry. 2018. Vol. 65. P. 269 – 284. doi: 10.1007/698_2017_97.
22. Korobchenkova K.D., Aleksandrov S.V., Semenova A.S. et al. Influence of Hydrometeorological Conditions on the Plankton Distribution in the Estuary of the Pregol River and the Coastal Part of the Baltic Sea // Oceanology. 2023. Vol. 63. Suppl. 1. P. S189 – S202. doi: 10.1134/S0001437023070068.
23. Kownacka J., Całkiewicz J., Kornijów R. A turning point in the development of phytoplankton in the Vistula Lagoon (southern Baltic Sea) at the beginning of the 21st century // Oceanologia. 2020. Vol. 62, №4. P. 538 – 555. doi: 10.1016/j.oceano.2020.08.004.
24. Krechik V., Krek A., Bubnova E., Kapustina M. Mixing zones within the complex transitional waters of the Baltic Sea Vistula Lagoon // Regional Studies in Marine Science. 2020. Vol. 34. P. 101023. doi: 10.1016/j.rsma.2019.101023.
25. Kruk M., Jaworska B., Jabłomska-Barna I., Rychter A. How do differences in the nutritional and hydrological background influence phytoplankton in the Vistula Lagoon during a hot summer day? // Oceanologia. 2016. T. 58, №4. C. 341 – 352. doi: 10.1016/j.oceano.2016.05.004.
26. McLusky D.S., Elliott M. The Estuarine Ecosystem: Ecology, Threats and Management. Oxford University Press. N.Y., 2024. doi: 10.1093/acprof:oso/9780198525080.001.0001.
27. Nawrocka L., Kobos J. The trophic state of the Vistula Lagoon: an assessment based on selected biotic and abiotic parameters according to the Water Framework Directive // Oceanologia. 2011. Vol. 53 (3). P. 881. doi: 10.5697/oc.53-3.881.
28. Wasmund N., Andrushaitis A., Lysiak-Pastuszak E. et al. Trophic status of the south-eastern Baltic sea: a comparison of coastal and open areas // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2001. Vol. 53, №6. P. 849 – 864. doi: 10.1006/ecss.2001.0828.
29. Witek Z., Zalewski M., Wielgat-Rychert M. Nutrient stocks and fluxes in the Vistula lagoon at the end of the twentieth century. Slupsk ; Gdynia, 2010.

Об авторе

Сергей Валерьевич Александров — канд. биол. наук, доц., ведущ. науч. сотр., Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Россия.

E-mail: hydrobio@mail.ru
ORCID: 0000-0002-9389-6381
SPIN-код: 1467-5765

S. V. Aleksandrov

SPATIAL AND SEASONAL DISTRIBUTION OF NUTRIENTS IN THE ESTUARINE SYSTEM OF THE PREGOLYA RIVER AND THE ADJACENT AREA OF THE BALTIC SEA

Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscow, Russia

Received 09 April 2025

Accepted 18 June 2025

doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-7

To cite this article: Aleksandrov S.V., 2025, Spatial and seasonal distribution of nutrients in the estuarine system of the Pregolya River and the adjacent area of the Baltic Sea, *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural Sciences*, №3. P. 99 – 115. doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-7.



Seasonal and spatial variations in the content of biogenic elements (mineral forms of nitrogen and phosphorus) are presented for the estuarine system of the Pregolya River (Kalininograd Sea Canal, Kaliningrad Bay) and the coastal zone of the Baltic Sea in 2024. Their seasonal dynamics were characterized by maxima during the high-water period. Minima were observed in spring and summer during water "blooming" against the background of intense water warming. Spatial distribution was characterized by the highest nitrogen and phosphorus concentrations in the estuarine zone, where the Pregolya River inflow occurs. Episodic pollution exceeding the maximum permissible concentrations for ammonium and nitrite nitrogen was recorded in the eastern section of the Kaliningrad Sea Canal, including the area near the Kaliningrad wastewater treatment plant outlets. In winter, concentrations of mineral nitrogen and phosphorus corresponded to a potentially hypertrophic level according to the classification for the Baltic Sea waters, which manifests in the high biological productivity of the Pregolya estuarine system. An increase in phosphorus during summer under low nitrogen concentrations creates conditions for the development of cyanobacteria and water "blooming." The inflow of biogenic substances through the marine strait increases their concentrations in the coastal zone and contributes to the eutrophication of this part of the Baltic Sea.

Keywords: Pregolya River, Kaliningrad Sea Canal, salinity, nitrogen, phosphorus, pollution, trophic status, algal bloom

The author

Dr Sergey V. Aleksandrov, Associate Professor, Leading Researcher, Shirshov Institute of Oceanology RAS, Russia.

E-mail: hydrobio@mail.ru
ORCID: 0000-0002-9389-6381
SPIN-код: 1467-5765

Д. А. Котляров

К ВОПРОСУ О ТИПЕ КЛИМАТА МАГАДАНА

Северо-Восточный государственный университет, Магадан, Россия

Поступила в редакцию 02.05.2025 г.

Принята к публикации 29.06.2025 г.

doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-8

116

Для цитирования: Котляров Д. А. К вопросу о типе климата Магадана // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2025. №3. С. 116 – 127. doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-8.

В настоящее время в географической науке существует несколько классификаций климата, разработанных разными авторами, как отечественными, так и зарубежными. Для каждой классификации имеются свои принципы выделения климатических поясов и типов климата. К числу таких принципов относятся температурно-влажностные характеристики, динамика общей циркуляции атмосферы, ландшафтно-географические особенности суши и т. д. Широкое распространение в отечественной науке получили две классификации климатов – Б. П. Алисова и В. П. Кёппена, которые были разработаны и дополнены еще в прошлом веке. В современной литературе часто для одного и того же населенного пункта указываются разные типы климата, соответствующие разным классификациям. Таким примером является и Магадан, для которого встречаются упоминания не только разных климатических поясов, но и типов климата. Так, в научной и учебной литературе отмечены упоминания субарктического и умеренного климатических поясов, а также разных типов (видов) климата, а именно морского, муссонного, континентального с влажными холодными показателями. Анализ и оценка основных климатических переменных и господствующих ветров позволили уточнить тип климата Магадана, который соответствует умеренному муссонному климату. Исследование, проведенное в сравнении с другими городами, типичными для разных типов климата, подтвердило эти результаты.

Ключевые слова: Магадан, классификации климатов, тип климата, муссонный климат

Введение

В современной научной и учебной литературе встречается несколько различных мнений относительно типа климата Магадана. Такое расхождение отмечается не только в учебной литературе, но и в географических атласах разных периодов издания [9], а также в ресурсах сети Интернет, в том числе энциклопедического характера.

Анализ литературных источников и ресурсов сети Интернет позволяет выделить несколько типов (видов) климата, регулярно упоминаемых для Магадана. При этом разные трактовки типов климата для города зачастую не обосновывают его принадлежность к указанному ти-



пу, ограничиваясь лишь общими фразами или полным отсутствием обоснования. Согласно классификации климатов Б.П. Алисова, тип климата Магадана определяют как субарктический морской, умеренный морской и умеренный муссонный. По классификации климатов В.П. Кёппена для Магадана указывают вид Dfc, или субарктический континентальный климат, характеризующийся влажными холодными показателями.

В основе типизации значительного ряда климатов на Земле в первую очередь лежат характеристики температурного режима и режима влажности территории, региональные особенности атмосферной циркуляции (господствующие воздушные массы), а также рельеф местности и радиационный баланс. Анализ переменных температурного режима позволяет выделить широтные планетарные климатические пояса, а анализ количества и режима выпадения осадков – влажный и сухой типы климата. По региональным особенностям атмосферной циркуляции климат делится на два типа – морской и континентальный.

Основной целью настоящего исследования является уточнение и обоснование типа климата, характерного для Магадана, посредством анализа и оценки различных климатических переменных.

Оценка типа климата Магадана предполагала изучение и анализ различных источников по тематике исследования. Так, основные вопросы климатологии как науки, изучающей закономерности формирования климата, и классификации климатов раскрываются в работах Б.П. Алисова [1; 2], В.П. Кёппена [17], С.П. Хромова и М.А. Петросянца [14]. Теоретические и практические вопросы формирования муссонов и муссонной циркуляции над территорией Дальнего Востока России изучены в трудах В.Б. Базаровой, М.А. Климина, Т.А. Копотевой [3], Н.Н. Кузнецовой, Д.А. Педь, В.П. Садокова [7], А.И. Дегтярева, Т.Г. Смирновой, Н.В. Дегтяревой [5]. Атмосферная циркуляция и циклоническая деятельность в различные временные интервалы рассмотрены в работах С.Ю. Глебовой [4], Л.И. Мезенцевой, А.С. Федулова [8], Ю.В. Сточкуте [13], Т.А. Шатилиной, Г.Ш. Цициашвили и Т.В. Радченковой [15; 16]. Основные тенденции климатических изменений как на региональном, так и на планетарном уровнях раскрываются в работах В.И. Пономарева, Е.В. Дмитриевой, С.П. Шкорбы, А.А. Карнаухова [10], И.Д. Ростова, А.А. Воронцова [11] и Э.Н. Серги [12].

Материалы и методы

Основными материалами для исследования послужили статистические данные, размещенные в открытом доступе на сайте справочно-информационного портала «Погода и климат» (<http://www.pogoda iklimat.ru>). К числу анализируемых климатических переменных относятся среднегодовые и среднемесячные температуры воздуха и их годовой ход по отдельным выбранным городам, годовое количество осадков и режим их выпадения, годовой ход относительной влажности воздуха, сезонная и годовая динамика повторяемости ветров для Магадана.



Анализ климатических переменных проводился на основе двух классификаций климата — Б. П. Алисова и В. П. Кёппена. Оценка осуществлялась по основным температурным и влажностным характеристикам, которые сравнивались с показателями других городов, обладающих данным типом климата или близким к нему. При этом анализ климатических переменных для классификации климата Б. П. Алисова осуществлялся по основному (умеренному) и переходному (субарктическому) климатическим поясам и типам климата, а для классификации климата В. П. Кёппена анализ проводился по основным характеристикам вида климата Dfc, в основе которого лежат среднемесячные температуры и показатели увлажнения.

118

В качестве дополнительного анализа климатических переменных осуществлялась оценка сезонной и годовой динамики повторяемости ветров, а также индекса муссонности. Для расчета индекса муссонности климата Магадана была использована формула, предложенная С. П. Хромовым. На основе этой формулы рассчитывается полусумма значений повторяемости направлений ветров в январе (как самом холодном месяце года) и июле (как самом теплом месяце года):

$$\text{ИМ}_{\text{Хр}} = \frac{\Pi_{\text{я}} + \Pi_{\text{и}}}{2}, \quad (1)$$

где ИМ_{Хр} — индекс муссонности В. П. Хромова, %; Π_я — повторяемость направлений ветров в январе, %; Π_и — повторяемость направлений ветров в июле, %.

Значения индекса менее 40 % указывают на то, что муссонный тип климата нехарактерен для этой территории. Значения индекса в интервале от 40 до 60 % характерны для территорий с муссонной тенденцией, а значение в 60 % говорит о принадлежности территории к муссонным районам (областям).

Для оценки типа климата Магадана широко использовались сравнительный, математический и картографический методы, а также статистический анализ данных.

Результаты и обсуждение

Анализ и итоговая оценка указанных ранее типов климата проводились путем сравнения их главных показателей — режима температуры и влажности. При отклонении данных переменных в Магадане от классических (эталонных) значений, характерных для других городов, дальнейшее сравнение не проводилось. В случае совпадения этих режимов проводился дополнительный анализ региональных особенностей прочих климатических переменных с целью дальнейшего уточнения типа климата.

Субарктический климатический пояс — это переходный пояс, расположенный между арктическим и умеренным климатическими поясами (между 60 и 73° с.ш.). Для этого пояса характерны два основных типа климата — морской и континентальный, которые существенно различаются между собой по ряду климатических переменных.



Субарктический морской (влажный) тип климата имеет ряд черт, отличающих его от континентального типа: большее количество осадков (особенно на наветренных склонах гор), выпадающих на протяжении всего года, меньшие суточные и годовые колебания температуры воздуха, высокая относительная влажность, прохладное пасмурное лето, более мягкая зима и т.д. Данный тип климата формируется на окраинах материков с высоким влиянием океанических (морских) пространств на приземные слои атмосферы как в летний, так и в зимний период.

Для субарктического морского типа климата, согласно классификации Б.П. Алисова, характерно годовое количество осадков, составляющее от 250 до 600 мм. Зима умеренно холодная, но продолжительная, со средними январскими температурами $-14\dots-30^{\circ}\text{C}$. Лето прохладное и короткое, а средняя температура июля составляет $+4\dots+12^{\circ}\text{C}$. Характерным примером города, имеющего субарктический морской климат на территории России, является Анадырь. Сравнительный анализ годового хода температуры и осадков для Анадыря и Магадана представлен на климатограммах (рис. 1).

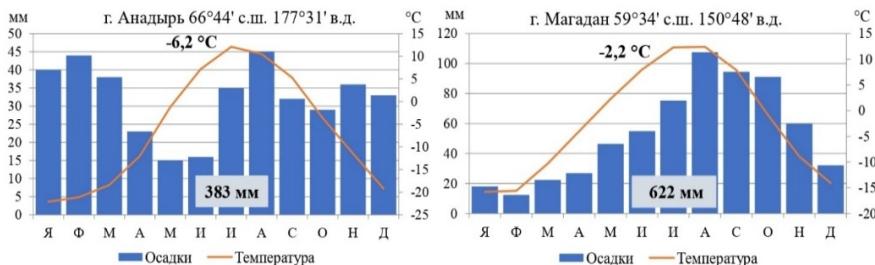


Рис. 1. Климатограммы Анадыря и Магадана

В Магадане наблюдаются более высокие средние летние и средние зимние температуры. При этом среднегодовое количество осадков выше и составляет 622 мм, что незначительно превышает средние значения для субарктического морского типа климата. Следует отметить, что режим выпадения осадков в Магадане и Анадыре существенно различается. Так, в Магадане четко прослеживаются два сезона — относительно сухой зимний и влажный летне-осенний. В Анадыре незначительный минимум осадков фиксируется в конце весны — начале лета, а в остальное время наблюдается относительно равномерный режим их выпадения. Данное несоответствие касается и интенсивности осадков в летне-осенний и зимний периоды, что также характерно для этих двух городов.

Вторым важным критерием для анализа является режим влажности. Годовой ход средней относительной влажности воздуха в двух рассматриваемых городах показывает, что изменение относительной влажно-



сти в большинстве случаев соответствует годовому режиму выпадения осадков в этих городах. Годовой ход относительной влажности воздуха в Анадыре более равномерный, что в целом характерно для морского типа климата. В Магадане наблюдается пик относительной влажности, приходящийся на летний период. В целом относительная влажность в Анадыре выше, чем в Магадане, на протяжении большей части года, за исключением летнего периода, когда в Магадане выпадает наибольшее количество осадков.

