

ISSN 3034-3739 (Online)

Вестник 2026

Балтийского федерального
университета
им. И. Канта

Серия

Естественные науки

№ 2

ISSN 3034-3739 (Online)

БФУ БАЛТИЙСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ИММАНУИЛА КАНТА

IKVBU IMMANUEL KANT
BAL TIC FEDERAL
UNIVERSITY

ВЕСТНИК
БАЛТИЙСКОГО
ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИМ. И. КАНТА

Серия
Естественные науки

№2

Калининград
Издательство Балтийского федерального университета
им. Иммануила Канта
2026

12+

Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта.
Сер.: Естественные науки. — 2026. — №2. — 156 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 филиал 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., Самаркандский 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. Герцена; *С. А. Суких*, 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 19.06.2026 г.

© Оформление, БФУ им. И. Канта, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Экономическая, социальная, политическая и рекреационная география

- Левченков А. В. Градостроительное развитие Кёнигсберга (современного Калининграда) в XIX веке: нормативные акты и особенности..... 5
- Ренни Ф. М. Концептуальные положения балльно-индексной оценки рудных ресурсов Северного экономического района России 23
- Карасев В. Г. Роль предпринимательства в ревитализации малых городов нечерноземья (на примере г. Боровичи Новгородской области)..... 42

Физическая география, геоэкология и океанология

- Нагурная И. Д., Волкова И. И., Шаплыгина Т. В. Формирование акустической среды Калининграда под воздействием транспортных потоков 59
- Полунина Ю. Ю., †Никитина С. М., Гуцин А. В. Экспериментальная оценка влияния отдельных аспектов нереста балтийской сельди на модельный вид ветвистоусых ракообразных 79

Биология, биотехнология и экология

- Тихонов С. Л., Тихонова Н. В., Тимофеева М. С., Шихалев С. В. Разработка и синтез пептидомиметика неспецифического иммуномодулирующего действия. 95
- Зинуров М. Р., Зинурова Е. Е., Валидов Ш. З., Фролов М. Д., Сысоева М. А., Багаева Т. В. Синтез лектинов микромицетами рода *Alternaria* 108
- Чагарова О. В., Косицына О. А. Оценка качества воды из источников нецентрализованного водоснабжения населенных пунктов аграрной зоны Амурской области 119
- Гумеров Д. И. Генетическая лабильность *Varroa Destructor* как фактор эпизоотического процесса в популяциях *Apis Mellifera Carpatica* 129
- Севастьянова А. Д., Мукминов М. Н. Филогеографические связи *Nosema Apis* на уровне пасеки..... 141

CONTENTS

Economic, social, political and recreational geography

- Levchenkov A. V. Urban Planning Development of Königsberg (Modern Kaliningrad) in the 19th Century: Regulatory Acts and Features..... 5
- Renni F. M. The Conceptual Provisions for the Point-Index Assessment of Ore Resources in the Northern Economic Region of Russia 23
- Karasev V. G. The role of entrepreneurship in the revitalization of small towns in the non-chernozem region (on the example of Borovichi, Novgorod region) 42

Physical geography, geoecology and oceanology

- Nagurnaya I. D., Volkova I. I., Shaplygina T. V. Formation of the Acoustic Environment in Residential Areas of Kaliningrad under the Influence of Traffic Flows 59
- Polunina Ju. Ju., †Nikitina S. M., Gushchin A. V. Experimental assessment of the influence of certain aspects of baltic herring spawning on the model species of cladocerans 79

Biology, biotechnology and ecology

- Tikhonov S. L., Tikhonov N. V., Timofeeva M. S., Shikhalev S. V. Development and synthesis of a non-specific immunomodulating peptidomimetic 95
- Zinurov M. R., Zinurova E. E., Validov Sh. Z., Frolov M. D., Sysoeva M. A., Bagaeva T. V. Synthesis of lectins by micromycetes of the genus *Alternaria* 108
- Chagarova O. V., Kositsyna O. A. Assessment of Water Quality from Uncentralized Water Supply Sources in Rural Areas of the Amur Region..... 119
- Gumerov D. I. Genetic lability of *Varroa Destructor* as a factor of the epizootic process in *Apis Mellifera Carpatica* populations..... 129
- Sevastianova A. D., Mukminov M. N. Genetic variability and phylogeographic relations of *Nosema Apis* at the apiary level..... 141

УДК 911.375/711.4

А. В. Левченко

**ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ КЁНИГСБЕРГА
(СОВРЕМЕННОГО КАЛИНИНГРАДА) В XIX ВЕКЕ:
НОРМАТИВНЫЕ АКТЫ И ОСОБЕННОСТИ**

5

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

Поступила в редакцию 18.02.2026 г.

Принята к публикации 29.03.2026 г.

doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-1

Для цитирования: *Левченко А. В. Градостроительное развитие Кёнигсберга (современного Калининграда) в XIX веке: нормативные акты и особенности // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2026. №2. С. 5 – 22. doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-1.*

На XIX в. в Европе в целом и в Пруссии в частности пришелся период формирования на государственном и местном уровнях законодательной базы градостроительства как предтечи современного пространственного планирования. От изначального выборочного регулирования городской застройки (противопожарные меры и т.п.) к началу XX в. был пройден путь создания нормативных рамок управления городским развитием. В тоже время нет четкого понимания, какие процессы и правила оказали влияние, хоть и частичное по причине событий Второй мировой войны, на формирование облика современного Калининграда. Рассмотрены факторы, повлиявшие на городскую застройку, дана оценка городского развития с точки зрения градостроительного планирования (предельные параметры застройки, функциональное зонирование и т.п.), действовавшие нормативные акты застройки, применяемые актуальные концепции. Проанализирован баланс между общественным интересом в лице муниципалитета и частным, представленным застройщиками.

Ключевые слова: градостроительство, городское развитие, Кёнигсберг, Калининград, нормативные акты

В исследовании применен комплексный подход с историко-правовым анализом нормативных актов (1794–1899), картографический метод, статистический анализ (демографические данные, плотность застройки). Модель исследования выстроена на хронологическом прин-



ципе с выборочным анализом конкретных районов и объектов. Данные базируются как на архивных источниках, сборниках нормативных актов, так и на фундаментальных исторических трудах.

Один из важных этапов городского развития Кёнигсберга (современного Калининграда) пришелся на вторую половину XIX в., когда городская ткань приобрела многие характерные черты типичного европейского города. В тоже время до середины XIX в. Кёнигсберг как урбанизированная территория представлял из себя неоднородную структуру. Наряду с плотно застроенным центром из трех исторических городов при возведении первого вального кольца в первой трети XVII в. в городскую территорию были включены пригороды (слободы или «фрайхайты»), продолжавшие сохранять свой сельский патриархальный облик на протяжении столетий. Центральная же часть города в условиях окружающего ландшафта в виде береговой террасы, поймы реки Прегель и т. п., являла собой с момента образования ортогональность гипподамовой сетки. Налицо классическое средневековое «соревнование» владельца (власти) и собственников (жителей). В первую очередь работают факторы не архитектурно-планировочные, а фискальные, то есть рентный подход к участкам, которые практически полностью застраиваются. Например, общественный центр города у стен замка (Альтштадт) образован расширением одной из центральных улиц в площадь.