120

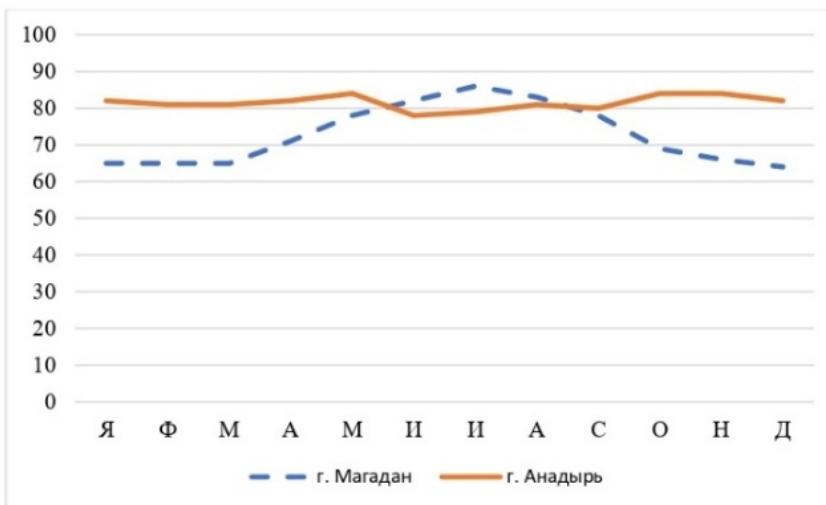


Рис. 2. Годовой ход средней относительной влажности воздуха в Магадане и Анадыре, %

Согласно классификации климатов В.П. Кёппена, для Магадана характерен вид климата Dfc, что соответствует субарктическому континентальному климату, характеризующемуся влажными холодными показателями [17]. Данному виду климата присущи постоянное увлажнение в течение всего года, короткое прохладное лето и период со среднемесячной температурой выше 10°C менее 4 месяцев в году. Однако анализ климатограммы Магадана показывает, что для города характерна смена режимов увлажнения в течение года, а не его постоянный характер. Так, в городе четко выделяются два сезона — влажный, приходящийся на лето и первую половину осени, и сухой, характерный для зимнего периода.

Таким образом, анализ представленных климатограмм и графика показывает, что количество осадков, режим их выпадения и годовой ход относительной влажности воздуха в Магадане не соответствуют субарктическому морскому (влажному) типу климата, характерному для Анадыря. Данное несоответствие характерно и для субарктического континентального климата с влажными холодными показателями (Dfc) по классификации В.П. Кёппена по причине несоответствия режима выпадения осадков.



Умеренный климатический пояс — это основной пояс, расположенный между двумя переходными климатическими поясами — субарктическим и субтропическим (между 40 и 68° с.ш.). Ввиду существенного расхождения как по температурным, так и по влажностным характеристикам здесь выделяют несколько типов климата: морской (западных частей континентов), континентальный (умеренно-континентальный, континентальный, резко-континентальный), муссонный. Особо следует отметить такие типы климата, как умеренный переходный от морского к континентальному, а также умеренный с холодной и снежной зимой, которые нашли свое отражение в классификации климатов Б.П. Алисова.

Умеренный морской тип климата формируется преимущественно на западных окраинах материков. Для этого типа климата, согласно классификации Б.П. Алисова, характерна мягкая зима со средними температурами от 0 до +8°C. Средние летние температуры составляют от +8 до +16°C. Количество осадков варьируется в среднем от 700 до 1000 мм (до 3000 мм на наветренных склонах). В течение всего года господствуют морские умеренные воздушные массы. Осадки выпадают в течение года, но с небольшим пиком, приходящимся на летний период, и связаны с прохождением циклонов.

Классического примера города с морским типом климата на территории России не существует. Тем не менее в научной и учебной литературе к морскому типу климата часто относят Петропавловск-Камчатский. Однако это не совсем корректно, так как, согласно классификации климатов Б.П. Алисова, он расположен на территории, для которой характерны влажное прохладное лето и холодная снежная зима. Именно низкие зимние температуры составляют отличие от классического морского типа, для которого характерна мягкая и относительно теплая зима. Близким к умеренному морскому типу климата является климат Калининграда, который по классификации Б.П. Алисова относится к переходному типу от океанического (морского) к континентальному с достаточным увлажнением. Для этого типа характерна более низкая средняя зимняя температура (от 0 до -16°C) и более высокая летняя (от +12 до +24°C) при среднегодовом количестве осадков от 300 до 1000 мм [1; 2].

Анализ климатограмм упомянутых городов показывает, что годовое количество осадков и режим их выпадения в Магадане не соответствуют умеренному морскому типу климата (рис. 3). При этом для Петропавловска-Камчатского и Калининграда можно отметить общие черты в режиме осадков, а именно: осадки выпадают в течение всего года с небольшими пиками и минимумами в отдельные периоды. Общее количество осадков в этих двух городах значительно превышает 700 мм, что не характерно для Магадана. Отличительные черты имеются и в годовом ходе температуры воздуха, в котором отмечаются более низкие значения зимних температур для Магадана по сравнению с двумя другими городами.

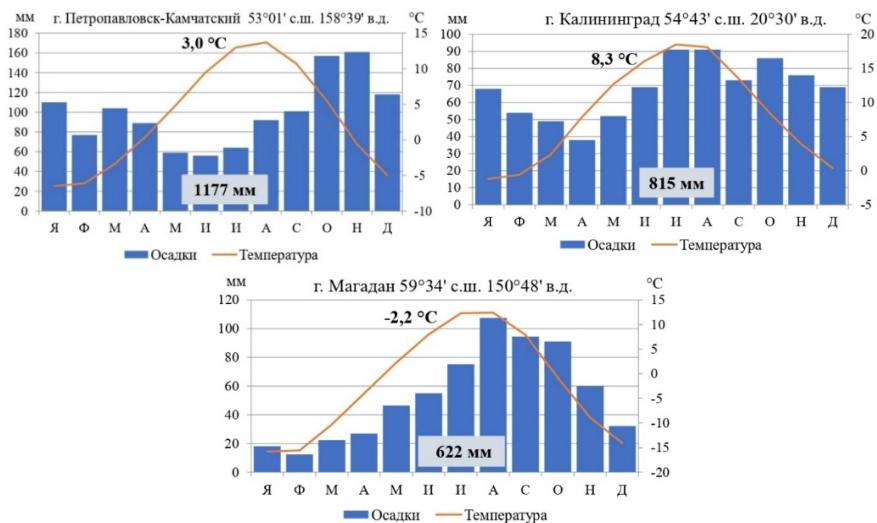


Рис. 3. Климатограммы Петропавловска-Камчатского, Калининграда и Магадана

Анализ годового хода средней относительной влажности воздуха показывает, что Магадан и Калининград имеют кардинальные отличия по данному показателю (табл.). В Магадане пик относительной влажности приходится на летний период, в то время как в Калининграде — на осенне-зимний. При относительно схожем годовом ходе относительной влажности в Магадане и Петропавловске-Камчатском в последнем относительная влажность выше в зимний период при более равномерном ее ходе в течение года. В целом относительная влажность воздуха в Петропавловске-Камчатском и Калининграде выше, чем в Магадане, на протяжении большей части года, за исключением летнего периода, на который приходится максимальное количество осадков.

**Годовой ход средней относительной влажности воздуха
в Магадане, Петропавловске-Камчатском и Калининграде, %**

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Магадан												
65	64	65	71	78	82	86	83	78	69	66	64	73
Петропавловск-Камчатский												
71	68	68	72	75	79	84	83	79	74	70	71	75
Калининград												
85	83	78	72	71	74	75	77	81	83	86	87	79

Умеренный муссонный тип климата характерен для восточной окраины материка Евразия. Согласно классификации Б. П. Алисова, в течение года здесь выпадает от 500 до 1200 мм осадков. В данном типе климата четко выделяются два сезона — влажный и сухой. Значительная часть осадков выпадает в летний (теплый) период года (до 2/3 от их



годового количества). Зима сухая и солнечная с минимальным количеством осадков. Зимние температуры варьируют от -10 до -32°C , а средние летние — от $+12$ до $+24^{\circ}\text{C}$.

Классическим примером города, имеющего умеренный муссонный тип климата, на территории России является Владивосток. Сравнительный анализ годового хода температуры и осадков для Владивостока и Магадана представлен на климатограммах (рис. 4).

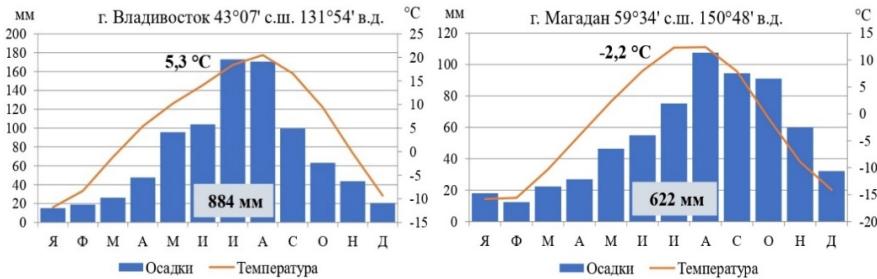


Рис. 4. Климатограммы Владивостока и Магадана

Анализ климатограмм Магадана и Владивостока позволяет сделать вывод о том, что для этих двух городов характерны общие черты, соответствующие критериям, обозначенным в классификации климатов Б.П. Алисова. Так, годовой ход средних температур соответствует критериям муссонного типа климата как по средним зимним, так и по средним летним температурам. Среднегодовое количество осадков в Магадане ниже, чем во Владивостоке, но в целом соответствует значениям, отличающим данный тип климата. В режиме выпадения осадков наблюдаются два сезона — влажный, характерный для теплого времени года, и относительно сухой зимний сезон. Следует отметить, что в Магадане отмечаются незначительные отклонения в режиме выпадения осадков в виде смещения их пика, приходящегося на вторую половину лета и первую половину осени [6].

Годовой ход относительной влажности воздуха в двух городах показывает практически идентичную динамику с той лишь разницей, что во Владивостоке незначительно более влажный воздух в летний период, а в Магадане — в зимний (рис. 5).

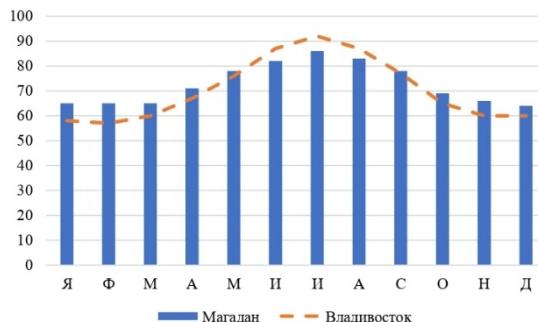


Рис. 5. Годовой ход средней относительной влажности воздуха в Магадане и Владивостоке, %



Таким образом, оценка главных климатических показателей Магадана (режима температуры и влажности) позволяет сделать выводы о том, что в целом эти значения соответствуют значениям, характерным для умеренного муссонного типа климата. Проведем дополнительный анализ прочих климатических переменных с целью дальнейшего уточнения этого типа климата, а именно оценку сезонной и годовой динамики повторяемости ветров, а также индекса муссонной циркуляции.

Сезонная и годовая динамика повторяемости ветров является важным критерием муссонного типа климата и отражает сложившуюся многолетнюю систему воздушных течений (потоков). Для системы воздушных потоков характерны резкие изменения направления ветра на противоположное или близкое к противоположному от зимы к лету и от лета к зиме. При этом для муссонного типа климата характерен угол между преобладающими ветрами от 120 до 180° [14]. Для Магадана это значение полностью соответствует необходимому углу и составляет 135° (рис. 6). Так, преобладающие приземные ветры в январе в Магадане имеют северо-восточное направление, а в августе (самый теплый месяц года, по которому проводились расчеты) – западное. Следует отметить, что в Магадане в зимний период воздушные массы приходят преимущественно из континентальной части, над которой формируется область повышенного атмосферного давления, принося ясную сухую морозную погоду. В летний период воздушные массы приходят из акватории Тихого океана, принося значительное количество осадков, а вместе с ними прохладную и сырую погоду.

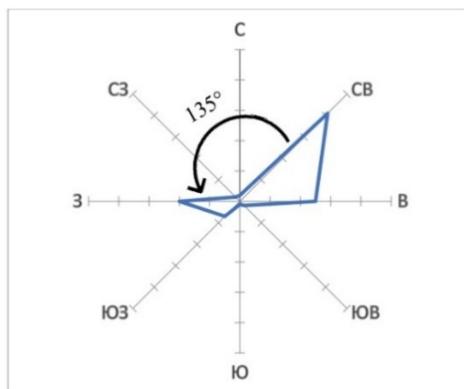


Рис. 6. Повторяемость ветров в Магадане, %

Оценка индекса муссонной циркуляции также позволяет сделать вывод о том, что Магадан имеет умеренный муссонный тип климата. Общее значение индекса муссонной циркуляции составляет 55,5 %. При этом повторяемость северо-восточных ветров в январе в Магадане составляет 63 %, а западных ветров в июле – 48 % [6]. Согласно методике расчета индекса континентальности, предложенной С.П. Хромовым, город относится к области с муссонной тенденцией (значение индекса 40–60 %) [14].



Заключение и выводы

Анализ и оценка типа климата Магадана позволяют сделать вывод о том, что по ряду характерных особенностей он относится к умеренно-му муссонному типу климата. Так, годовой ход средних зимних и летних температур соответствует критериям муссонного климата по классификации Б.П. Алисова. При этом среднегодовое количество осадков в Магадане также соответствует значениям, характерным для данного типа климата. В режиме выпадения осадков четко выделяются два сезона: зима – сухой сезон с минимальным количеством атмосферных осадков, и лето – влажный сезон с интенсивными осадками и их максимальным количеством. Годовой ход относительной влажности воздуха в городе повторяет режим выпадения осадков, где максимальный пик влажности приходится на теплый сезон, а минимальная влажность отмечается в зимние месяцы. Муссонность климата подтверждается расчетными значениями индекса муссонной циркуляции, который составляет для Магадана 55,5 %, что соответствует территориям с муссонной тенденцией.

125

Список литературы

1. Алисов Б.П., Полтараус В.В. Климатология : учебник для геогр. ф-тов ун-тов, специализирующихся по метеорологии и климатологии. 2-е изд., перераб. и доп. М., 1974.
2. Алисов Б.П. Географические типы климатов // Метеорология и гидрология. 1936. №6. С. 16 – 25.
3. Базарова В.Б., Климин М.А., Копотева Т.А. Голоценовая динамика восточно-ионийского муссона в Нижнем Приамурье // География и природные ресурсы. 2018. №3. С. 124 – 133. doi: 10.21782/GIPR0206-1619-2018-3(124-133).
4. Глебова С.Ю. Циклоны над Тихим океаном и дальневосточными морями в холодные и теплые сезоны и их влияние на ветровой и термический режим в последний двадцатилетний период // Известия ТИИРО. 2018. Т. 193. С. 153 – 165. doi: 10.26428/1606-9919-2018-193-153-166.
5. Дегтярев А.И., Смирнова Т.Г., Дегтярева Н.В. Об индексах муссонной циркуляции // Метеорология и гидрология. 2007. №1. С. 43 – 52. EDN: KUHPFH.
6. Котлярев Д.А. Оценка особенностей муссонного климата города Магадан // Тихоокеанская география. 2024. №3. С. 70 – 83. doi: 10.35735/2687050_9_2024_19_5.
7. Кузнецова Н.Н., Педь Д.А., Садоков В.П. О количественной оценке муссонной циркуляции атмосферы на Дальнем Востоке // Метеорология и гидрология. 1989. №11. С. 12 – 17.
8. Мезенцева Л.И., Федулов А.С. Климатические тенденции атмосферной циркуляции на Дальнем Востоке // Известия КГТУ. 2017. №46. С. 175 – 183. EDN: WPCCJY.
9. Национальный атлас России. Т. 2: Природа и экология. М., 2007. С. 146 – 150.
10. Пономарев В.И., Дмитриева Е.В., Шкорба С.П., Карнаухов А.А. Изменение планетарного климатического режима на рубеже ХХ – ХХI веков // Вестник МГТУ. 2018. Т. 21, №1. С. 160 – 169. doi: 10.21443/1560-9278-2018-21-1-160-169.