6

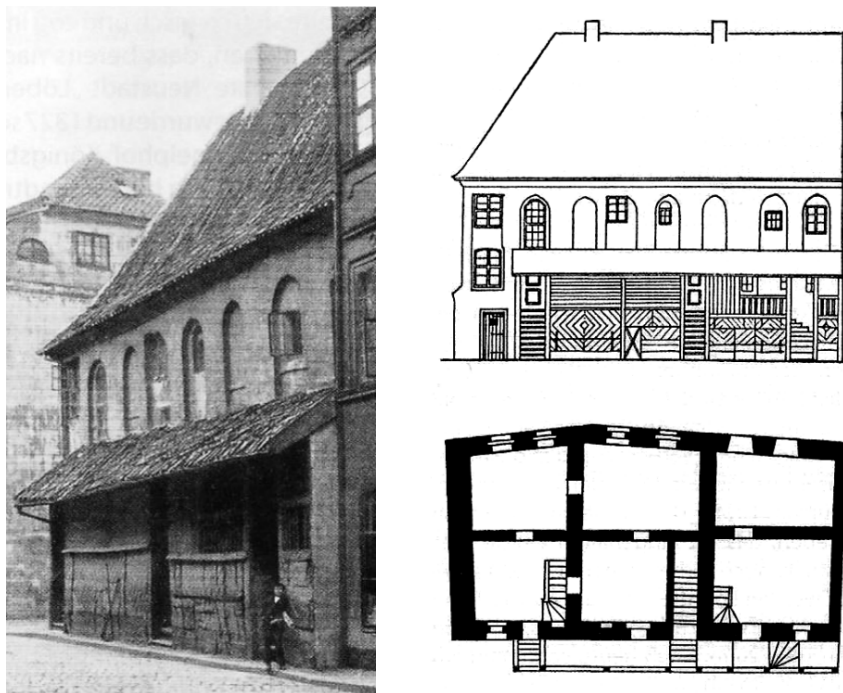
Существует мнение, что «оптимальным размером города считался удобный для пешего хода радиус в 250 м от центральной площади и ратуши. При превышении его принято было закладывать у стен следующий законченный по композиции город, со своим торгом и своим правом» [2]. Однако, по нашему мнению, дело обстоит намного проще, когда размеры и привилегии поселения фиксировались в грамоте о городском самоуправлении, что при увеличении числа горожан и нехватке свободных площадей приводило в последующем к образованию как новых поселений с городскими правами, так и городских слобод и пригородов.

Существуют некоторые строительные уложения, однако реальные действовавшие параметры применительно к трем первым городам отсутствуют. Согласно картографическому анализу, осуществилась квартальная застройка на 10–15 домов или больше. Для Кёнигсберга средняя ширина участка составляла две руты (8,64 м). В глубину же участки были намного длиннее: от 7,20 до 21,50 м. Со временем первоначально выделенные или приобретенные владения бюргеров дробились, превращаясь из «целых дворов» в «половинные» (полная глубина при половине ширины по фасаду), и так называемые *Buden* (фасад выходит на переулок, длина не более половины «целого» участка). Как было сказано выше, коэффициент застройки участков достигал максимальных значений. Высота уличных фасадов домов до карниза не более 30 футов (8,64 м), то есть три этажа. Все что выше — отдельное дозволение магистрата [2].

Правила относительно соседних построек были сформулированы столь же расплывчато, как и в основополагающем документе средневековья «Саксонском зеркале» (*Sachsenspiegel*, 1230): «В целом каждый имеет право строить на своем участке так близко к границе и так высоко, как он считает нужным. Однако если окна соседа, перед которыми должно

вестись строительство, существуют уже десять лет или более, а помещения, в которых они расположены, получают свет только с этой стороны, то новое здание должно быть вынесено достаточно далеко, чтобы сосед все еще мог видеть небо из закрытых окон нижнего этажа» [3].

Некоторое представление о типичном средневековом здании нам дает дом на Höckerstraße 10 — последний средневековый дом (около XV в.), выявленный в 1897 г. Адольфом Бёттихером¹ и снесенный в 1911 г. (рис. 1).



7

Рис. 1. Дом на Höckerstraße 10 [8]

Некоторые выводы о планировке города, хоть и довольно схематические, можно сделать, основываясь на первом плане Кёнигсберга некоего

¹ Адольф Бёттихер (Adolf Bötticher, 1842–1901) в 1865–1868 гг. обучался в Берлинской строительной академии и после практической работы стал архитектором на государственной службе. С 1877 г. был техническим помощником в Берлине. В 1879–1882 гг. вместе с Петером Валле издавал «Еженедельный журнал для архитекторов и инженеров». В 1886 г. получил задание описать все значимые архитектурные и художественные памятники Восточной Пруссии; в 1891 г. назначен провинциальным реставратором. За удивительно короткий срок и без какой-либо систематической подготовительной работы опубликовал труд «Архитектурные и художественные памятники провинции Восточная Пруссия» (1892–1898) в восьми томах, который в настоящее время обладает значимой ценностью на фоне катастрофических потерь в результате второй мировой войны [12]. Более детально с по этому вопросу см.: [1].

Йоахима Беринга (Joachim Bering) из городка Барт в Померании (издание Braun/Hogenberg 1581). Однако более детальную картину городской застройки показывает карта¹ Валериана Мюллера (I. T. Valerius Müller) 1815 г., на которой четко прослеживаются характерные на тот момент особенности городской ткани. Во-первых, для города была типичной очень плотная, сплошная застройка улиц и кварталов исторического центра. Во-вторых, застройка в слободах Трагхайм, Росгартен, Форштадт, Нойе Зорге, Закхайм была линейная, рыхлая, сконцентрированная только вдоль нескольких, чаще двух-трех главных выездных улиц. Характер и жизненный уклад жителей этих городских районов был типичным для малых городов Восточной Пруссии, которые имели специальный термин – *Ackerbürgerstadt*, то есть поселение с городскими правами, жители которого, однако, продолжали заниматься в дополнение к своему основному ремеслу огородничеством, садоводством и т. п.

Максимально плотная застройка исторического центра со дворами внутри участков минимальных размеров хорошо прослеживается на примере Кнайпхофа (городские права с 1323 г.), расположенного на острове (рис. 2).



Рис. 2. Застройка Кнайпхофа (часть карты Мюллера 1815)

Такие важные градостроительные элементы как общественные пространства и доминанты городской застройки хорошо просматриваются на примере другого исторического города – Лёбенихта (городские права с 1300 г.), в роли которых выступали рыночные площади, открытые пространства вокруг церквей и т. п. (рис. 3).

¹ Примечательна отдельная вкладка с детализацией наиболее опустошительных пожаров 1769, 1775, 1807 и 1811 гг.



Рис. 3. Лёбенихт на карте Мюллера (1815)

В то же время берег Замкового пруда, на который выходили тылы участков, полностью исключен из общественного использования. В южной слободе (Ближний Форштадт), на левом берегу реки Прегель, хорошо виден Цугтрабен (ранее просто «канал», прорытый в 1520 г. жителями Кнайпхофа в связи с угрозой нападения поляков) с насыпными дамбами и подъемным мостом между Ближним и Дальним Форштадтом. Примечательны пепелища опустошительного пожара 14 июня 1811 г. на Ближнем Форштадте и Кнайпхофе, когда сгорело 144 дома, 134 шпайхера и с ними 1,62 млн шеффелей зерна. Ущерб составил 13 млн талеров. Обломки и мусор пожарища использовались для отсыпки новой территории под застройку и устройство дамб для прокладки улиц на изначально сильно заболоченной местности (рис. 4).

В целом можно сделать вывод, что по состоянию на первую половину XIX в. градостроительное регулирование, входившее в компетенцию государства, имело односторонний характер в первую очередь в сторону соблюдения мер противопожарной безопасности¹. Именно на предотвращение пожаров и были направлены нормативные акты, связанные с современной точки зрения с градостроительной деятельностью. Основной составляющей городской застройки была не эстетическая функция (за это отвечали общественные здания, церкви, дворцы знати и т. п.),

¹ В 1723 г. королем Фридрихом Вильгельмом I было основано *Кёнигсбергское общество страхования от пожаров*. Данное учреждение в последствие объединилось с шестью другими краевыми обществами в одно под названием *Восточнопрусское страховое от огня общество (Ostpreußischer Feuerversicherungsgesellschaft)*. В 1908 г. путем слияния с *Генеральным обществом страхования от пожара Восточно-прусского ландшафта* образовалось *Провинциальное общество Восточной Пруссии*.



не удобство жилья, а недопущение пожаров и их последствий. Другие задачи градостроительства (планировочная, зонирование) также носили второстепенный характер.

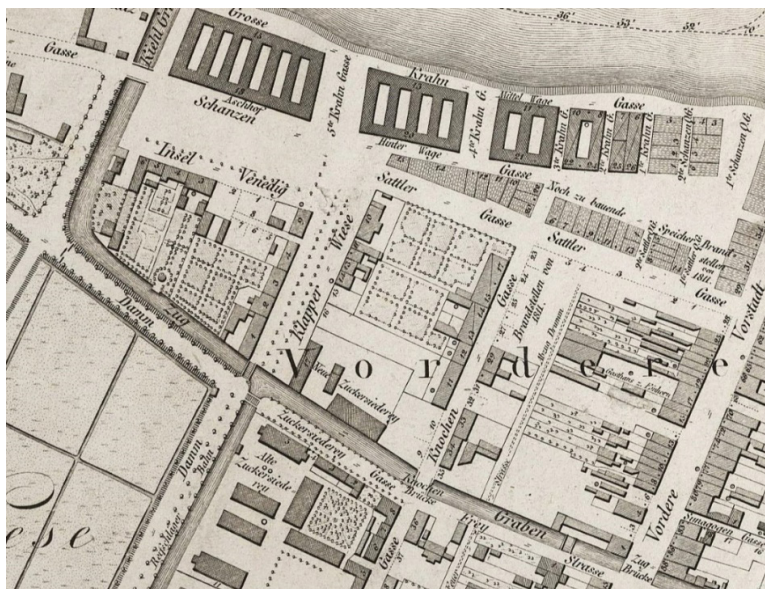


Рис. 4. Ближний Форштадт (фрагмент карты Мюллера)

Нормативная база на тот момент была представлена письменным Строительным кодексом, который был принят в Пруссии в 1794 г., в рамках **Общего земельного закона** (Allgemeiner Landgesetz). Документ действовал до 1900 г., когда он был заменен на Гражданский кодекс. Но даже в нем правила одного из важнейших градостроительных нормативов, а именно предельные значения удаления зданий друг от друга, были сформулированы расплывчато. Так согласно § 15 «Прусских королевских противопожарных правил столичного города Кёнигсберг» (Берлин, 3 июля 1770 г.) все новые здания, будь то жилые дома, склады или хозяйственные постройки, возводимые с нуля, должны быть по уличной стороне одинаковой высоты и по бокам иметь брандмауэры [9]. Недостаточность противопожарных мер подтверждает тот факт, что городская пожарная стража была основана только в 1859 г.

По своей структуре город имел черты скорее средневекового, чем города нового времени. Так, в качестве примера отставания в планировочном развитии от других городов можно привести случай неиспользованных возможностей при восстановлении Лёбенихта после пожара 1764 г., когда сгорело 369 домов и 49 шпайхеров, погибло 27 чел., ущерб составил 4–5 млн талеров. Король Фридрих II выделил помощь в сумме более 200 000 талеров, которых оказалось недостаточно, поэтому восстановление пошло по самым экономным и упрощенным вариантам, часто с использованием при строительстве новых зданий старых фундаментов. Это привело к «замораживанию» средневековой уличной сетки из искривленных, запутанных переулков. Одновременно не произошло изме-



нение и внешнего вида зданий в русле модернизации и новых течений в архитектуре. Большинство участков Лёбенихта представляло собой небольшие частные пивоварни, где дом выходил на уличный фронт узким фасадом, а вглубь участка уходил вытянутый, длинный двор, что делало их в таком заново отстроенном виде малопригодными для проживания.

Плотность и количество населения по городским частям была неоднородна. На первом месте по численности стояла Альтштадская часть, расположенная под южной стеной замка (табл. 1).

Таблица 1

Сводная численность жителей Кёнигсберга на 1814 г. [11]

11

Территория	Гражданские	Военные	Всего
Альтштадт	22 179	1 171	23 350
Лёбенихт	16 734	1 094	17 828
Кнайпхоф	14 836	462	15 298
<i>Всего в Кёнигсберге</i>	53 749	2 727	56 476

Всего в пределах черты города по состоянию на 1825 г. имелось 6383 здания, из них 4127 — частных домов, 1662 — хозяйственных построек и сараев, 421 фабричное здание, мельницы и шпайхеры [11].

Ситуация начала изменяться с началом XIX в., когда стала формироваться новая нормативная база, как на государственном (строительные предписания, законы), так и на местном уровне (правила и статуты). Так, 19 ноября 1810 г. в Пруссии была проведена реформа городского самоуправления (*Ordnung für sämtliche Städte der Preußischen Monarchie*), на основе которой было разработано Кёнигсбергское строительное уложение от 28 октября 1811 г. (в редакциях от 1 февраля 1857 г. и 10 августа 1872 г.). Начался период формирования нормативно-законодательной базы будущего градостроительства и управления городским развитием. Учитывая, что строительный надзор находился в ведении государства в лице его представителя — полицай-президента — неудивительно, что потребовалось некоторое время для разработки Закона о полицейском управлении (11 марта 1850 г.).

Однако это не означало, что государство упустило бразды правления в этой важной сфере. Так, среди довольно различных, но всеобъемлющих областей регламентирования¹, указанных в «Справочнике важнейших полицейских правил для города Кёнигсберг» за 1836 г., есть и сугубо

¹ Регламентировано было все в духе германского «орднунга» (порядка): регистрация жителей и прибывших, в особенности иудейского вероисповедания, обращение с умершими, контроль за употреблением опасных для жизни еды и жидкостей, за бродячими собаками, санитария и гигиена, уборка снега и льда с улиц, забота о благопристойности, контроль рыночной торговли, весов и акцизов (расфасовка коровьего масла в 1 фунт, полфунта или $\frac{3}{4}$ фунта с обозначением; за нарушение — конфискация в пользу медучреждений), обращение с огнем, работа огнеборцев, огородничество, охота и рыболовство, ярмарки, ремесло, увеселительные заведения, театр, книготорговля, реклама, рестораны и прочие заведения, церкви и школы, правила судоходства и складирования грузов [14].