11. Ростов И.Д., Дмитриева Е.В., Воронцов А.А. Тенденции климатических изменений термических условий прибрежных районов Охотского моря за последние десятилетия // Известия ТИНРО. 2017. Т. 191. С. 176–194. doi: 10.26428/1606-9919-2017-191-176-195.
12. Серга Э.Н. Особенности распределения однородных зон в полях гидрометеорологических характеристик над северотихоокеанским регионом в холодный период года // Вестник Московского университета. Сер. 5: География. 2018. №1. С. 49–56. EDN: YPQITI.
13. Сточкуте Ю.В., Васильевская Л.Н. Атмосферная циркуляция и температурно-влажностный режим северо-востока России // Естественные и технические науки. 2018. №1. С. 98–100. EDN: YPWKA.
14. Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология. 4-е изд. М., 1994.
15. Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Радченкова Т.В. Охотский тропосферный циклон и его роль в формировании экстремальной температуры воздуха в январе в 1950–2019 гг. // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2021. №3 (381). С. 64–79. doi: 10.37162/2618-9631-2021-3-64-79.
16. Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Радченкова Т.В. Особенности изменчивости летних центров действия атмосферы над Дальним Востоком и климатические экстремумы в период 1980–2017 гг. // Ученые записки Российской государственного гидрометеорологического университета. 2019. №56. С. 61–80. doi: 10.33933/2074-2762-2019-56-61-80.
17. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated URL: <https://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/present.htm> (дата обращения: 14.03.2025).

Об авторе

Дмитрий Анатольевич Котляров – канд. геогр. наук, доц., Северо-Восточный государственный университет, Россия.

E-mail: svms@sapo.pt

SPIN-код: 1749-0391

D.A. Kotlyarov

ON THE TYPE OF MAGADAN CLIMATE

North-Eastern State University, Magadan, Russia

Received 02 May 2025

Accepted 29 June 2025

doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-8

To cite this article: Kotlyarov D.A., 2025, On the type of Magadan climate, *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural Sciences*, №3. P. 116–127. doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-8.

Currently, there are several classifications of climate in geographical science, developed by different authors, both domestic and foreign. Each classification has its own principles for distinguishing climatic belts and climate types. Such principles include temperature and humidity characteristics, dynamics of the general circulation of the atmosphere, landscape and geographic features of the land, etc. Two classifications of climates – B.P. Alisov's and V.P. Köppen's, which were developed and supplemented back in the last century – are wide-



ly spread in domestic science. In modern literature, different types of climate corresponding to different classifications are often indicated for the same locality. Such an example is Magadan, for which not only different climatic belts but also climate types are mentioned. Thus, in scientific and educational literature there are mentions of subarctic and temperate climatic belts, as well as different types (kinds) of climate, namely: maritime, monsoon, continental with wet cold indicators. The analysis and assessment of the main climatic variables and prevailing winds allowed to specify the type of climate of Magadan, which corresponds to the temperate monsoon climate. The study, conducted in comparison with other cities typical for different types of climate, confirmed these results.

Keywords: Magadan, climate classifications, climate type, monsoon climate

The author

127

Dr Dmitry A. Kotlyarov, Associate Professor, North-Eastern State University, Russia.

E-mail: svms@sapo.pt

SPIN-код: 1749-0391

БИОЛОГИЯ, БИОТЕХНОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

УДК 543.645.6

**С. Л. Тихонов^{1, 2}, Н. В. Тихонова¹, И. Ф. Гетте³
К. В. Соколова³, И. Г. Данилова³, С. В. Шихалев⁴
Е. Б. Сысуев⁵**

128

АНТИГИПЕРГЛИКЕМИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ПЕПТИДОВ ГИДРОЛИЗАТА МОЛОЗИВА КОРОВ

¹ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

³ Институт иммунологии и физиологии Уральского отделения РАН,
Екатеринбург, Россия

⁴ Уральский государственный экономический университет,
Екатеринбург, Россия

⁵ Филиал ФГБУ «ВНИИИМТ» Росздравнадзора в г. Екатеринбург,
Екатеринбург, Россия

Поступила в редакцию 13.03.2025 г.

Принята к публикации 29.05.2025 г.

doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-9

Для цитирования: Тихонов С.Л., Тихонова Н.В., Гетте И.Ф., Соколова К.В.,
Данилова И.Г., Шихалев С.В., Сысуев Е.Б. Антигипергликемическое действие пептидов гидролизата молозива коров // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2025. №3. С. 128 – 139. doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-9.

Одним из перспективных путей профилактики и лечения сахарного диабета 2-го типа (СД2) является использование биопептидов, полученных на основе данных протеомики. Изучено влияние ферментативного гидролизата молозива коров, содержащего десять пептидов, на развитие сахарного диабета 2-го типа на крысах-самцах линии Wistar. В опытах сформированы 3 группы крыс линии Wistar по 7 животных в каждой: 1-я группа – интактные, у крыс 2-й и 3-й групп индуцировали СД2. Животные 3-й группы получали дополнительно к основному рациону трипсиновый гидролизат молозива коров внутрижелудочно. На крысах линии Wistar с индуцированным СД2 доказано антигипергликемическое и антиоксидантное действие трипсинового гидролизата молозива коров. Количество глюкозы и гликированный гемоглобина в крови животных с СД2, получавших трипсиновый гидролизат, снизилось относительно животных с СД2, не получавших лечения. Введение трипсинового гидролизата молозива коров крысам 3-й группы привело к снижению потери массы тела относительно животных 2-й группы



и сопровождалось менее выраженной гипергликемией. Содержание МДА и активность каталазы снизились, нормализовался уровень восстановленного глутатиона и липо-протеидных фракций.

Ключевые слова: пептиды, молозиво коров, крысы *Wistar*, антигипергликемическое и антиоксидантное действие

Введение

С повышением уровня жизни и изменением рациона питания частота возникновения хронических метаболических заболеваний, таких как ожирение, диабет, гиперлипидемия, жировая болезнь печени иosteoporоз, постепенно увеличивается. По степени вредности они уступают только сердечно-сосудистым и цереброваскулярным заболеваниям, а также раку, которые негативно влияют на качество жизни. Диабет является одним из распространенных хронических метаболических заболеваний [1].

Согласно 10-му изданию «Глобальной карты диабета», в 2021 г. во всем мире у 537 млн взрослых был диагностирован сахарный диабет (СД) и ожидается, что в 2030 и 2045 гг. это число вырастет до 643 и 783 млн соответственно [2].

Сахарный диабет 2-го типа (СД2) возникает в результате относительной недостаточности инсулина и/или резистентности к инсулину. Он преимущественно наблюдается у людей среднего и старшего возраста и составляет до 90 % всех случаев СД2. Помимо самого СД2, серьезную угрозу для здоровья людей с этим заболеванием представляют диабетические осложнения, вызванные постоянной гипергликемией. Они включают микрососудистые осложнения (диабетическая нефропатия и ретинопатия и т.д.) и макрососудистые осложнения (ишемическая болезнь сердца, инфаркт миокарда и инсульт и т.д.). Эти осложнения часто необратимы и становятся серьезным бременем для пациентов с диабетом [3].

Одним из перспективных путей профилактики и лечения СД2 является использование биопептидов, полученных на основе данных протеомики. Протеомика – наука, которая рассматривает протеом в качестве объекта исследования и изучает состав белков и изменения в клетках, тканях или организмах. Данные, полученные с помощью протеомики, создают теоретическую базу для решения и регуляции механизмов заболеваний [4].

Целью представленного исследования стало изучение влияния ферментативного гидролизата молозива коров, содержащего 10 пептидов, на развитие сахарного диабета 2-го типа на крысах-самцах линии *Wistar*.

Материал и методы исследования

В качестве объекта исследований использовали трипсиновый гидролизат молозива коров, содержащий 10 пептидов.



В эксперименте были использованы крысы-самцы *Wistar* в возрасте 12 недель массой 345 ± 11 г. Крысы приобретены в Институте иммунологии и физиологии Уральского отделения Российской академии наук, содержались по 5 животных в стандартных лабораторных условиях при температуре 20 ± 2 °С со сменой световой (12 часов) и темновой (12 часов) фаз, со свободным доступом к воде и корму. Использован корм для грызунов без соевого белка 2020Х Teklad (Envigo, Хантингдон, Великобритания). Все манипуляции с животными были осуществлены в соответствии с Директивой Совета ЕС 2010/63/EU и одобрены этическим комитетом ИИФ УрО РАН. Были сформированы 3 группы крыс линии *Wistar* по 7 животных в каждой: 1-я группа – интактные, у крыс 2-й и 3-й групп индуцировали сахарный диабет 2-го типа. СД2 индуцировали после 16 часов голодания внутрибрюшинным введением раствора стрептозотоцина в цитратном буфере рН 4,5 дозой 65 мг/кг с предварительным введением раствора никотинамида в воде для инъекций дозой 110 мг/кг [5]. Животные 3-й группы получали дополнительно к основному рациону трипсиновый гидролизат молозива коров внутрижелудочно (ежедневно в течение 30 дней в дозе 300 мг/кг живой массы). Для внутрижелудочных введений пептидов молозива использовали зонд DE006A 18G × 50 mm (Великобритания). Каждую неделю у животных всех групп определяли массу тела.

Животные всех групп были выведены из эксперимента путем внутримышечного введения пентобарбитала натрия в дозе 40 мг/кг. Образцы крови для биохимического исследования собирали из хвостовой вены с антикоагулянтом гепарином. В цельной крови определяли содержание гликированного гемоглобина (HbA1c) методом аффинной гель-хроматографии с использованием набора «Гликогемотест» («ЭЛТА», Россия). Отделение плазмы крови от форменных элементов проводили центрифугированием при 1000 g в течение 10 минут. Содержание глюкозы в плазме крови определяли глюкозооксидазным методом с использованием набора реактивов «Глюкоза-Ново» («Вектор-Бест», Россия). В плазме крови определяли содержание продуктов свободнорадикального окисления, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой, включающих малоновый диальдегид (МДА) [6]. Количество восстановленного глутатиона (GSH) и других тиолов определяли в плазме крови по реакции с реагентом Эллмана (5,5'-дитиобис(2-нитробензойная) кислота) [7]. Эритроциты смешивали с дистиллированной водой в соотношении 1:18, охлаждали при 4 °С в течение часа и еще раз центрифугировали при 1000 g в течение 10 минут, затем определяли содержание гемоглобина для пересчета показателей СРО-АОЗ на грамм гемоглобина, используя набор реактивов «Витал» («Витал Девелопмент Корпорейшн», Россия). В гемолизате эритроцитов определяли активность каталазы (КФ 1.11.1.6) по убыли количества пероксида водорода, образующего окрашенный комплекс с аммонием молибденовокислым [8].

Оптическую плотность измеряли спектрофотометром Beckman DU-800 (США).



Гематологические показатели получали с помощью автоматизированного гематологического анализатора Celly 70 (Biocode Hycel), предназначенного для исследования крови животных, липопротеидов высокой плотности (ХСЛПВП) в плазме крови. Использовали наборы реактивов «Витал Диагностикс» (Санкт-Петербург, Россия).

Количество холестерина липопротеидов низкой плотности (ХСЛПНП) определяли по формуле Фридевальда:

$$\text{ХСЛПНП} = \frac{\text{ХС} - \text{ХСЛПВП} - \text{ТГ}}{2,2 \text{ моль/л}}, \quad (1)$$

где ХС – содержание общего холестерина; ТГ – содержание триглицеридов; ХСЛПВП – содержание холестерина в липопротеидах очень высокой плотности.

Холестериновый коэффициент атерогенности (ХКА) подсчитывали по формуле

$$\text{ХКА} = \frac{(\text{ХХ} - \text{ХСЛПВП})}{\text{ХСЛПВП}}. \quad (2)$$

Триглицеридовый индекс (ТИ) рассчитывали по формуле

$$\text{ТИ} = \text{Глюкоза} \times \text{ТГ} / 2. \quad (3)$$

Статистический анализ полученных результатов также проводили в программе GraphPad Prism 8.1 и с помощью алгоритмов one-way ANOVA и two-way ANOVA. Достоверным считалось различие $p < 0,05$.

Результаты

Проведены исследования по оценке антигипергликемического действия гидролизатов молозива. Гипергликемия может вызывать окислительный стресс у пациентов с диабетом, что приводит к различным хроническим осложнениям, включая микроangiопатию и невропатию. Следовательно, контроль уровня глюкозы в крови и ингибирование окислительного стресса являются двумя эффективными способами лечения диабета. В экспериментах *in vitro*, проведенных нами ранее, установлено, что наибольшей антиоксидантной активностью обладает трипсиновый гидролизат молозива. С учетом того что развитие сахарного диабета 2-го типа приводит к появлению оксидативного стресса, изучено влияние трипсинового гидролизата на развитие СД2 у лабораторных животных. Через 30 суток у лабораторных животных (2-я группа) наблюдали снижение массы тела на 32,8 %. Показано, что у животных с моделью СД2 содержание глюкозы в крови и гликированного гемоглобина выросло в 3,1 и 2,2 раза соответственно относительно показателей интактной группы (1-я группа). Введение трипсинового гидролизата молозива коров крысам 3-й группы снизило потерю массы тела (уменьшение составило на 24,9 % относительно животных группы 2) и



сопровождалось менее выраженной гипергликемией. Так, количество глюкозы и глицированного гемоглобина в крови животных 3-й группы снизилось в 1,7 и 1,4 раза соответственно относительно группы 2 (табл. 1).

Таблица 1

**Влияние трипсинового гидролизата на показатели СД2
у крыс линии *Wistar***

132

Показатель	Группа		
	1 Интактные	2 СД2	3 СД2 + гидролизат Т
Масса до эксперимента, г	332±19	352±17	307±26
Масса в конце эксперимента, г	393±8	264±18*	295±17*
Глюкоза, ммоль/л	6,0±0,2	18,6±1,2*	11,2±1,9*
HbA1c, %	4,7±0,3	10,1±0,3*	7,4±0,5*

* Различие с показателем интактной группы достоверно при $P < 0,05$.

Индуцирование СД2 сопровождалось накоплением малонового диальдегида (МДА) (выше по сравнению с интактными на 71,1%), значительным снижением количества восстановленного глутатиона (в 5,2 раза) и увеличением активности каталазы относительно показателей интактных крыс (табл. 2).

Таблица 2

**Показатели оксидативного стресса на фоне развития СД2
у крыс линии *Wistar***

Показатель	Группа		
	1 Интактные	2 СД 2	3 СД2 + гидролизат Т
МДА, мкмоль/л	2,01±0,06	3,44±0,22*	2,89±0,06*
Глутатион, мкмоль/л	24,38±2,88	4,67±0,71*	23,46±6,50*
Каталаза, ммоль/мин·г	57,86±2,79	99,19±1,68*	74,60±3,77*

* Различие с показателем интактной группы достоверно при $P < 0,05$.

У крыс с СД2, несмотря на активацию каталазы на 71,4 %, возникает недостаточность неферментативного звена АОЗ и накопление вторичных продуктов свободно-радикального окисления (СРО), что выражается в накоплении МДА и свидетельствует о формировании оксидативного стресса. Гиперлипидемия, гиперхолестеринемия и гипертриглицеридемия являются аномалиями, обычно связанными с сахарным диабетом и в конечном итоге увеличивающими риск сердечно-сосудистых заболеваний. В настоящем исследовании индукция диабета при-



вела к резкому увеличению уровней триглицеридов, общего холестерина, холестерина ЛПНП, холестерина ЛПОНП. Эти результаты согласуются с результатами, полученными другими исследователями, которые выявили нарушения липидного профиля при сахарном диабете [9]. В течение нашего экспериментального периода у крыс с сахарным диабетом 2-го типа, которые дополнительно к основному рациону получали трипсиновый гидролизат молозива коров, наблюдалось снижение сывороточных уровней триглицеридов, общего холестерина, холестерина ЛПНП, холестерина ЛПОНП. Полученные результаты показали, что гидролизат молозива особенно проявляет липидрегулирующие свойства. Это может быть связано с присутствием в этом гидролизате биоактивных пептидов. Механизм гипохолестеринемии гидролизата молозива коров полностью неясен. Однако различные гипотезы указывают на действие биоактивных пептидов, образующихся при гидролизе белка молозива [10].

Наши исследования оксидантных показателей подопытных крыс согласуются с исследованиями [11], в которых установлено, что модель диабета, вызванного стрептозотоцином, дает классический пример окислительного стресса и перекисного окисления липидов, связанных с чрезмерным образованием АФК в основных органах, таких как клетки печени и почек. Инъекция стрептозотоцина оказывает значительное влияние на антиоксидантные ферменты, увеличивая выработку АФК в ткани печени, что подтверждается в наших исследованиях повышением МДА у крыс с сахарным диабетом. Эти результаты согласуются с результатами предыдущих исследований, в которых увеличился уровень МДА у крыс с сахарным диабетом [12]. Высокий уровень МДА является признаком окислительного стресса из-за всплеска свободных радикалов, приводящего к избыточному образованию МДА, конечного продукта перекисного окисления липидов. Наши результаты подтвердили более высокую выработку МДА в группах с сахарным диабетом, при этом обнаружено, что данные уровни были значительно ниже у крыс группы с использованием гидролизата молозива по сравнению с группой нелеченых животных. Введение гидролизата молозива коров привело к эффективной антиоксидантной активности за счет уменьшения гипергликемии [9]. Исследования на животных-моделях с диабетом продемонстрировали корреляцию между снижением окислительного стресса и улучшением гипергликемии. Аналогичным образом антиоксидантные эффекты гидролизата верблюжьего молока, проявляющиеся в более низком содержании МДА, объясняются снижением окислительного стресса, вызванного стрептозотоцином индуцированного диабета [12]. Более того, гидролизат молозива коров также может играть защитную роль в предотвращении повреждения печени, вызванного окислительным стрессом.

При исследовании гематологических показателей у крыс 2-й группы выявлено снижение абсолютного и относительного количества лейкоцитов за счет фракции лимфоцитов с увеличением доли гранулоцитов относительно нормы (табл. 3). Во 2-й группе животных также уве-



личилось количество эритроцитов и содержание гемоглобина в 1,2 раза (за счет большего количества эритроцитов), в связи с этим увеличился гематокрит относительно показателей интактной группы в 1,2 раза; отклонений других гематологических показателей от нормы не выявлено. Повышенное содержание эритроцитов и гемоглобина у животных 2-й группы может быть следствием характерной для сахарного диабета гипоксии.

Таблица 3

Гематологические показатели на фоне развития СД2 у крыс линии *Wistar*

134

Показатель	Группа		
	1 Интактные	1 СД2	3 СД2 + гидролизат Т
Лейкоциты, тыс./мкл	10,18±1,14	7,43±0,852	8,78±0,652
Лимфоциты, тыс./мкл	7,63±0,91	4,53±0,54* ²	5,77±0,572
Моноциты, тыс./мкл	0,27±0,03	0,25±0,03	0,30±0,03
Гранулоциты, тыс./мкл	2,28±0,25	2,65±0,31	2,72±0,23
Лимфоциты, %	74,5±1,4	60,5±1,5* ²	65,4±3,2*
Моноциты, %	2,8±0,1	3,9±0,2	3,5±0,2
Гранулоциты, %	22,8±1,5	35,6±1,4*	31,2±3,1
Эритроциты, млн/мкл	8,50±0,12	10,00±0,20*	9,93±0,39
Гемоглобин, г/л	164,3±3,1	192,7±4,3*	190,2±5,7*
Гематокрит, %	45,6±0,8	53,4±1,1*	52,7±1,5*
MCV, фл	53,7±0,8	53,4±0,6	53,2±0,9
MCH, пг	19,3±0,3	19,2±0,2	19,2±0,3
MCHC, г/л	360,2±1,4	360,7±2,1	360,7±1,2
RDW, %	12,2±0,3	12,1±0,4	12,4±0,2
Тромбоциты, тыс./мкл	1067±129	1300±184	1282±129
MPV, фл	6,23±0,11	6,32±0,21	6,37±0,29
PDV, %	15,7±0,1	15,9±0,1	15,8±0,2
Pct, %	0,44±0,14	0,63±0,06	0,62±0,03

* Различие с показателем интактной группы достоверно при $p < 0,05$.

²Различие с показателем 2-й группы достоверно при $p < 0,05$.

После курса гидролизата молозива у крыс 3-й группы значения лейкоцитарных и эритроцитарных показателей стали ближе к уровню показателей интактных крыс, но нормализовалось только относительное количество гранулоцитов и количество эритроцитов.

Показатели липидного обмена у лабораторных животных представлены в таблице 4. В плазме крови крыс 2-й группы увеличилось количество триглицеридов на 148 % относительно показателя интактных крыс. Рост концентрации триглицеридов в крови может быть связан с разрушением или увеличением проницаемости мембран гепатоцитов и деструкции других клеток, подвергшихся жировому перерождению. У крыс, получавших гидролизат Т после моделирования СД2, содержание триглицеридов в плазме крови достоверно не отличалось от показателя интактных крыс.



Таблица 4

Показатели липидного обмена на фоне развития СД2 у крыс линии Wistar

Показатель	Группа		
	1 Интактные	2 СД2	3 СД2 + гидролизат Т
Триглицериды, ммоль/л	0,075±0,030	0,186±0,027*	0,077±0,015
Холестерин общий, ммоль/л	1,986±0,165	2,194±0,128	1,835±0,133
Холестерин ЛПВП, ммоль/л	1,038±0,098	0,744±0,050*	1,218±0,087*
Холестерин ЛПНП, ммоль/л	0,914±0,157	1,365±0,081*	0,582±0,082
Холестерин ЛПОНП, ммоль/л	0,034±0,013	0,085±0,012*	0,035±0,007
Коэффициент атерогенности холестериновый	0,968±0,212	1,962±0,105*	0,513±0,063
Коэффициент атерогенности триглицеридовый	0,233±0,098	1,678±0,181*	0,452±0,119

* Различие с показателем интактной группы достоверно при Р<0,05.

Содержание общего количества холестерина у диабетических крыс 2-й группы не изменилось достоверно относительно показателя интактной группы. Вероятно, 30 суток после введения стрептозотоцина недостаточно для накопления холестерина. После введения гидролизата молозива диабетическим крысам 3-й группы количество холестерина осталось на уровне интактных животных.

В то же время у крыс СД2 (группа 2) достоверно снизилось количество холестерина антиатерогенной фракции ЛПВП на 28,3% и увеличилось количество холестерина атерогенных фракций ЛПНП на 49,3% и ЛПОНП на 159%, также превысили норму холестериновый и триглицеридовый коэффициенты атерогенности. У диабетических крыс, получавших гидролизат молозива (3-я группа), количество холестерина в липопротеидных фракциях нормализовалось, то есть достоверно увеличилось на 63,7% содержание ХСЛПВП и уменьшилось количество ХСЛПОНП на 57,4% и ХСЛПНП на 58,8% относительно показателей нелеченых животных (2-я группа). Сдвиг липидного профиля крови животных 3-й группы, получавших гидролизат Т, в сторону увеличения антиатерогенных липидов повлек за собой нормализацию холестеринового и триглицеридового индексов атерогенности, отражающих инсулинорезистентность и риск развития сердечно-сосудистых заболеваний и также имеющих значение для диагностики формирования сахарного диабета.

Увеличение концентрации триглицеридов в крови может быть связано с разрушением или увеличением проницаемости мембран гепатоцитов и деструкции других клеток, подвергшихся жировому перерождению. Данный показатель может быть признаком формирования стеатоза печени, миокарда и других органов [13]. У крыс, получавших гидролизат Т после моделирования СД2, содержание триглицеридов в плазме крови достоверно не отличалось от показателя интактных крыс.



Избыточное количество холестерина в ЛПНП, транспортирующих холестерин в эндотелий кровеносных сосудов, и недостаточное количество холестерина в ЛПВП, удаляющих холестерин из эндотелия, расценивают как показатели, способствующие формированию атеросклеротических изменений в интиме артерий [9].

На основании исследования показателей липидного обмена, в том числе фракций липопротеидов, можно сделать заключение, что изменение липидного обмена при моделировании сахарного диабета 2-го типа смещается в сторону развития атерогенной ситуации, что, по данным исследований, может привести к развитию атеросклероза. Можно отметить, что уровень холестерина у крыс всех групп значительно ниже, чем характерные для человека показатели [9], что соответствует грызунам. Несмотря на значительно меньший, чем у человека, уровень холестерина в крови крыс, развитие атеросклеротического процесса имеет общие закономерности, поэтому моделирование СД2 может быть использовано для исследования действия соединений, имеющих предположительно антиатеросклеротический и антидиабетический эффект.

Нормализация липопротеидных фракций у крыс с сахарным диабетом 2-го типа после курса гидролизата молозива свидетельствует об антиатерогенном действии пептидов гидролизата. Выделение и исследование индивидуальных пептидов гидролизатов с антиатерогенным и другим биологическим действием требует дальнейших исследований.

Заключение

На крысах линии *Wistar* с индуцированным СД2 доказано антигипергликемическое и антиоксидантное действие трипсинового гидролизата молозива коров. Количество глюкозы и гликированного гемоглобина в крови животных с СД2, получавших трипсиновый гидролизат, снизилось в 1,7 и 1,4 раза соответственно относительно нелеченых животных с СД2, содержание МДА и активность каталазы снизились на 24,8 % и нормализовался уровень восстановленного глутатиона и липопротеидных фракций.

Список литературы

1. Meng X., Liu X., Tan J. et al. From Xiaoke to diabetes mellitus: a review of the research progress in traditional Chinese medicine for diabetes mellitus treatment // Chin. Med. 2023. №18 (75). doi: 10.1186/s13020-023-00783-z.
2. International Diabetes Federation. IDF Diabetes Atlas. 10th ed. Brussels, 2021.
3. Pappachan J.M., Fernandez C.J., Chacko E.C. Diabesity and antidiabetic drugs // Mol. Aspects Med. 2019. №66. P. 3–12. doi: 10.1016/j.mam.2018.10.004.
4. Nunez Lopez Y., Iliuk A., Petrilli A. et al. Proteomics and phosphoproteomics of circulating extracellular vesicles provide new insights into diabetes pathobiology // Int. J. Mol. Sci. 2022. №23 (10). Art. №5779. doi: 10.3390/ijms23105779.
5. Спасов А. А., Воронкова М. П., Снигур Г. Л. и др. Экспериментальная модель сахарного диабета типа 2 // Биомедицина. 2011. №3. С. 12–18. EDN: ОВТОН.



6. Стальная И.Д., Гариишвили Т.Г. Метод определения малонового диальдегида с помощью тиобарбитуровой кислоты // Современные методы в биохимии. М., 1977. С. 66–68.
7. Веревкина И.В., Точилкин А.И., Попова Н.А. Колориметрический метод определения SH-групп и -S-S связей в белках при помощи 5,5-дигиобис(2-нитробензойной) кислоты // Современные методы в биохимии. М., 1977. С. 223–231.
8. Королюк М.А., Иванова Л.К., Майорова И.Г., Токарева В.А. Метод определения активности каталазы // Лабораторное дело. 1988. №4. С. 44–47.
9. Mansour A.A., Nassan M.A., Saleh O.M., Soliman M.M. Protective effect of camel milk as anti-diabetic supplement: Biochemical, molecular and immunohistochemical study // Afr. J. Tradit. Complement. Altern. Med. 2017. №14. P. 108–119. doi: 10.21010/ajtcam.v14i4.13.
10. Kumar D., Verma A.K., Chatli M.K. et al. Camel milk: Alternative milk for human consumption and its health benefits // Nutr. Food Sci. 2016. №46. P. 217–227. doi: 10.1108/NFS-07-2015-0085.
11. Vinothiyia K., Ashokkumar N. Modulatory effect of vanillic acid on antioxidant status in high fat diet-induced changes in diabetic hypertensive rats // Biomed. Pharmacother. 2017. №87. P. 640–652. doi: 10.1016/j.biopha.2016.12.134.
12. Badr G. Camel whey protein enhances diabetic wound healing in a streptozotocin-induced diabetic mouse model: the critical role of β -defensin-1, -2 and -3 // Lipids Health Dis. 2013. №12. Art. №46.
13. Мамедов М.Н., Бондаренко И.З., Мареев Ю.В. и др. Новое положение по хронической сердечной недостаточности Ассоциации по сердечной недостаточности Европейского общества кардиологов у больных с сахарным диабетом: комментарий российских экспертов // Международный журнал сердца и сосудистых заболеваний. 2018. Т. 6, №20. С. 43–50. EDN: ZCZRRZ.

Об авторах

Сергей Леонидович Тихонов – д-р техн. наук, проф., Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; проф., Уральский государственный лесотехнический университет, Россия.

E-mail: tihonov75@bk.ru
ORCID: 0000-0003-4863-9834
SPIN-код: 4649-8616

Наталья Валерьевна Тихонова – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой пищевой инженерии аграрного производства, Уральский государственный аграрный университет, Россия.

E-mail: tihonov75@bk.ru
ORCID: 0000-0001-5841-1791
SPIN-код: 1303-8180

Ирина Федоровна Гетте – канд. биол. наук, ст. науч. сотр., Институт иммунологии и физиологии Уральского отделения РАН, Россия.

E-mail: i.goette@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-3012-850X
SPIN-код: 8925-3280

Ксения Викторовна Соколова – канд. биол. наук, ст. науч. сотр., Институт иммунологии и физиологии Уральского отделения Российской академии наук, Россия.