градостроительные. Например, обустройство тротуаров, то есть части улицы, предназначенной исключительно для пешеходов. Если ширина улицы равнялась 30 футам, то она должна была иметь по обеим сторонам вымостки для пешеходов. Если же установленная ширина проезжей части равнялась 18 футам, то допускались тротуары по 6 футов. При большей ширине улиц размеры увеличивались пропорционально. При ширине улицы менее 30 футов тротуары делались в 3–4 фута¹ [12].

В целом XIX в. — это время разработки и утверждения документов строительного регулирования различного содержания и направленности в условиях зарождающейся с 1830-х гг. индустриализации, с одной стороны, и попытки государства реагировать на происходящие изменения, с другой стороны. Для понимания запутанности и сложности нормативной базы примечателен тот факт, что только в Пруссии на момент образования рейха в 1871 г. действовало около 300 различных уложений (Закон «Об общем земельном управлении» от 30 июля 1883 г.).

В 1860 г. были приняты провинциальные **Строительные уложения правительственного округа Кёнигсберг** (Bauvorschriften des Reg.-Bez. Königsberg von 31. Mai 1860) (вторым в провинции на тот момент был правительственный округ Гумбиннен) в отношении всех городов за исключением трех: Кёнигсберга, Мемеля (Клайпеды) и Алленштайна (Ольштына)². И опять это в большей степени были противопожарные меры, как то: регулирование у всех новостроек для эффективной работы пожарной команды дворового пространства (минимум в 17 футов по длине и ширине) с недопущением уменьшения существующих дворов меньше данных размеров; категорический запрет на строительство сараев; обязательное наличие брандмауэров. Или же регламентировались санитарно-гигиенические вопросы: заселение готовых квартир не ранее девяти месяцев после окончания строительных работ³.

В 1875 г. выходит важнейший документ — Закон «Об устройстве и изменении улиц и площадей в городах и сельских поселениях» от 2 июля, или как его еще называют «Закон о красных линиях». Несмотря на свою чисто бюрократическую суть процедурного акта, закон стал краеугольным камнем по регулированию застройки вплоть до унификации законодательства в 1919 г. Именно он развязал руки частным застройщикам, с одной стороны, превратив новые кварталы с застройкой многоквартирными домами (так называемой Mietskasernen — съемные казармы) в близкую местность. С другой стороны, закон унифицировал строительные правила застройки. К важнейшим показателям можно отнести следующие:

¹ Первое упоминание о тротуаре неустановленной ширины в Кёнигсберге относится к 1816 г. на улица 3. Fließstraße (3-я Ручейная улица) [13].

² Для Мемеля такое уложение было принято 12 июня 1855 г. и для Алленштайна — 27 декабря 1898 г.

³ Примечателен запрет на так называемые гаргульи, то есть желоба, отводящие с крыш дождевую воду на большой высоте прямо на тротуар, а также на деревянные, висящие под обшивкой крыши желоба и деревянные ливневые стояки при условии их ликвидации в течение двух лет.



- границы улицы образуют, как правило, одновременно и красную линию застройки, то есть границы, выход за пределы которых запрещен;
- к понятию «улица» относятся проезжая и пешеходная части;
- необходимость наличия планов застройки.

При установке красных линий исходили из потребностей движения, пожаробезопасности и общественного здоровья без указания предельных параметров.

К нормативным актам в отношении Кёнигсберга можно отнести несколько положений, а именно:

- Полицейское уложение в части прокладки новых улиц в Кёнигсберге от 13 августа 1884 г.;
- Строительное уложение для города Кёнигсберг от 10 марта 1887 г., редакция 1898 г. [7];
- Строительное уложение для пригородов Кёнигсберга от 29 марта 1899 г. (Polizei-Bauordnung für die Vororte Königsbergs);
- местные статуы и правила.

Основным градостроительным документом для Кёнигсберга стало **Строительное уложение**¹ от 10 марта 1887 г. (Bauordnung für die Haupt- und Residenzstadt Königsberg), в котором примечательны установленные предельные значения: ширина улицы (12 м), доля застройки, размеры внутренних дворов, высота и количество этажей, а также сделан упор на границы участков и линии застройки.

Важным элементом стала, например, доступность прохода по тротуарам (обеспечение движения при ширине минимум в 2 м). Не разрешалось устройство балконов и эркеров на улицах шириной до 12 м. На более широких улицах последние должны находиться на высоте 4,5 м над тротуаром и выносом не более 1 м. В этом же ключе продолжилась «битва» против террас или пристроек, выходящих на преимущественно неширокие улицы с узкими и высокими по фронтому домами. Проблема заключалась в том, что еще с XIV в. в Прибалтике широкое распространение получили такого рода приподнятые пристройки со стороны улицы перед входом в здание. Они снабжались либо перилами, либо кирпичными косоурами, либо уже полностью перестроенными высотой до 3 м. Первоначальное предназначение пристроек данного типа заключалось в защите входа в дом и первого этажа от наводнения. Наиболее интересные и значимые с архитектурной точки зрения пристройки были возведены в эпоху Возрождения (в Кёнигсберге с конца XVII в.) из декорированного песчаника или оштукатуренного кирпича².

Еще в 1700 г. необходимость расширения улиц привела к составлению первого плана красных линий, по которому каждый новый построенный дом должен был отступать вглубь участка на два фута. Однако еще в 1830-х гг. в распоряжениях магистрата упоминается нарушение красных линий пристройками. Решительная борьба с ними за расширение проезжей и пешеходной частей улицы с ростом интенсивности

¹ В Берлине такой документ приняли на тридцать лет раньше – в 1853 г.

² Оригинальное название – Wolme, Podeste, Beischlag. Наиболее известны сохранившиеся подесты на Морской улице Гданьска (Frauengasse, Danzig).



движения продолжилась с конца 1860-х гг., когда их стали ломать. Были сохранены наиболее примечательные с художественной и архитектурной точки зрения подесты.

Интересное замечание по этому поводу оставил Фабер в 1839 г.: «В целом картина не представляет собой образ как ни старого, так и не нового города. Несмотря на то, что почти на каждой улице ощущается дух старины, уже примечательны как переход к современности, так и перемены в сторону чего-то нового и лучшего. Отсюда и актуальная проблема уличных закоулков, когда предпринимаются попытки убрать пристройки, входные лестницы и т.п., которые ранее были ошибочно допущены в отношении красных линий улиц, и сделать таким образом улицы шире. Это уже оказалось очень успешным на некоторых улицах старого города: Кнайпхоф, Мюнцштрассе и т.д. Только Кнайпхофская Длинная будет сохранена в ее старонемецком стиле с “подестами”» [10, с. 94].