E-mail: kssokolova@bk.ru
ORCID: 0000-0002-7024-4110
SPIN-код: 6057-5630



Ирина Георгиевна Данилова — д-р биол. наук, доц., зав. лабораторией морфологии и биохимии, Институт иммунологии и физиологии Уральского отделения Российской академии наук, Россия.

E-mail: ig-danilova@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-6841-1197

SPIN-код: 1403-4418

Сергей Валерьевич Шихалев — канд. техн. наук, доц., Уральский государственный экономический университет, Россия.

E-mail: sershih@rambler.ru

ORCID: 0000-0002-9236-7154

SPIN-код: 2080-2963

138

Евгений Борисович Сысуев — канд. фармацевт. наук, руководитель филиала, ФГБУ «ВНИИИМТ» Росздравнадзора в г. Екатеринбург, Россия.

E-mail: bes555@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-7648-0088

SPIN-код: 6282-4095

**S. L. Tikhonov^{1, 2}, N. V. Tikhonova¹, I. F. Gette³, K. V. Sokolova³
I. G. Danilova³, S. V. Shikhalev⁴, E. B. Sysuev⁵**

ANTIHYPERGLYCEMIC EFFECT OF PEPTIDES OF COLOSTRUM HYDROLYSATE

¹ Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia

² Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg, Russia

³ Institute of Immunology and Physiology UB RAS, Yekaterinburg, Russia

⁴ Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia

⁵ Branch of FSBI “VNIIMT” of Roszdravnadzor in Yekaterinburg,

Yekaterinburg, Russia

Received 13 March 2025

Accepted 29 May 2025

doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-9

To cite this article: Tikhonov S.L., Tikhonova N.V., Gette I.F., Sokolova K.V., Danilova I. G., Shikhalev S.V., Sysuev E.B., 2025, Antihyperglycemic effect of peptides of colostrum hydrolysate, *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural Sciences*, №3. P. 128—139. doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-9.

One of the promising approaches for the prevention and treatment of type 2 diabetes (T2D) is the use of biopeptides derived from proteomics data. The effect of an enzymatic hydrolysate of cow colostrum, containing ten peptides, on the development of type 2 diabetes was studied in male Wistar rats. Three groups of Wistar rats, each consisting of seven animals, were formed for the experiments: Group 1 – intact controls; T2D was induced in rats of Groups 2 and 3. Rats in Group 3 additionally received an intragastric administration of the trypsin hydrolysate of cow colostrum alongside their standard diet. In Wistar rats with induced T2D, the trypsin hydrolysate of cow colostrum demonstrated antihyperglycemic and antioxidant effects. Blood glucose and glycated hemoglobin levels decreased in T2D rats receiving the trypsin hydrolysate compared to untreated T2D rats. Administration of the tryp-



sin hydrolysate to Group 3 rats reduced body weight loss relative to Group 2 and was accompanied by less pronounced hyperglycemia. Levels of malondialdehyde (MDA) and catalase activity decreased, while the levels of reduced glutathione and lipoprotein fractions were normalized.

Keywords: peptides, cow colostrum, rat Wistar, antihyperglycemic and antioxidant effects

The authors

Prof. Sergey L. Tikhonov, Ural State Agrarian University, Russia; Ural State Forestry University, Russia.

E-mail: tihonov75@bk.ru

ORCID: 0000-0003-4863-9834

SPIN-код: 4649-8616

139

Prof. Natalia V. Tikhonova, Head of the Department of Food Engineering of Agricultural Production, Ural State Agrarian University, Russia.

E-mail: tihonov75@bk.ru

ORCID: 0000-0001-5841-1791

SPIN-код: 1303-8180

Dr Irina F. Guette, Senior Researcher, Institute of Immunology and Physiology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia.

E-mail: i.goette@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-3012-850X

SPIN-код: 8925-3280

Dr Kseniya V. Sokolova, Senior Researcher, Institute of Immunology and Physiology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia.

E-mail: kssokolova@bk.ru

ORCID: 0000-0002-7024-4110

SPIN-код: 6057-5630

Prof. Irina G. Danilova, Associate Professor, Head of Laboratory of Morphology and Biochemistry, Institute of Immunology and Physiology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia.

E-mail: ig-danilova@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-6841-1197

SPIN-код: 1403-4418

Dr Sergey V. Shikhalev, Associate Professor, Ural State University of Economics, Russia.

E-mail: sershish@rambler.ru

ORCID: 0000-0002-9236-7154

SPIN-код: 2080-2963

Dr Evgeny B. Sysuev, Head of the branch, FSBI "VNIIIMT" of Roszdravnadzor in Yekaterinburg, Russia.

E-mail: bes555@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-7648-0088

SPIN-код: 6282-4095

УДК 574.2:574.24:57.044:595.78:577.112:577.122.8:57.088.3

Н. Д. Шамаев, Д. Р. Дубина, Э. А. Шуралев

**ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ КАДМИЯ И СВИНЦА
В ОТНОШЕНИИ *GALLERIA MELLONELLA* С ВЫЯВЛЕНИЕМ
ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ БЕЛКОВЫХ МАРКЕРОВ НАСЕКОМОГО**

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

Поступила в редакцию 01.03.2025 г.

Принята к публикации 22.06.2025 г.

doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-10

140

Для цитирования: Шамаев Н.Д., Дубина Д.Р., Шуралев Э.А. Оценка токсичности кадмия и свинца в отношении *Galleria mellonella* с выявлением потенциальных белковых маркеров насекомого // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2025. №3. С. 140 – 146. doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-10.

Тяжелые металлы кадмий и свинец являются одними из широко распространенных в окружающей среде в результате деятельности промышленного, животноводческого и аграрного секторов. Эти тяжелые металлы могут привести к возникновению серьезных физиологических и биохимических нарушений у позвоночных и беспозвоночных, в связи с чем актуальными остаются биоиндикация и оценка токсичности тяжелых металлов по показателям специфических белковых маркеров. Для насекомых как наиболее распространенной в экосистемах группы беспозвоночных животных загрязнение экосистем следами тяжелых металлов приводит к элиминации в первую очередь. В связи с этим повышенная чувствительность насекомых к уровню загрязнения учитывается в лабораторных тестах по оценке токсичности тяжелых металлов. Из числа существующих видов для оценки токсичности был выбран организм *Galleria mellonella*. Оценка токсичности тяжелых металлов Cd и Pb позволила предположить наличие специфических белковых маркеров токсичности, а именно белков с массой 25 и 70 кДа.

Ключевые слова: *Galleria mellonella*, тяжелые металлы, кадмий-индуцированный белок, L-фибронин

Введение

Ускоренные темпы индустриализации ведут к значительному увеличению загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами. Основными источниками ионов тяжелых металлов являются добыча полезных ископаемых, выбросы от транспортных средств, сельскохозяйственные стоки, промышленные отходы и сжигание ископаемого топлива [1]. Одни из наиболее опасных ионов тяжелых металлов, которые могут оказывать негативное влияние на органы при попадании в организм, – это кадмий (Cd) и свинец (Pb) [2–4].

Исходя из темпов снижения биоразнообразия в пострадавших от загрязнения тяжелыми металлами районах, тяжелые металлы могут влиять на структуру сообществ, где центральное место занимают насе-



комые. Несмотря на то что лабораторные тесты на токсичность, как правило, свидетельствуют о нечувствительности насекомых к металлам, они часто оказываются одними из первых видов, которые исчезают в загрязненных тяжелыми металлами районах. Фактически при проведении лабораторных исследований на насекомых они реагируют только на растворенные металлы в концентрациях на порядки выше тех, которые присутствуют в наиболее загрязненных районах, где нет насекомых. Уровни загрязнения экосистем в основном зависят от значений токсичности, полученных при кратковременном воздействии только растворенных металлов, несмотря на растущие доказательства, отражающие явное несоответствие между лабораторными тестами на токсичность и полевыми наблюдениями относительно токсичности металлов для насекомых. Однако если выявить белковые маркеры токсичности у насекомых, возможно проводить анализ с использованием концентраций тяжелых металлов порядком ниже. В данной работе мы использовали личинки большой восковой моли *Galleria mellonella* [5] как тестовый объект для изучения токсичности тяжелых металлов Cd и Pb и выявления белковых маркеров токсичности.

Материалы и методы

Для изучения токсичности сублетальных доз тетрагидрата кадмия при проведении эксперимента был приготовлен исходный 1М водный раствор соли кадмия ($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) (ГОСТ 6262-79) концентрацией 0,01 г/л ($m = 0,077$ г, $V = 25$ мл), далее разведением приготовили растворы концентрацией 0,001 г/л и 0,0001 г/л. Для изучения токсичности солей свинца (II) азотнокислого был приготовлен 1М водный раствор соли свинца ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) (ГОСТ 4236-77) концентрацией 0,01 г/л ($m = 0,0828$ г, $V = 25$ мл). Для подготовки образца под номером 5 (рис. 1) соединяли по 1 мл раствора соли кадмия ($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) концентрацией 0,001 г/л и раствора соли свинца ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) концентрацией 0,01 г/л. Сублетальные дозы тяжелых металлов были экспериментально изучены ранее [6].

Чашки Петри с личинками инкубировали в течение 48 часов при 23°C с размещенным внутри листом фильтровальной бумаги, пропитанным 2 мл раствора солей Cd и/или Pb соответствующей концентрации. Наряду с опытными образцами для контрольных значений были использованы личинки, в чашке Петри с которыми на фильтровальную бумагу наносили 2 мл дистиллированной воды (1 группа = 10 особей, всего 6 групп). Забор гемолимфы, подготовку компонентов и проведение электрофореза в 10 % полиакриламидном геле осуществляли согласно протоколу [7]. Анализ и документирование результатов электрофореза проводили с использованием программного обеспечения ImageLab 6 [8].

Результаты и обсуждение

Визуальная оценка результатов проведенного эксперимента выявила различия в белковом профиле под воздействием интоксикации растворами солей тяжелых металлов (рис.).

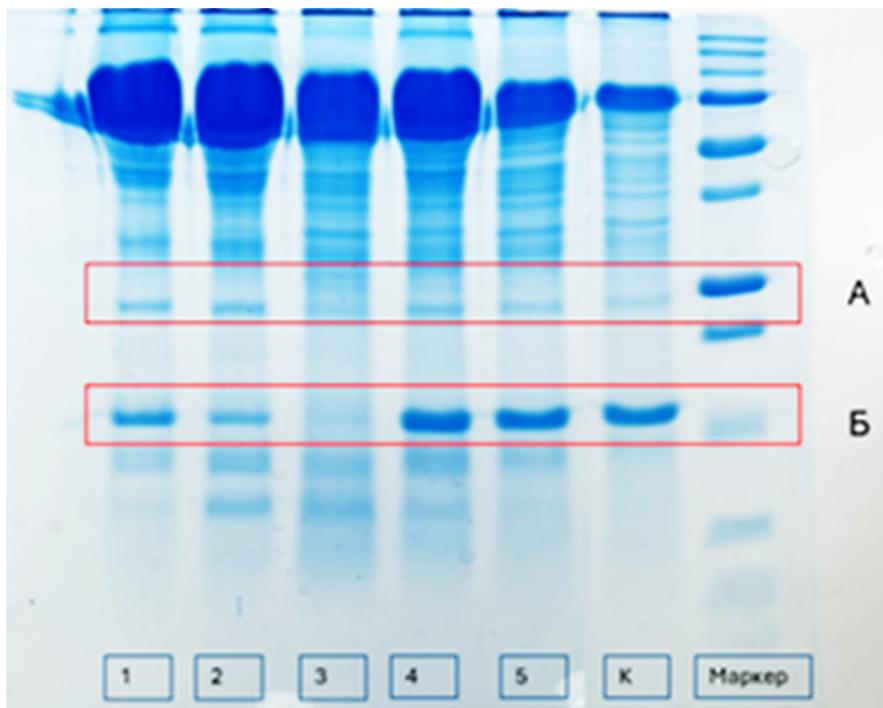


Рис. Электрофорез в поликариламидном геле.

Полосы 1–5 – опытные группы личинок:

1 – применяли Cd в концентрации 0,0001 г/л; 2 – применяли Cd в концентрации 0,001 г/л; 3 – применяли Cd в концентрации 0,01 г/л; 4 – применяли Pb в концентрации 0,01 г/л; 5 – применяли Cd и Pb в концентрациях 0,001 г/л и 0,01 г/л соответственно; К – контрольная группа личинок; Маркер – маркер молекулярной массы белка, где размер в 70 кДа указан буквой «А», а размер в 25 кДа – буквой «Б».

Красной рамкой обозначены полосы геля, которые использовались в ходе визуальной оценки токсичности Cd и/или Pb

Известно, что продукция Cd-индуцированного белка связана с защитой организма от воздействия тяжелого металла Cd. Потенциально обнаруженный нами белок со схожей массой может относиться к группе белков теплового шока, а именно к белку теплового шока 70 (HSP70) насекомых [9]. В соответствии с зарубежными исследованиями, при воздействии Cd происходит увеличение продукции данного Cd-индуцированного белка, который связывает Cd и выводит его из организма, не позволяя вызывать повреждения клеток насекомого [10; 11]. В ходе эксперимента белок визуально обнаруживался при концентрациях сошли Cd 0,0001, 0,001 и 0,01 г/л, что потенциально указывает на отсутствие эффекта использованных доз Cd на продукцию белка. Использование сублетальной дозы Pb не показало визуальных изменений. Однако в результате интоксикации сублетальными дозами Cd были обнаружены визуальные отличия в количестве белка массой 25 кДа в гемолимфе. При увеличении дозы Cd с 0,0001 до 0,01 г/л белок массой 25 кДа пере-



стал быть визуально различим при 0,01 г/л. Кроме того, при интоксикации водным раствором соли Pb наблюдается визуальное увеличение количества белка массой 25 кДа. Потенциально обнаруженный нами белок со схожей массой может быть L-фиброном [12]. При этом параллельное использование водного раствора соли Cd потенциально не приводит к изменению количества L-фиброна в гемолимфе. *G. mellonella* и другие насекомые со схожим жизненным циклом постоянно синтезируют L-фиброн, входящий в состав нитей паутины и коконов [13; 14]. Вероятно, данный эффект связан с тем, что фиброн шелка может адсорбировать ионы тяжелых металлов, в том числе свинца [15].