14

Как следствие общего Закона «Об устройстве и изменении улиц и площадей в городах и сельских поселениях» 1875 г. в кёнигсбергских правилах был зафиксирован такой важный в градостроительстве предельный показатель, как высота зданий по фронту улицы. Причем на первый план выходили не такие элементы городской среды как эстетичность, гармония градостроительного ансамбля или доминанты, а прежде всего пожаробезопасность (но в центре внимания не соседние дома, которые теперь имели брандмауэры, а угроза обрушения фасада при пожаре в сторону улицы, когда он не должен затронуть противостоящий дом) и неидеальные санитарные условия (недостаток воздуха и света) при возросших показателях плотности застройки и скученности жителей. Одновременно вышеуказанный закон 1875 г. предусматривал постройку всех новых зданий непосредственно на границе участка, чтобы таким образом образовывать единообразную красную линию. Угловым зданиям были сделаны послабления: разрешенная высота более широкой улицы действовала и для боковой, более узкой, улицы на протяжении 15 м.

Предельная этажность боковых и дворовых флигелей была установлена не более четырех этажей, включая мансардный этаж, во фронтальных флигелях — не более пяти этажей, предназначенных для постоянного проживания людей. Высота жилых помещений — минимум 2,80 м на всех этажах. Для антресолей и чердаков, которые не являются отдельной квартирой, а частью таковой, допускается высота по просвету 2,25 м. Кёнигсбергские дворы к выгоде застройщиков были застроены по максимальным допустимым показателям, а именно на $\frac{3}{4}$, на угловых участках даже до $\frac{4}{5}$. Минимальные предельные размеры дворового пространства без навесов и пристроек на участке должны были составлять минимум 40 м² при наименьшей длине или ширине участка, оставляемого не застроенным, не менее 5 м.

В 1884 г. выходит Полицейское распоряжение «О прокладке новых улиц в Кёнигсберге» (Polizeiverordnung betreffend die Herstellung neuer Straßen zu Königsberg vom 13. August 1884), в котором особое внимание уделено как раз самим улицам. В частности, улице, на которой планируется возведение жилых домов, следует считать готовой для общественного движения и застройки, если:

- 1) ее ширина составляет не менее 12 м;



2) продольный уклон проезжей части не превышает 1:40. Более крутой уклон до 1:30 допускается только при имеющихся значительных технических трудностях;

3) проезжая часть вымощена булыжником, цементным или тесаным камнем или иным способом, одобренным полицейским управлением и муниципальными властями, ширина составляет не менее 8 м;

4) ливневые желоба имеют уклон минимум 1:300 и ширину в 0,30 м, вымощены цементным камнем лучшего сорта или тесаными квадратными камнями;

5) тротуары по обеим сторонам шириной не менее 2 м.

К этому времени город активно развивал свою коммунальную инфраструктуру: прокладывался водопровод, канализация, заработала городская электростанция и газовый завод, поэтому уже заранее предусматривалась прокладка всех отводов и подводов и мощность производилось после прокладки газо- и водоснабжения со всеми ответвлениями и установкой требуемого количества уличных фонарных столбов для освещения [9].

Данные требования к улицам были еще раз продублированы в локальных статутах и строительных уложениях, например, «О строительстве улиц и возведении на них зданий» от 18 июня 1895 г.:

«§1. На улицах, которые еще не приспособлены согласно строительным правилам для общественного движения и застройки, и согласно Полицейским правилам от 13 августа 1884 г. не соответствуют свойствам городских улиц под застройку, то есть не имеющие гравийного или твердого покрытия проезжей части, тротуаров и ливневых каналов, запрещено строительство любых зданий.

§3. Строительство новых дорог требует одобрения постановлением муниципалитета.

До выдачи разрешения должен быть выполнен на местности план красных линий для улицы» [9].

Как было указано в таблице 1 «Сводная численность жителей на 1814 год», в городе насчитывалось в то время 53749 жителей. Но уже в 1835 г. при общей численности городского населения в 67722 жителя наблюдались ярко выраженные уплотнения в городской ткани (табл. 2).

Таблица 2

Сводная численность жителей на конец 1835 г. [10]

Территория	Гражданские	Военные	Всего
Альтштадт	25 649	819	26 468
Лёбенихт	19 654	1009	20 663
Кнайпхоф	17 838	748	18 586
<i>Всего в Кёнигсберге</i>	63 141	2576	65 717
Сельские полицейские округа	2005	—	2005

В 1835 г. при общей численности городского населения в 67722 жителя, наблюдались ярко выраженные уплотнения в городской ткани. В центральной, Альтштадтской, части проживало $\frac{3}{5}$ всего населения (26468 чел. или 39,4%). Так, среди 15 ее участков самым густонаселен-



ным был центр — участок Альтштадского рынка (2994 чел. или 11,3%), участок Дровяного переулка (2899 чел. или 10,95%) и расположенный к северу от замка так называемый Ручейный участок¹ (2515 чел. или 9,5%). В Кнайпхофской городской части из десяти участков это участок Кнайпхофской ратуши (2763 чел. или 14,9%) и Оберхаберберга (район нынешней ул. Богдана Хмельницкого) (2634 чел. или 15,9%). В Лёбенихтской городской части это Ближний Закхайм (район Московского пр-та) (2770 чел.), Нового рынка (2792 чел.).

Таким образом, к третьей четверти XIX в. как в целом в Германии, так и в Кёнигсберге были сформированы рамочные условия нового этапа градостроительства и городского развития в виде нормативно-законодательной базы. К числу предпосылок добавился и внешний фактор, а именно общий экономический подъем, начавшийся после объединения Германии в 1871 г. (так называемый период грюндерства). Кёнигсберг, как и все прочие крупные центры страны, стал активно застраиваться, появилось большое количество промышленных предприятий, развивалась коммунальная инфраструктура. Городское население в 1871—1890 гг. каждые пять лет увеличивалось на 7—15%: в 1871 г. — 112092 чел.; в 1871—1875 гг. — 10544 чел. (9,4%), в 1875—1880 гг. — 18273 чел. (15%); в 1880—1885 гг. — 10242 чел.; в 1885—1890 гг. — 10515 чел. В целом во 2-й половине XIX в. население в 2,5 раза, с 74000 (1850), до 189483 (1900) [5].

Возникшая таким образом жилищная проблема, наряду с потребностью в новых промышленных площадках для индустриализации требовала решения, которое, однако, было затруднительным, так как город все еще оставался в плену у военных, окруженный оборонительным вальным кольцом. Территория города оставалась неизменной по своей площади с середины XVII в. — 20,34 км². Поэтому городским властям ничего не оставалось делать, кроме как идти на уплотнение городской ткани, благо свободные территории были. Так возникли новые городские кварталы периода грюндерства, в первую очередь на слободах Трагхайм, Нойе Зорге, Закхайм, Ближний и Дальний Форштадт, там, где имелись свободные территории. На Трагхайме возник новый городской район с улицами Dohnastraße, Schönstraße, Henschestraße (район нынешних ул. Пролетарская, Сергеева), выстроенный в 1889—1895 гг., что вызывало у современников если не восторг, то гордость за свой город, который преображался, терял средневековые оковы и родимые пятна (огороды, кривые проулки, узкие и длинные участки и т. п.): «К югу от Дома стрелков находится совершенно новый район, застроенный за последние шесть лет и несущий в себе облик и характер зданий современных городов» [5].

В качестве примеров застройки в Закхайме, в его восточной части, могут служить Heidemannstraße; в Ближнем Форштадте — Kaiserstraße (1895, ул. Краснооктябрьская), Schnürlingstraße (Парусная улица),

¹ Fließ-Bezirk — район трех улиц, которые назывались 1-я, 2-я и 3-я Ручейная улица (район современных ул. Профессора Севостьянова, Ленинского пр-та, ул. Подполковника Иванникова).



Selkestraße; на Хаберберге — Hippelstraße, Moltkestraße; на острове Ломзе — улицы Hinter-Lomse (1910) (рис. 5), Kurfürstendamm; в Нойе Зорге — это Steile Gasse (часть ул. Грига), Prinzenstraße.



17

Рис. 5. Улица Hinter-Lomse

В качестве примеров можно привести только некоторые участки проезжей и пешеходной части улиц. Например, современная ул. Грига (ее северная часть от ул. Фрунзе, бывшей Королевской), бывшая Augustastraße¹, которая была застроена в 1890-х гг., вместе с более старой улицей Steile Gasse.

Характерной чертой для этого нового вида застройки в архитектурном плане стала пропаганда стиля итальянского ренессанса (с ориентацией на его северную разновидность) в качестве «национального» со значительным использованием элементов оформления римской античности [6]. Сами здания очень однообразны и монотонны, с минимальным количеством фасадных элементов, часто массового фабричного производства. С градостроительной точки зрения застройщики стремились к максимальному использованию участка в рамках существовавших ограничений. Если эркер был разрешен со второго этажа с выступом на 1,3 м и шириной на $\frac{1}{3}$ фасада, то так и выполнялось. Если обустроивался проезд внутрь двора, то он соответствовал минимальным предписаниям: 2,30 м в ширину и 2,80 м в высоту. Социальные реформаторы, градостроители, гигиенисты и коммунальные политики начиная с 1889 г. требовали общего имперского закона, делавшего бы жилищные условия более комфортными благодаря большему количеству света и воздуха. Лобби влиятельных домо- и землевладельцев, однако, всячески этому препятствовало. Так возникли «современные кварталы улиц» со сплошной застройкой по красной линии, практически без озеленения, с архитектурной точки зрения монотонные и однообразные (рис. 6).

¹ Названа в честь супруги императора Вильгельма I.

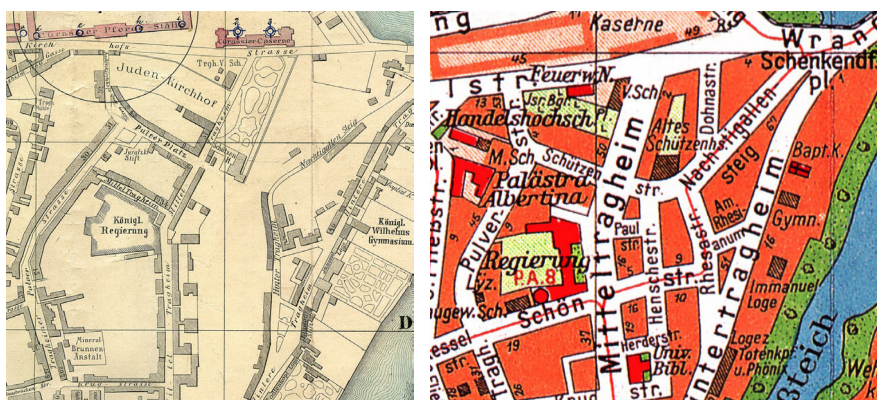


Рис. 6. Изменение городской застройки района Трагхайм

В тоже время при невозможности отчуждения участков у собственников (закон Адикеса будет принят только в 1902 г.¹), муниципалитет был ограничен в средствах, и мог осуществлять только прямой выкуп или обмен участками для создания общественных пространств различного назначения или изменения планировочной структуры.

По состоянию на 1890 г. площадь застройки составила 219 га, насчитывалось 5378 домовладений, из которых 4957 были жилыми. На участках имелось 10903 зданий, из которых 6021 считались жилыми. Плотность застройки показывает генезис — наибольшие показатели зафиксированы вокруг исторической доминанты, замка, в Альтштадте (на 1 га 20—25 жилых зданий) и Штайндамме (15—20 на 1 га). Районы с 10—12 зданиями на 1 га — это прилегающие к Замковому пруду районы (Burgkirchenplatz), парадная Королевская улица с многочисленными общественными зданиями, улица Йорка, ремесленный Оберхаберберг с его переулками, Скотный рынок (Viehmarkt), район с сельским характером Альтер Гартен на юго-западной окраине.

Городская территория внутри вального укрепления составляла 511 га. Вместе с водными объектами Прегели (около 40 га) и Замковым прудом (около 10 га) — всего 561 га. За пределами вала 51 га относились к району Нассер Гартен [5].

Плотность населения в 1890 г. соответствовала показателям плотности застройки. Так, например, максимальное значение наблюдалось в фешенебельном районе Штайндамм (ул. Вагнера, Штайндамм, Трагхаймская Пороховая) — более 400 жителей на 1 га; за 50 лет показатель вырос в 3,5—4 раза (в 1837 г. — 100—150 жителей на 1 га). Сопоставимая плотность наблюдалась на пролетарском Верхнем и Нижнем Хаберберге (современные ул. Багратиона и Хмельницкого) с их многочисленными переулками вплоть до берега реки на востоке (в 1875 г. — только 150—200 на 1 га). Похожим по концентрации населения был и район

¹ Lex Adickes — закон о расширении городской территории и отчуждении зон, названный по имени его разработчика обер-бургомистра Франкфурта-на-Майне Франца Адикеса (1846—1915).



Burgkirchenplatz, Королевская и улица Йорка (350—400 жителей на 1 га). Также значительно уплотнились Лаак, Новый Россгартен, улица Коперника, Обер-Рольберг, территория между улицей Трагхаймской Пороховой и Замковым прудом, а также между Замковым прудом и Королевской улицей (250—300 жителей на 1 га). В то же время произошло закономерное снижение плотности в центре города: в Альтштадте в 1875—1890 гг. с 400 и более до 350—400 жителей; на острове Кнайпхоф на одном гектаре проживало 200—250 чел., в Лёбенихте (район Нового рынка), на Закхайме — 300—350.

Одновременно город готовился к расширению своей территории, приняв в 1899 г. Строительные правила для пригородов Кёнигсберга (*Polizei-Bauordnung für die Vororte Königsbergs 1899*), в которых снижены предельные параметры застройки¹. Интересен тот факт, что в большом масштабе город поглотил указанные пригороды только в 1905 г.², хоть некоторая часть их территории и находилась под юрисдикцией полицай-президиума Кёнигсберга, который отвечал за строительство. Отдельное положение было необходимо для перспективного растущего освоения пригородов, однако сначала были приняты временные изменения или дополнения к существующим актам. Город буквально задыхался в своих границах.

В этом документе впервые заходит речь о функциональном зонировании, обязательном элементе современного градостроительства: для пригородов к западу от города в пределах линий шоссейной дороги Кёнигсберг-Кранц, железнодорожной линии на Пиллау указано целевое предназначение отдельных участков. На протяжении своего развития ремесло в городе размещалось вместе с жилыми постройками и даже с началом индустриализации, которое, естественно, в Пруссии и в Кёнигсберге происходило значительно позже, чем на родине промышленной революции, в Англии, первые фабрики и заводы размещались в городе, внутри оборонительного кольца. Так, например, поступили основатели машиностроительного завода и литейного производства компании «Union-Gießerei» Лаубмайер и Дульц, выкупив в 1833 г. за 5500 талеров участки Оберлаак №3, 4, 5 (ранее Штайндамм 700) (рис. 7)³.