Заключение

143

Данное исследование подчеркивает важность изучения белкового состава гемолимфы личинок *G. mellonella*. Понимание молекулярных механизмов, связанных с токсичностью Cd и Pb, может помочь в разработке новых стратегий для борьбы с загрязнением окружающей среды и защиты экосистем. Если обнаруженные белки массой 25 кДа и 70 кДа действительно связаны с механизмом токсичности Cd и Pb, то они могут оказывать прямое воздействие на ферменты, которые участвуют в клеточных метаболических процессах. Известно, что ненормальное заисление среды в культурах, обработанных низкими концентрациями Cd, связано с увеличением продукции молочной кислоты. В сочетании с морфологическими наблюдениями при изучении энтомотоксичности в зарубежных исследованиях это свидетельствует о нарушении аэробного метаболизма, вызванном действием Cd [10]. Например, у азиатского тигрового комара *Aedes albopictus* выявлена несимметричная зависимость жизнеспособности клеточных культур при увеличении концентрации солей Cd. Несмотря на то что данное явление сопровождалось увеличением синтеза белков, относящихся к группе белков теплового шока у *A. albopictus* [11], у *G. mellonella* аналогичные белки не показали визуальных отличий при воздействии разных доз Cd. Полученные данные не исключают ключевую роль белков теплового шока в защите клеток насекомых от токсического воздействия Cd, но предполагают различия в механизме токсичности у *G. mellonella*. В отличие от белка массой 70 кДа, белок массой 25 кДа (предположительно, L-фиброн) визуально находится в меньших количествах в гемолимфе *G. mellonella* при воздействии Cd. Кроме того, использование Cd и Pb и только Pb визуально увеличивает содержание данного белка в гемолимфе. Результаты зарубежных исследований подчеркивают, что однократная сублетальная доза Pb негативно сказывается на содержании белков, проявлении окислительного стресса и развитии личинок водных насекомых семейств Chironomidae, Ephemeroptera, Plecoptera и Trichoptera [16; 17]. Механизм токсичности у *G. mellonella* при использовании Pb отличается применительно к белку массой 25 кДа от опубликованных данных и потенциально может быть связан с индуцированной адсорбцией ионов тяжелых металлов.



Список литературы

1. Vareda J.P., Valente A.J.M., Durães L. Assessment of heavy metal pollution from anthropogenic activities and remediation strategies: A review // Journal of Environmental Management. 2019. №246. P. 101 – 118. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.05.126.
2. Rahman Z., Singh V.P. The relative impact of toxic heavy metals (THMs) (arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr)(VI), mercury (Hg), and lead (Pb)) on the total environment: an overview // Environmental Monitoring and Assessment. 2019. №191. doi: 10.1007/s10661-019-7528-7.
3. Alengebawy A., Abdelkhalek S.T., Qureshi S.R., Wang M.Q. Heavy Metals and Pesticides Toxicity in Agricultural Soil and Plants: Ecological Risks and Human Health Implications // Toxics. 2021. №9. doi: 10.3390/toxics9030042.
4. Vukašinović E.L., Čelić T.V., Kojić D. et al. The effect of long term exposure to cadmium on *Ostrinia nubilalis* growth, development, survival rate and oxidative status // Chemosphere. 2020. №243. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.125375.
5. Coates C.J., Lim J., Harman K. et al. The insect, *Galleria mellonella*, is a compatible model for evaluating the toxicology of okadaic acid // Cell Biology and Toxicology. 2019. №35. P. 219 – 232. doi: 10.1007/s10565-018-09448-2.
6. Мукминов М.Н., Дубина Д.Р., Юркова Е.М. и др. Восковая моль *Galleria mellonella* как тест-объект при биотестировании (на примере кадмия и свинца) // Фундаментальные и прикладные решения приоритетных задач пчеловодства : сб. науч.-практ. материалов Междунар. науч.-практ. конф. Казань, 2023. С. 139 – 143.
7. Taszlow P., Wojda I. Changes in the hemolymph protein profiles in *Galleria mellonella* infected with *Bacillus thuringiensis* involve apolipophorin III. The effect of heat shock // Archives of Insect Biochemistry and Physiology. 2015. №88. С. 123 – 143. doi: 10.1002/arch.21208.
8. Шамаев Н.Д., Шуралев Э.А., Ефимова М.А. Анализ и документирование гелей и мембран в программном обеспечении «Image Lab» при электрофорезе и блоттинге : учеб.-метод. пособие. Казань, 2021. EDN: TTTJAW.
9. Park K., Kwak I.S. Cadmium-induced developmental alteration and upregulation of serine-type endopeptidase transcripts in wild freshwater populations of *Chironomus plumosus* // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2020. №192. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.110240.
10. Braeckman B., Brys K., Rzeznik U., Raes H. Cadmium pathology in an insect cell line: ultrastructural and biochemical effects // Tissue and Cell. 1999. №31. P. 45 – 53. doi: 10.1054/tice.1998.0019.
11. Braeckman B., Smagghe G., Brutsaert N. et al. Cadmium uptake and defense mechanism in insect cells // Environmental Research. 1999. №80. P. 231 – 243. doi: 10.1006/enrs.1998.3897.
12. Zurovec M., Vasková M., Kodrik D. et al. Light-chain fibroin of *Galleria mellonella* L. // Molecular Genetics and Genomics. 1995. №247. P. 1 – 6. doi: 10.1007/BF00425815.
13. Chaitanya R.K., Dutta-Gupta A. Light chain fibroin and P25 genes of *Corcyra cephalonica*: Molecular cloning, characterization, tissue-specific expression, synchronous developmental and 20-hydroxyecdysone regulation during the last instar larval development // General and Comparative Endocrinology. 2010. №167. P. 113 – 121. doi: 10.1016/j.ygcen.2010.02.007.
14. Zurovec M., Kodrik D., Yang C. et al. The P25 component of *Galleria* silk // Molecular Genetics and Genomics. 1998. №257. P. 264 – 270. doi: 10.1007/s004380050647.



15. Pilley S., Kaur H., Hippargi G. et al. Silk fibroin: a promising bio-material for the treatment of heavy metal-contaminated water, adsorption isotherms, kinetics, and mechanism // Environmental Science and Pollution Research. 2022. №29. P. 56606 – 56619. doi: 10.1007/s11356-022-19833-4.
16. Schmarsow R., Moliné M.P., Damiani N. et al. Toxicity and sublethal effects of lead (Pb) intake on honey bees (*Apis mellifera*) // Chemosphere. 2023. №344. doi: 10.2478/jas-2020-0009.
17. Lidman J., Jonsson M., Berglund Å.M.M. The effect of lead (Pb) and zinc (Zn) contamination on aquatic insect community composition and metamorphosis // Science of The Total Environment. 2020. №734. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139406.

Об авторах

145

Николай Дмитриевич Шамаев — канд. биол. наук, доц., Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия.

E-mail: nikolai.shamaev94@mail.ru

ORCID: 0000-0002-0575-3760

SPIN-код: 2602-2764

Диана Равильевна Дубина — асп., ассист., Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия.

E-mail: dubinadiana97@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3003-0369

Эдуард Аркадьевич Шуралев — канд. биол. наук, доц., Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия.

E-mail: eduard.shuralev@mail.ru

ORCID: 0000-0003-0650-3090

SPIN-код: 6450-1470

N.D. Shamaev, D.R. Dubina, E.A. Shuralev

CADMIUM AND LEAD TOXICITY ASSESSMENT USING *GALLERIA MELLONELLA* WITH POTENTIAL INSECT PROTEIN MARKERS IDENTIFICATION

Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia

Received 1 March 2025

Accepted 22 June 2025

doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-10

To cite this article: Shamaev N.D., Dubina D.R., Shuralev E.A, 2025, Cadmium and lead toxicity assessment using *Galleria mellonella* with potential insect protein markers identification, *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural Sciences*, №3. P. 140 – 146. doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-10.

Heavy metals cadmium and lead are among the widely distributed pollutants in the environment due to the activities of the industrial, livestock, and agricultural sectors. These heavy metals can cause serious physiological and biochemical disturbances in vertebrates and invertebrates, which makes bioindication and the assessment of heavy metal toxicity using specific protein markers highly relevant. For insects, as the most widespread group of invertebrates in ecosystems, contamination with traces of heavy metals primarily leads to elimination. There-



fore, the heightened sensitivity of insects to pollution levels is considered in laboratory tests for evaluating heavy metal toxicity. Among the existing species, *Galleria mellonella* was selected for toxicity assessment. The evaluation of cadmium (Cd) and lead (Pb) toxicity suggested the presence of specific protein markers of toxicity, namely proteins with molecular weights of 25 and 70 kDa.

Keywords: *Galleria mellonella*, heavy metals, cadmium-induced protein, L-fibroin

The authors

Dr Nikolai D. Shamaev, Associate Professor, Kazan (Volga Region) Federal University, Russia.

146

E-mail: nikolai.shamaev94@mail.ru
ORCID: 0000-0002-0575-3760
SPIN-код: 2602-2764

Diana R. Dubina, PhD student, Assistant Professor, Kazan (Volga Region) Federal University, Russia.

E-mail: dubinadiana97@mail.ru
ORCID: 0000-0003-3003-0369

Dr Eduard A. Shuralev, Associate Professor, Kazan (Volga Region) Federal University, Russia.

E-mail: eduard.shuralev@mail.ru
ORCID: 0000-0003-0650-3090
SPIN-код: 6450-1470

УДК 631.559.2, 631.95, 631.8

**B. C. Ржевская¹, A. B. Омельченко¹, A. A. Жаркова¹
A. B. Крыжко², И. А. Бугара¹**

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНСОРЦИУМА
МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ И ДРОЖЖЕЙ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ TRITICUM AESTIVUM L.**

¹ Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского,
Симферополь, Россия

² Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма,
Симферополь, Россия

Поступила в редакцию 27.02.2025 г.

Принята в печать 20.06.2025 г.

doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-11

147

Для цитирования: Ржевская В. С., Омельченко А. В., Жаркова А. А., Крыжко А. В., Бугара И. А. Оценка эффективности консорциума молочнокислых бактерий и дрожжей для повышения продуктивности *Triticum aestivum* L. // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2025. № 3. С. 147 – 157. doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-11.

*Изучено влияние микробного консорциума молочнокислых бактерий *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactococcus lactis* и дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* на урожай и качество озимой пшеницы сорта Надор. Проведены лабораторные опыты по определению влияния суспензии микроорганизмов на морфометрические показатели проростков пшеницы в водной культуре, определено содержание ИУК в культуральной жидкости микроорганизмов. Консорциум молочнокислых бактерий и дрожжей проявил более высокую биологическую активность по сравнению с монокультурами. Оптимальной концентрацией для стимуляции роста пшеницы является 1,0 % раствор консорциума. Способность у молочнокислых бактерий и дрожжей стимулировать рост растений обусловлена их способностью синтезировать фитогормоны. В открытом грунте показано, что микробный консорциум увеличил урожай зерна, содержание белка, микроэлементов (Zn, Fe) и питательных веществ (N, P, K) в зерне пшеницы. Сравнительный анализ эффективности биопрепарата «Байкал ЭМ-1» с эффективностью микробного консорциума показал, что обработка консорциумом приводит к большему накоплению макроэлементов в зерне, повышению урожайности, содержания белка и его выхода. Исследуемый консорциум имеет большую эффективность, чем биопрепарат «Байкал ЭМ-1», и может быть рекомендован для внедрения в сельском хозяйстве как экологически безопасный микробный препарат, альтернативный химическим средствам.*

Ключевые слова: микробный консорциум, молочнокислые бактерии, дрожжи, пшеница, стимуляция роста, урожай, качество зерна



Введение

Применение химических пестицидов, удобрений, регуляторов роста и средств защиты растений в производстве сельхозпродукции наносит непоправимый ущерб целому ряду экосистем планеты, что приводит к деградации природных ресурсов и снижению плодородия почв [1]. Биопрепараты в сельском хозяйстве занимают 5–10 %, в то время как основная доля используемых препаратов приходится на химические средства [2]. Перспективным подходом к увеличению продуктивности растений и качества урожая, позволяющим одновременно с этим сохранить естественное плодородие почв без ухудшения экологического состояния окружающей среды, является использование биопрепаратов на основе микроорганизмов [3; 4].

В отличие от химических средств защиты растений, биопрепараты преследуют цель не уничтожения, а регулирования численности болезнетворных микроорганизмов, формирования конкуренции с патогенами и генерации системной устойчивости, что в целом повышает иммунитет и адаптивные возможности культуры, способствует частичнойнейтрализации токсического действия химических средств, ускоряет развитие растений, а также повышает доступность для растений элементов питания, содержащихся в почве [5–7].

Введение в практику микробных препаратов в сочетании с современной агротехникой позволяет реализовать почвенно-климатический потенциал агроландшафта на 60–80 % (вместо 20–30 % в настоящее время), а также биологический потенциал сельскохозяйственных культур, который используется не полностью [8]. Применение биопрепаратов показало повышение качества продукции растениеводства и более высокую рентабельность сельхозпредприятий [9].

Эффективность использования микробных препаратов на основе молочнокислых бактерий и дрожжей обусловлена их способностью синтезировать высокоактивные метаболиты. В частности, молочнокислые бактерии ингибируют рост патогенных и условно-патогенных микроорганизмов за счет продуцируемых бактериоцинов, спиртов, органических кислот, реутерина, перекиси водорода и др. [10; 11]. Анти микробные метаболиты позволяют микробному консорциуму подавлять рост фитопатогенных бактерий и грибов [12]. Повышение продуктивности и стимуляция роста растений молочнокислыми бактериями обусловлены биосинтезом ауксина [13], а также трансформацией нерастворимых соединений фосфора в доступные растениям формы. Благодаряростостимулирующим способностям и синтезу бактерио- и фуницидных веществ, молочнокислые бактерии рассматриваются как *plant-growth-promoting bacteria* (PGPB), то есть бактерии, способные стимулировать рост растений [14].

Целью настоящего исследования стало изучение влияния микробного консорциума молочнокислых бактерий и дрожжей на продуктивность озимой пшеницы сорта Надор.



Материалы и методы

Объектом для проведения исследований служил микробный консорциум молочнокислых бактерий и дрожжей: *Lactobacillus casei* IMB B-7343, *Lactobacillus plantarum* IMB B-7344, *Lactococcus lactis* IMB B-7352 и *Saccharomyces cerevisiae* IMB Y-5046.

Для получения микробного консорциума использовали 24-часовые культуры бактерий с численностью жизнеспособных клеток для *L. casei* IMB B-7343 $2,4 \times 10^8$ КОЕ/мл, для *L. plantarum* IMB B-7344 – $5,1 \times 10^8$ КОЕ/мл, для *L. lactis* IMB B-7352 – $1,7 \times 10^8$ КОЕ/мл и 2-суюточную культуру *S. cerevisiae* IMB Y-5046 с численностью жизнеспособных клеток $3,1 \times 10^5$ КОЕ/мл, взятые в соотношении 1:1:1:0,5. Для этого молочнокислые бактерии культивировали на питательной среде MRS в шейкере-инкубаторе MaxQ 4500 (Thermo Fisher Scientific, США) при 100 об/мин; температура культивирования лактобактерий составляла 36°C, лактококка – 30°C. Штамм *S. cerevisiae* IMB Y-5046 культивировали на среде Сабуро в шейкере-инкубаторе при 200 об/мин при 28°C.

Микробный консорциум получали путем совместного культивирования всех штаммов на питательной среде MRS в биореакторе Minifors 2 объемом 4 л (Швейцария) при температуре 32°C и 50 об/мин в течение 3 суток. Для контроля качества полученного микробного консорциума проводили учет численности микроорганизмов, входящих в него, спустя 3 суток совместного культивирования. В полученном микробном консорциуме выявлены *L. casei* IMB B-7343 – $6,2 \times 10^8$ КОЕ/мл, *L. plantarum* IMB B-7344 – $7,4 \times 10^8$ КОЕ/мл, *L. lactis* IMB B-7352 – $1,2 \times 10^9$ КОЕ/мл и *S. cerevisiae* IMB Y-5046 – $2,7 \times 10^6$ КОЕ/мл.