¹ Это вновь в большей степени были нормы противопожарной безопасности: ширина улиц, материал зданий, расстояния между постройками, предельные значения застройки участков.

² Расширение городской территории до начала XX в. было очень незначительным: 22.12.1885 г. у военного ведомства была выкуплена небольшая территория, прилегающая внутри вального укрепления к Хуфену, Каролиненхофу и Ратсхофу; 06.03.1891 г. — 8,61 га выкуплены в южных пригородах Авайден и Розенау; 22.02.1895 г. — 2,49 га в Розенау; 12.03.1897 г. — 0,97 га в Розенау и 0,23 га в Мюленхофе, а также 03.06.1898 г. в Амалиенау перед городскими воротами к западу от города Нойе Бляйхе выкуплен г. Холлендербаум на Хольштайнском бечевнике.

³ На участках имелось 12 квартир с садами и увеселительными беседками. На 1835 г. строения оценены в 20710 талеров, застрахованы от пожара. Позже под жильё для работников был приобретен участок Оберлаак №2 у Карла Фридриха Борна за 200 талеров [4].



Рис. 7. Завод «Унион» [4]

Вплоть до начала XX в. завод размещался в непосредственном соседстве с жилыми кварталами, общественными и частными зелеными зонами, парками и т. п.

В то же время для пригородов Кёнигсберга, не было указаний, как прокладывать улицы. Застройщик должен был самостоятельно в рамках требований Уложения и других нормативных актов разрабатывать план застройки. Именно он являлся на тот момент, в отсутствие общих Генеральных планов, основным градостроительным документом для новых территорий освоения.

Выводы

Нормативная база, разработанная и принятая с середины XIX в., стала основным элементом нового градостроительства. Историческая застройка была вынуждена приспособливаться, либо полностью исчезнуть, уступая место абсолютно новым типам городского строительства, характерным элементом которого стало вынесение на красную линию сплошного фронта зданий, часто малоценных с архитектурной точки зрения. Начался процесс кардинального уплотнения городской территории, уменьшения предельных параметров застройки участков, регулирования этажности, использования функционального зонирования и т. п. Ведущая роль по-прежнему остается у частных лиц: строительных «магнатов» и домовладельцев, которые ради получения наибольшей выгоды применяли установленные нормативы с максимальными значениями.

В Кёнигсберге еще не наступило время внедрения принципов таких градостроительных концепций, как движение «прекрасный город»,



или же проведенных образцовых кардинальных изменений городской планировочной сетки бароном Жоржем Османном (Georges-Eugène Haussmann, 1809–1891) в Париже или Джеймсом Хобрехтом (James Hobrecht, 1825–1902) в Берлине. В отсутствие общей концепции такого рода, инициатором которой обычно выступает государство или же муниципалитет, главным инструментом являются индивидуальные для каждого нового городского района разработанные планы застройки (Bebauungsplan). Как правило, это применялось в отношении пригородных территорий, мест притяжения мигрирующего населения из центральных районов. Уже видны зачатки функционального зонирования, хотя на данный момент только в пригородах. Роль муниципалитета в общей градостроительной деятельности пока ограничена. В связи с влиянием системы частной собственности в пределах оборонительного кольца муниципалитет только начинал свою деятельность по формированию собственного земельного банка, выделяя для этого финансовые средства, осуществляя обмен или заключая соглашения, как для будущей жилой застройки, так и для различных общественных целей.

Однако даже эти радикальные изменения, произошедшие с городом за вторую половину XIX в., не в полной мере представляли собой градостроительные решения в современном понимании. Время для новых концепций придет только с началом века двадцатого.

Список литературы

1. *Белинцева И.* Организация охраны памятников в Восточной Пруссии до 1945 года // *Архитектура Восточной Пруссии: избранные статьи и фрагменты.* Калининград, 2023. С. 354–377.
2. *Сухин Д.* Германская градостроительная история Восточной Пруссии. URL: <https://instergod.ru/wp-content/uploads/2010/10/Encyclopaedia-redux.pdf> (дата обращения: 12.01.2026).
3. *Саксонское зеркало: Памятник, комментарии, исследования* / отв. ред. В. М. Корецкий. М., 1985.
4. *100 Jahre Union-Giesserei.* Königsberg, 1928.
5. *Armstedt R., Fischer R.* Heimatkunde der Stadt Königsberg. Königsberg, 1895.
6. *Aschenbeck N.* Moderne Architektur in Ostpreußen. Hamburg, 1991.
7. *Bauordnung für die Haupt- und Residenz-Stadt Königsberg vom 10. März 1887.*
8. *Boetticher A.* Die Bau- und Kunstdenkmäler der Provinz Ostpreußen. Königsberg, 1894. Königsberg, 1898. 8 Bd.
9. *Eilsberger E.* Baupolizeirecht des Regierungsbezirks und der Stadt Königsberg. Gesetze, Polizeiverordnungen, Ortsstatute, Regulative usw. Königsberg, 1899.
10. *Faber K.* Die Haupt- und Residenz-Stadt Königsberg in Preußen. Das Merkwürdigste aus der Geschichte, Beschreibung und Chronik der Stadt. Königsberg, 1840.
11. *Faber K.* Taschenbuch von Königsberg. Königsberg, 1829.
12. *Gause F.* Bötticher, Adolf // *Neue Deutsche Biographie* 2. 1955. S. 411–412.
13. *Gause F.* Königsberg in Preußen: die Geschichte einer europäischen Stadt. Köln. 1968.
14. *Richter F.* Handbuch der wichtigsten Polizei-Vorschriften für die Haupt- und Residenz-Stadt Königsberg in Preußen. Königsberg, 1827/1836.



Об авторе

Андрей Викторович Левченков — канд. геогр. наук, доц., Балтийский Федеральный Университет им. И. Канта, Россия.

ORCID: 0000-0002-0418-9459

E-mail: levchenkov5@gmail.com

SPIN-код: 7237-7306

A. V. Levchenkov

URBAN PLANNING DEVELOPMENT OF KÖNIGSBERG (MODERN KALININGRAD) IN THE 19th CENTURY: REGULATORY ACTS AND FEATURES

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

Received 18 February 2026

Accepted 29 March 2026

doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-1

22

To cite this article: Levchenkov A. V., 2026, Urban Planning Development of Königsberg (Modern Kaliningrad) in the 19th Century: Regulatory Acts and Features, *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural and Medical Sciences*, №2. P. 5–22. doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-1.

The 19th century in Europe in general, and in Prussia in particular, marked a period of the formation of a legislative framework for urban planning at both the state and local levels, as a precursor to modern spatial planning. From the initial selective regulation of urban development (fire-prevention measures, etc.), by the beginning of the 20th century a system of regulatory frameworks for managing urban development had been established. At the same time, there is no clear understanding of which processes and regulations influenced, albeit only partially due to the events of the Second World War, the formation of the present-day urban landscape of Kaliningrad. The factors influencing urban development are examined, and urban growth is assessed from the perspective of urban planning (maximum development parameters, functional zoning, etc.), including the building regulations in force and the relevant concepts applied. The balance between the public interest represented by the municipality and the private interest represented by developers is analyzed.