Для определения количества индолильных соединений культуры микроорганизмов культивировали 5 суток на забуференной пептонной среде с добавлением триптофана следующего состава, г/л: пептон – 1,0; глюкоза – 1,0; хлорид натрия – 5,0; дигидрофосфат калия – 2,0; триптофан – 1,0 (стерилизовали при 0,6 атм. 30 минут). Культуральную жидкость отделяли от клеток центрифугированием при 8000 об/мин в течение 15 минут. Надосадочную жидкость смешивали с реагентом Сальковского в соотношении 1:1. Смесь инкубировали при 32°C в течение 60 минут. Определение ИУК проводили по интенсивности розовой окраски спектрофотометрически при $\lambda = 530$ нм. Концентрацию ИУК определяли с помощью калибровочной кривой. Калибровочную кривую строили со стандартными растворами индолилуксусной кислоты (0,31; 0,625; 1,25; 2,5; 5,0; 10,0 мг/мл).

В качестве тест-растения использовали озимую пшеницу (*Triticum aestivum* L.) сорта Надор. В лабораторных опытах растения выращивали в водной культуре с добавлением монокультур молочнокислых бактерий и дрожжей и их консорциума. Семена в количестве 30 штук раскладывали в чашки Петри на фильтровальную бумагу, предварительно смоченную растворами монокультур и микробного консорциума в концентрациях 0,1, 0,5, и 1,0 % (опытные варианты), а в качестве контроля использовали дистиллиированную воду. Чашки Петри с семенами



помещали в климатическую камеру (BMT ClimaCell CLC-B2V-M) при температуре $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ и 16-часовом фотопериоде. Измерения морфометрических показателей растений (длина корней и надземной части) были произведены на 7-е сутки с использованием линейки с шагом 0,05 см. Ростовые показатели растений были выражены в процентах относительно контроля.

Исследования в открытом грунте проводились на луговом черноземе в Республике Крым. Размер опытного участка на каждый вариант опыта составлял $20 - 25 \text{ м}^2$, повторность опыта 4-кратная. Эффективность разработанного микробного консорциума сравнивали с контрольным вариантом 1 (вода) и контролем 2 – биопрепаратором «Байкал ЭМ-1». Микробиологический препарат «Байкал ЭМ-1» производит ООО «НПО ЭМ-ЦЕНТР» (регистрационный номер 226 (227, 228)-19-156-1). Состав «Байкала ЭМ-1» включает *Lactobacillus casei* (ВКПМ В-11360), *Lactococcus lactis* (ВКПМ В-11341), *Saccharomyces cerevisiae* (ВКПМ Y-3964).

Внесение микробного консорциума и препарата «Байкал ЭМ-1» проводили во влажный грунт. За одну обработку на 1 га посевов вносили по 1 л микробного консорциума и препарата «Байкал ЭМ-1». Производительность пшеницы сорта Надор оценивали по следующим показателям: урожай, содержание белка в зерне, выход белка, минеральные элементы в зерне пшеницы. В день сбора урожая отбирали образцы растительного материала для определения содержания белка и минеральных элементов (N, P, K, Cu, Zn, Mn, Fe) [15, с. 689].

Статистический анализ данных проводили, рассчитывая наименьшую существенную разницу с применением программы Excel.

Результаты и обсуждение

Выявлено стимулирующее действие монокультур молочнокислых бактерий, дрожжей и их консорциума на ростовые процессы проростков пшеницы сорта Надор (табл. 1). Из трех исследованных концентраций суспензии штамма *L. casei* B-7343 максимальную стимуляцию роста корня на 28,3 % и надземной части на 21,5 % оказал 1,0 % раствор. Сходный эффект обнаружен при изучении фитостимулирующей активности штамма *L. plantarum* B-7344: длина корня и надземной части при обработке 1,0 % раствором суспензии выше контроля на 34,7 и 32,4 % соответственно. Независимо от концентрации, штаммы молочнокислых бактерий оказывали более значительное влияние на рост корней, нежели надземной части растений. Наибольший стимулирующий эффект на длину корня по сравнению с контролем произвел 0,5 % раствор суспензии *L. lactis* B-7352 (117,1 %), а на длину надземной части – 0,1 % раствор (117,9 %). Лактобактерий *L. lactis* B-7352 в концентрации 1,0 % ингибировал длину проростков пшеницы. Из всех исследованных микроорганизмов штамм *S. cerevisiae* Y-5046 оказал на морфометрические характеристики проростков пшеницы сорта Надор наименьший положительный эффект, составивший всего 3 – 8 % по сравнению с контролем. При оценке влияния микробного консорциума на ростовые показатели проростков пшеницы сорта Надор наблюдалось увеличение длины корня на 35,3 %, при использовании 1,0 % раствора суспензии.



Таблица 1

Морфометрические показатели проростков пшеницы сорта Надор, выращенных в суспензии монокультур молочнокислых бактерий, дрожжей и их консорциуме, %

Концентрация микробной культуры	<i>L. casei</i> B-7343	<i>L. plantarum</i> B-7344	<i>L. lactis</i> B-7352	<i>S. cerevisiae</i> Y-5046	МК*
<i>Корневая система</i>					
Контроль	100,0±2,4	100,0±2,3	100,0±1,8	100,0±1,4	100,0±2,3
0,1 %	114,2±1,6	128,3±1,8	108,3±1,5	103,4±1,8	125,4±1,9
0,5 %	121,7±1,8	131,2±1,6	117,1±1,4	105,0±1,5	131,7±2,2
1,0 %	128,3±2,1	134,7±1,9	82,3±1,6	105,9±1,6	135,3±1,9
<i>Надземная часть</i>					
Контроль	100,0±2,0	100,0±2,1	100,0±1,9	100,0±1,6	100,0±2,3
0,1 %	113,5±1,8	124,7±2,7	117,9±2,1	105,3±1,9	117,4±2,1
0,5 %	119,4±2,5	129,2±2,4	106,2±2,4	107,4±1,8	121,4±2,4
1,0 %	121,5±2,4	132,4±1,9	86,7±1,9	108,5±2,1	126,9±1,9

* МК – микробный консорциум.

Для обоснования эффекта стимуляции роста растений молочнокислыми бактериями и дрожжами была изучена их возможность синтезировать ауксины. Результаты исследования показали, что монокультуры микроорганизмов, синтезировали индолные соединения, концентрация которых представлена в таблице 2.

Таблица 2

Ауксинподобные соединения, синтезируемые молочнокислыми бактериями и дрожжами

Микроорганизмы	ИУК, мкг/мл
<i>L. casei</i> IMB B-7343	60,0±16
<i>L. plantarum</i> IMB B-7344	115,9±22
<i>L. lactis</i> IMB B-7352	107,3±15
<i>S. cerevisiae</i> IMB Y-5046	52,9±5

Согласно литературным данным, в корневых экссудатах растений содержится триптофан [13]. Микроорганизмы, находясь на поверхности корней, поглощают их экзогенные метаболиты и синтезируют ИУК, тем самым стимулируя ростовые процессы растений.

Таким образом, была выявлена концентрационная зависимость у растений пшеницы: с увеличением концентрации суспензии монокультур молочнокислых бактерий увеличивались морфометрические показатели вегетативных органов. Сахаромицеты оказывали сравнительно слабое стимулирующее действие, при этом не наблюдалось достоверных отличий между исследуемыми концентрациями. Микробный консорциум проявил более высокую биологическую активность по



сравнению с монокультурами. Оптимальной концентрацией для стимуляции роста пшеницы является раствор микробного консорциума в концентрации 1,0 %.

Дальнейшие исследования микробного консорциума проводили в почвенной культуре в открытом грунте. Эффективность опытного микробного консорциума сравнивали с коммерческим микробиологическим удобрением «Байкал ЭМ-1». Однократное внесение микробного консорциума в количестве 1 л/га увеличило урожай зерна озимой пшеницы сорта Надор на 38,9 % (0,84 т/га), содержание белка на 1,23 %, выход белка на 56,1 % (0,12 т/га) по сравнению с контролем 1 (рис. а, б, д, табл. 3).

152

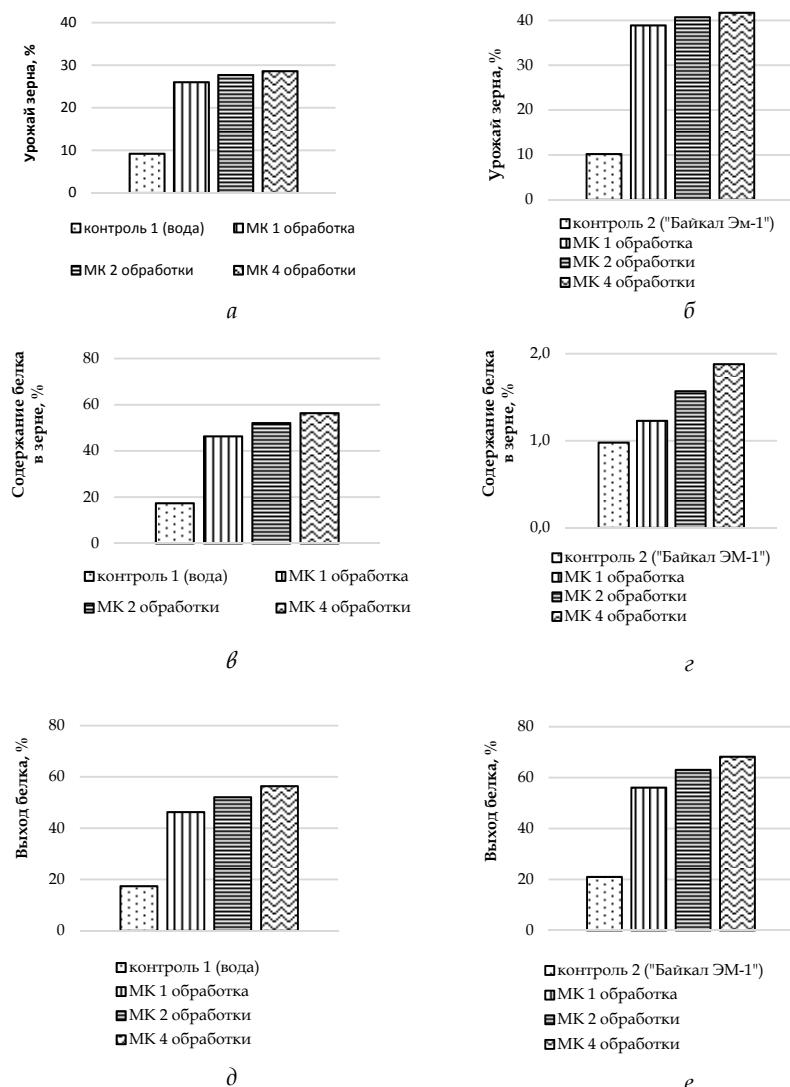


Рис. Данные по приросту:
а, б – урожай зерна; б, г – содержание белка в зерне; д, е – выход белка



Таблица 3

**Оценка влияния микробного консорциума
на продуктивность озимой пшеницы сорта Надор**

Показатель	Контроль 1 (вода)	Контроль 2 («Байкал ЭМ-1»)	Количество обработок МК		
			1	2	4
Урожай зерна, т/га	2,16	2,38	3,00	3,04	3,06
Содержание белка в зерне, %	9,9	10,88	11,13	11,47	11,78
Выход белка, т/га	0,214	0,259	0,334	0,349	0,360

Применение препарата «Байкал ЭМ-1» (контроль 2) дало прирост урожая зерна 10,2 % (0,22 т/га), содержания белка 0,98 % и выхода белка 21,0 % (0,259 т/га) по сравнению с контролем 1. Однократное внесение исследуемого микробного консорциума превышает показатели препарата «Байкал ЭМ-1» по урожаю зерна на 26,0 %, по содержанию белка в зерне на 0,25 % и по выходу белка из зерна на 46,3 % (рис. б, г, е).

Увеличение количества обработок посевов пшеницы исследуемым микробным консорциумом оказало стимулирующее действие на содержание белка и выход его из зерна. Так, при 2- и 4-кратной обработке посевов микробным консорциумом урожай пшеницы увеличился по сравнению с однократным применением на 1,8 – 2,8 %, содержание белка в зерне – на 0,34 – 0,65 %, выход белка – на 7,0 – 12,1 %.

Результаты исследований показали, что на луговом черноземе в условиях вегетационного сезона 2019 – 2020 гг. оптимальной нормой применения микробного консорциума является 2 – 4 л/га. При этом урожай зерна озимой пшеницы увеличился на 40,7 – 41,7 % (0,88 – 0,90 т/га), содержание белка – на 1,57 – 1,88 %, выход белка – на 63,1 – 68,2 % (0,135 – 0,146 т/га) по сравнению с контролем 1.

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что микробный консорциум практически не оказал значимого влияния на содержание микроэлементов в зерне пшеницы: содержание меди, цинка и марганца было равным контролю 1 и контролю 2 или несколько выше (табл. 4).

Таблица 4

**Оценка влияния микробного консорциума
на содержание микроэлементов в зерне пшеницы сорта Надор, мг/кг**

Варианты обработки	Cu	Zn	Mn	Fe
Контроль 1 (вода)	2,2±0,11	21,6±0,1	11,7±0,3	50,7±2,1
Контроль 2 «Байкал ЭМ-1»	2,2±0,14	22,4±0,2	12,4±0,2	43,0±3,2
МК 2 обработки	2,2±0,12	22,2±0,2	11,3±0,1	55,5±1,9

Увеличение количества обработок посевов пшеницы приводило к накоплению макроэлементов в зерне злаковой культуры. Так, в зерне изначально содержалось 1,87 % азота, после обработки посевов препа-



ратом «Байкал ЭМ-1» его содержание увеличилось до 2,06 %, а микробный консорциум в зависимости от количества обработок увеличил данный показатель до 2,10–2,23 % (табл. 5). Содержание фосфора в контрольном варианте 1 составило 0,323 %, при использовании препарата «Байкал ЭМ-1» – 0,377 %, а в результате 1–4 обработок микробным консорциумом – 0,460–0,516 %. Зерно пшеницы в контрольном варианте 1 содержало 0,38 % калия, в контроле 2 – 0,48 %, а при обработках микробным консорциумом – до 0,53 %.

Таблица 5

154

Оценка влияния микробного консорциума на содержание питательных веществ в зерне пшеницы сорта Надор, % на абсолютно сухое вещество

Варианты обработки	N	P	K	белок
Контроль 1 (вода)	1,87±0,09	0,323±0,02	0,38±0,01	9,33±0,3
Контроль 2 («Байкал ЭМ-1»)	2,06±0,12	0,377±0,01	0,48±0,02	10,27±0,4
МК 1 обработка	2,10±0,13	0,477±0,05	0,43±0,02	10,50±0,5
МК 2 обработки	2,17±0,13	0,460±0,06	0,40±0,01	10,82±0,4
МК 4 обработки	2,23±0,15	0,516±0,1	0,53±0,01	11,12±0,5

Особое значение проведенные исследования имеют с точки зрения сравнительной характеристики действия разработанного микробного консорциума и препарата «Байкал ЭМ-1», внесенного в государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории РФ (2020 г.). Обработка микробным консорциумом способствовала увеличению урожайности зерна пшеницы на 28,57 % по сравнению с действием препарата «Байкал ЭМ-1». Использование исследуемого микробного консорциума при однократной обработке оказывало значительный эффект, увеличивая урожайность на 25–38 %, а 2- и 4-кратная обработка улучшала качество продукции, увеличивая содержание белка на 1,23–3,10 %. В зависимости от числа обработок использование микробного консорциума увеличивало выход белка из зерна пшеницы на 56,1–68,2 %. Однократная обработка микробным консорциумом влияла на увеличение содержания белка в зерне пшеницы на 0,25 %, а выход белка вырастал на 46,3 %.

Заключение

Разработанный микробный консорциум продемонстрировал в экспериментах не только сопоставимую, но и превосходящую эффективность по сравнению с зарегистрированным микробиологическим препаратом «Байкал ЭМ-1» при условии 2- и 4-кратной обработки. Эти результаты подчеркивают значительные преимущества применения микробного консорциума, что открывает новые перспективы для его



внедрения в сельскохозяйственную практику. С учетом растущей необходимости в устойчивых и экологически безопасных методах ведения сельского хозяйства использование данного консорциума может стать жизнеспособной альтернативой традиционным химическим средствам и существующим микробиологическим препаратам, способствуя не только повышению урожайности, но и улучшению качества продукции.

Список литературы

1. Bursic V., Vukovic G., Gvozdenac S. et al. Abuse of plant protection products // Journal on Processing and Energy in Agriculture. 2016. Vol. 20. P. 189–192.
2. Yadav R., Singh S., Singh A.N. Biopesticides: Current status and future prospects // Proc. Int. Acad. Ecol. Environ. Sci. 2022. Vol. 12. P. 211–233.
3. Abdulvaleev R.R., Safarov Z.F., Khisamov I. Zh. et al. Influence of antistress growth regulators on the yield and quality of spring wheat grain // Achievements of chemistry in the agro-industrial complex Materials of the II all-Russian Youth Conf. Ufa, 2016. P. 10–14.
4. Герцик Ю.Г., Фокина И.И. Текущее состояние и прогноз развития рынков биотехнологий на ближайшую перспективу в России и за рубежом // Маркетинг в России и за рубежом. 2022. Т. 1. С. 91–100. EDN: ZSANYG.
5. Ivanova I.I., Ilina S., Dementiev D. Influence of microbiological preparations on spring wheat yield // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2020. P. 548. doi: 10.1051/bioconf/20201700106.
6. Laranjeira S., Fernandes-Silva A., Reis S. et al. Inoculation of plant growth promoting bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi improve chickpea performance under water deficit conditions // Appl. Soil Ecol. 2021. Vol. 164. P. 103927. doi: 10.1016/j.apsoil.2021.103927.
7. Moura S., Pinto M. V., Figueiredo J. et al. Use of plant protection products in agriculture // Atención Primaria. 2016. Vol. 48 (2). P. 51. doi: 10.29352/mill0202.07.00091.
8. Sundh I., Del Giudice T., Cembalo L. Reaping the benefits of microorganisms in cropping systems: is the regulatory policy adequate? // Microorganisms. 2021. Vol. 9. P. 1437. doi: 10.3390/microorganisms9071437.
9. Kumar J., Ramlal A., Mallic D. et al. An overview of some biopesticides and their importance in plant protection for commercial acceptance // Plants. 2021. Vol. 10. P. 1185. doi: 10.3390/plants10061185.
10. Nacoon S., Jogloy S., Riddech N. et al. Interaction between Phosphate Solubilizing Bacteria and Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Growth Promotion and Tuber Inulin Content of *Helianthus tuberosus* L. // Sci. Rep. 2020. Vol. 10. P. 1–10. doi: 10.1038/s41598-020-61846-x.
11. Stoyanova L.G., Ustyugova E.A., Netrusov A.I. Antimicrobial metabolites of lactic acid bacteria: diversity and properties (review) // Applied Biochemistry and Microbiology. 2012. Vol. 8 (3). P. 259–275. doi: 10.1134/S0003683812030143.
12. Atanassova M., Dalgalarondo M., Choiset Y., Chobert J.M. Isolation and partial biochemical characterization of a proteinaceous anti-bacteria and anti-yeast compound produced by *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei* strain M3 // International Journal of Food Microbiology. 2003. Vol. 87 (1-2). P. 63–73. doi: 10.1016/s0168-1605(03)00054-0.
13. Шапошников А.И., Белимов А.А., Азарова Т.С. и др. Взаимосвязь состава корневых экссудатов и эффективности взаимодействия растений пшеницы с микроорганизмами // Прикладная биохимия и микробиология. 2023. №59. С. 260–274. doi: 10.31857/S0555109923030170.



14. Fanai A., Bohia B., Lalremruati F. et al. Plant growth promoting bacteria (PGPB)-induced plant adaptations to stresses: an updated review // Peer. J. Plant. Biology. 2024. Vol. 20 (12). P. 17882. doi: 10.7717/peerj.17882.

15. Практикум по агрохимии : учеб. пособие / под ред. В.Г. Минеева. 2-е изд., перераб. и доп. М., 2001.

Об авторах

Виктория Степановна Ржевская — асп., Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Россия.

E-mail: viktoriyar45@mail.ru

ORCID: 0000-0003-4788-0407

SPIN-код: 1399-5542

156

Александр Владимирович Омельченко — канд. биол. наук, доц., Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Россия.

E-mail: omelchenko_tnu@mail.ru

ORCID: 0000-0002-9490-622X

SPIN-код: 7161-8836

Александра Андреевна Жаркова — магистрант, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Россия.

E-mail: alexashka.jar2000@gmail.com

Анастасия Владимировна Крыжко — канд. с.-х. наук, ведущ. науч. сотр., Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Россия.

E-mail: nk_lib@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5401-0579

SPIN-код: 761466

Игорь Александрович Бугара — канд. биол. наук, доц., Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Россия.

E-mail: bia.05@mail.ru

ORCID: 0000-0001-6594-9055

SPIN-код: 226531

**V. S. Rzhevskaya¹, A. V. Omelchenko¹, A. A. Zharkova¹
A. V. Kryzhko², I. A. Bugara¹**

EVALUATION OF THE LACTIC ACID BACTERIA AND YEAST CONSORTIUM EFFICIENCY TO INCREASE THE PRODUCTIVITY OF *TRITICUM AESTIVUM* L.

¹ V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Russia

² Research Institute of Agriculture of Crimea, Russia

Received 27 February 2025

Accepted 20 June 2025

doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-11

To cite this article: Rzhevskaya V.S., Omelchenko A.V., Zharkova A.A., Kryzhko A.V., Bugara I.A., 2025, Evaluation of the lactic acid bacteria and yeast consortium efficiency to increase the productivity of *Triticum aestivum* L., *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural Sciences*, №3 P. 147–157. doi: 10.5922/vestniknat-2025-3-11.



*The influence of a microbial consortium of lactic acid bacteria – *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactococcus lactis* – and yeast *Saccharomyces cerevisiae* on the yield and quality of winter wheat of the Nador variety was studied. Laboratory experiments were conducted to determine the effect of the microorganism suspension on the morphometric parameters of wheat seedlings in an aqueous culture, and the content of indole-3-acetic acid (IAA) in the microbial culture fluid was measured. The lactic acid bacteria – yeast consortium exhibited higher biological activity compared to monocultures. The optimal concentration for stimulating wheat growth was found to be a 1.0 % solution of the consortium. The plant growth-promoting ability of the lactic acid bacteria and yeast is attributed to their capacity to synthesize phytohormones. Field experiments demonstrated that the microbial consortium increased grain yield, protein content, microelements (Zn, Fe), and nutrients (N, P, K) in wheat grains. A comparative analysis of the efficacy of the bioproduct "Baikal EM-1" and the microbial consortium showed that treatment with the consortium led to greater accumulation of macroelements in the grains, higher yield, increased protein content, and protein output. The studied consortium demonstrated higher effectiveness than the bioproduct "Baikal EM-1" and can be recommended for implementation in agriculture as an environmentally safe microbial preparation, serving as an alternative to chemical agents.*

Keywords: microbial consortium, lactic acid bacteria, yeast, wheat, growth stimulation, yield, grain quality

The authors

Viktoriya S. Rzhevskaya, PhD student, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Russia.

E-mail: viktoriyar45@mail.ru
ORCID: 0000-0003-4788-0407
SPIN-код: 1399-5542

Dr Aleksandr V. Omelchenko, Associate Professor, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Russia.

E-mail: omelchenko_tnu@mail.ru
ORCID: 0000-0002-9490-622X
SPIN-код: 7161-8836

Aleksandra A. Zharkova, Master's student, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Russia.

E-mail: alexashka.jar2000@gmail.com

Dr Anastasia V. Kryzhko, Leading Researcher, Research Institute of Agriculture of Crimea, Russia.

E-mail: nk_lib@mail.ru
ORCID: 0000-0001-5401-0579
SPIN-код: 761466

Dr Igor A. Bugara, Associate Professor, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Russia.

E-mail: bia.05@mail.ru
ORCID: 0000-0001-6594-9055
SPIN-код: 226531

**ТРЕБОВАНИЯ И УСЛОВИЯ ПУБЛИКАЦИИ СТАТЕЙ
В ВЕСТНИКЕ БФУ им. И. КАНТА**
Серия: Естественные науки



Правила публикации статей в журнале

158

1. Представляемая для публикации статья должна быть актуальной, обладать новизной, содержать постановку задач (проблем), описание основных результатов исследования, полученных автором, выводы, а также соответствовать правилам оформления.
2. Материал, предлагаемый для публикации, должен быть оригинальным, не публиковавшимся ранее в других изданиях. При отправке рукописи в редакцию журнала автор автоматически принимает на себя обязательство не публиковать ее ни полностью, ни частично без согласия редакции.
3. Рекомендованный объем статьи – не менее 20 тыс. знаков с пробелами.
4. Все присланные в редакцию работы проходят двойное «слепое» рецензирование, а также проверку системой «Антиплагиат», по результатам которых принимается решение о возможности включения статьи в журнал. Рецензентами выступают как члены редакционной коллегии журнала, так и внешние эксперты.
5. Статьи на рассмотрение принимаются в режиме онлайн. Для этого авторам нужно зарегистрироваться на портале Единой редакции научных журналов БФУ им. И. Канта <https://journals.kantiana.ru/submit/> и следовать подсказкам в разделе «Поставить статью онлайн».
6. Решение о публикации (или отклонении) статьи принимается редакционной коллегией журнала после ее рецензирования и обсуждения.
7. Автор имеет право публиковаться в одном выпуске журнала один раз; второй раз – в соавторстве (в исключительном случае и только по решению редакционной коллегии).
8. Плата за публикацию рукописей не взимается.

Комплектность и форма представления авторских материалов

1. Статья должна содержать следующие элементы:
 - а) индекс УДК – должен достаточно подробно отражать тематику статьи (основные правила индексирования по УДК см.: <http://www.naukapro.ru/metod.htm>);
 - б) название статьи строчными буквами на русском и английском языках (*до 12 слов*);
 - в) аннотацию на русском и английском языках (*150 – 250 слов, то есть 500 печатных знаков*). Располагается перед ключевыми словами после заглавия;
 - г) ключевые слова на русском и английском языках (*4 – 8 слов*). Располагаются перед текстом после аннотации;
 - д) список литературы, оформленный в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. Должен включать от 15 до 30 источников, не менее 50 % которых должны представлять современные (не старше 10 лет) публикации в изданиях, рецензируемых ВАК, и (или) в международных изданиях. Оптимальный уровень самоцитирования автора – не выше 10 % от списка использованных источников;
 - е) сведения об авторах на русском и английском языках (ФИО полностью, учевые степени, звания, должность, место работы (организация, город, страна), e-mail, ORCID);
 - ж) сведения о языке текста, с которого переведен публикуемый материал.
2. Ссылки на литературу в тексте статей даются только в квадратных скобках с указанием номера источника из списка литературы, приведенного в конце статьи: первая цифра – номер источника, вторая – номер страницы (например: [12, с. 4]).
3. Рукописи, не отвечающие требованиям, изложенным в пункте 1, в печать не принимаются, не редактируются и не рецензируются.

Общие правила оформления текста

Авторские материалы должны быть подготовлены *в электронной форме* в формате листа А4 (210 × 297 мм).

Все текстовые авторские материалы принимаются исключительно в формате *doc* и *docx* (Microsoft Office).

Подробная информация о правилах оформления текста, в том числе таблиц, рисунков, ссылок и списка литературы, размещена на сайте Единой редакции научных журналов БФУ им. И. Канта: <https://journals.kantiana.ru/vestnik/nature/rules/>.

Порядок рецензирования рукописей статей

1. Редакционная коллегия журнала «Вестник БФУ им. И. Канта. Серия: Естественные науки» осуществляет рецензирование всех поступающих в редакцию материалов, соответствующих ее тематике, с целью их экспертной оценки. Все рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов и имеют в течение последних 3 лет публикации по тематике рецензируемой статьи. Рецензии хранятся в издательстве и в редакции издания в течение 5 лет.

2. Ответственный редактор журнала определяет соответствие статьи профилю журнала, требованиям к оформлению и направляет ее на рецензирование специалисту, доктору или кандидату наук, имеющему наиболее близкую к теме статьи научную специализацию.

3. Сроки рецензирования в каждом отдельном случае определяются ответственным редактором с учетом создания условий для максимально оперативной публикации статьи.

4. В рецензии освещаются следующие вопросы:

- а) степень интереса тематики для читателей журнала;
- б) степень оригинальности статьи;
- в) точность и адекватность представленной информации;
- г) знание существующего состояния дел по данной проблематике;
- д) стиль и манера изложения;
- е) логичность построения статьи.

5. Рецензирование проводится конфиденциально. Автор рецензируемой статьи может ознакомиться с текстом рецензии. Нарушение конфиденциальности допускается только в случае заявления рецензента о недостоверности или фальсификации материалов, изложенных в статье.

6. Если в рецензии содержатся рекомендации по исправлению и доработке статьи, ответственный редактор направляет автору текст рецензии с предложением учсть их при подготовке нового варианта статьи или аргументированно (частично или полностью) их опровергнуть. Доработанная (переработанная) автором статья повторно направляется на рецензирование.

7. Статья, не рекомендованная рецензентом к публикации, к повторному рассмотрению не принимается. Текст отрицательной рецензии направляется автору по электронной почте.

8. Наличие положительной рецензии не является достаточным основанием для публикации статьи. Окончательное решение о целесообразности публикации принимается редколлегией журнала.

9. После принятия редколлегией журнала решения о допуске статьи к публикации ответственный редактор информирует об этом автора и указывает сроки публикации.

10. Текст рецензии направляется автору по электронной почте.

11. Редакция журнала «Вестник БФУ им. И. Канта. Серия: Естественные науки» направляет авторам предоставленных материалов копии рецензий или мотивированный отказ, а также обязуется направлять копии рецензий в Министерство образования и науки Российской Федерации при поступлении в редакцию издания соответствующего запроса.

Научное издание

ВЕСТНИК
БАЛТИЙСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
им. И. КАНТА

Серия

Естественные науки

2025

№ 3

Редактор *Д. А. Малеваная*
Компьютерная верстка *Г. И. Винокуровой*

Подписано в печать 29.08.2025 г.
Формат 70×108 1/16. Усл. печ. л. 13,9