Keywords: urban planning, urban development, Königsberg, Kaliningrad, regulations

The author

Dr Andrey V. Levchenkov, Associate Professor, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

ORCID: 0000-0002-0418-9459

E-mail: levchenkov5@gmail.com

SPIN-code: 7237-7306

Ф. М. Ренни

**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ
БАЛЛЬНО-ИНДЕКСНОЙ ОЦЕНКИ РУДНЫХ РЕСУРСОВ
СЕВЕРНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЙОНА РОССИИ**

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Поступила в редакцию 13.01.2026 г.

Принята к публикации 24.03.2026 г.

doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-2

Для цитирования: Ренни Ф. М. Концептуальные положения балльно-индексной оценки рудных ресурсов Северного экономического района России // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2026. № 2. С. 23–41. doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-2.

Цель исследования состоит в экспериментальной разработке методики балльно-индексной оценки месторождений железных руд и алюминиевого сырья как составляющих рудных ресурсов, в апробации ее на территориях, входящих в состав Северного экономического района России. К исследованию привлечен обширный статистический и фактический материал, содержащийся в нормативных и правовых документах, а также в литературных источниках. Основные характеристики рудных ресурсов приведены по состоянию на 2022 г. Показано, что балльно-индексная методика оценивания направлена на анализ ресурса как системы компонент, выраженных через различные свойства природных тел. Применительно к месторождениям железной руды, бокситов и нефелиновой составляющей комплексных апатит-нефелиновых руд обосновано поэтапное присвоение баллов и индексов, отражающих качественные и количественные характеристики ресурсов по специальному шкалам. Полученные таким образом баллы последовательно суммируются и на основе выявленного итогового значения определяются эффективность и перспективы дальнейшего освоения месторождений. Установлено, что наиболее рентабельные месторождения относятся к нефелиновым рудам в Мурманской области и к бокситам в Республике Коми; среднюю рентабельность имеют железные руды на территории Республики Карелия и Мурманской области. По авторской методике, учитывающей важнейшие характеристики полезных ископаемых и экономико-географические факторы развития горнодобывающей отрасли, рассчитан рудно-ресурсный потенциал регионов: наибольшим потенциалом обладают Мурманская область и Республика Коми, более низкие значения у Республики Карелия и Архангельской области. Полученные результаты могут быть использованы при стратегическом пространственном планировании и управлении региональным развитием ресурсной экономики исследуемого района России.

Ключевые слова: природно-ресурсный потенциал, железные руды, бокситы, апатит-нефелиновые руды, рентабельность месторождения, оценка рудных запасов



Введение

Территория северных регионов европейской части России обладает значительными запасами разнообразных ресурсов. В данном исследовании рассмотрены только железные руды и алюминиевое сырье, содержащееся в бокситах и нефелиновых сиенитах. По состоянию на 2022 г., запасы бокситов составляли 51,4 % от общероссийских, а нефелиновых руд — 78,5 %¹; эти ресурсы определяют и сырьевую, и обрабатывающую направленность экономики района [14; 15]. Следовательно, анализ и оценка их состояния являются актуальной темой.

24

Единого понимания сути термина «природно-ресурсный потенциал (далее — ПРП) территории» в литературе нет. Так, П. Я. Бакланов [2], А. А. Минц [16], А. И. Чистобаев [26], А. Миссемер [31] делают акцент на эффективности освоения природных ресурсов, а Н. Ф. Реймерс [23] и Г. Леврель [30] — на экологическом аспекте. Обобщая эти определения, под ПРП следует понимать количественное измерение природных ресурсов, которые могут быть эффективно добыты без нарушения экологического состояния природной среды. Соответственно, ПРП — это совокупность разведанных и утвержденных Государственной комиссией запасов рудных тел, которые могут быть эффективно и экологично использованы на предприятиях пиromеталлургических энерго-производственных циклов (термин Н. Н. Колосовского).

В экономико-географической литературе накоплен определенный опыт балльно-индексной оценки ПРП. Так, согласно методике Е. Б. Лопатиной и О. Р. Назаревского, ресурсам присваиваются баллы (от 1 до 10) в зависимости от размеров запасов, себестоимости добычи сырья и удельных капитальных вложений в добычу [13]. Недостатком данного подхода, на наш взгляд, является субъективность авторской шкалы оценивания, отсутствие учета качественных показателей сырья. Аналогичный недостаток присущ модели оценки ПРП, предложенной И. Ф. Зайцевым и О. А. Изюмским [7]. Отличие состоит лишь в том, что ими выбрана 20-балльная шкала. Игнорирование влияния свойств ресурсов характерны и для других работ [12; 25]. Такие оценки не дают понимания реальной ценности ресурса как сырья для промышленности. По нашему мнению, наиболее точная и емкая методика оценивания природных ресурсов создана А. М. Соромотиным применительно к нефтегазовому сырью [24]. К ее достоинствам относится учет основных параметров месторождений и места их расположения.

Исходя из анализа существующих концепций балльно-индексных оценок, вытекает актуальная задача создания комплексной интегральной оценки ПРП с учетом основных локальных (то есть относящихся к месторождению) и региональных факторов, влияющих на эксплуатацию сырья. На решение этой задачи и направлено данное исследование.

¹ Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Северо-западного федерального округа на 01.09.2022 г. URL: <http://atlaspacket.vsegei.ru/?v=msb2021> (дата обращения: 16.09.2023).



Его специфика и значение состоят в разработке системы показателей, характеризующих основные процессы добычи, переработки и перевозки природных ресурсов.

Цель исследования состоит в разработке методики балльно-индексной оценки рудного потенциала территории, апробации ее на примере северных субъектов РФ.

Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

1) выявить нерешенные проблемы оценивания рудных ресурсов, их добычи и использования на горнодобывающих и металлургических предприятиях;

2) предложить научные подходы к разработке методики балльно-индексной оценки рудных ресурсов применительно к условиям исследуемого района;

3) установить территориальные закономерности в распределении значений рудно-ресурсных потенциалов субъектов РФ, входящих в состав Северного экономического района.

Материалы и методы

Основой для оценки рудных месторождений послужили статистические данные из Государственного доклада «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году» и аналогичного доклада за 2021 г., а также геологические документы по технико-экономическому обоснованию постоянных кондиций (паспорт ГКМ и др.), находящиеся в Федеральной геоинформационной системе «Единый фонд геологической информации о недрах». Часть сведений получена из монографии «Железорудная база России» [19], а также из статей по экономической геологии и экономической географии. Экономические, транспортные и экологические показатели взяты из тематических разделов сайта Росстат («Транспорт», «Национальные счета» и др.).

Использованы такие научные подходы, как сравнительно-географический, статистический и геопространственный. К обработке и визуализации данных привлекались экономико-математические и геоинформационные методы (в программе QGIS).

Результаты исследований

Выявление ПРП исследуемых субъектов РФ проводилось на основе многофакторного анализа месторождений. Сначала рассчитывалось значение рентабельности отдельных месторождений руд каждого типа, затем оно определялось для всех месторождений путем суммирования полученных результатов. По авторской методике балльно-индексного оценивания сравниваемые ресурсы соотносились между собой по различным характеристикам на основе условных шкал (для каждой характеристики собственная шкала), выраженных в баллах. Покомпонентная и интегральная разновидности балльно-индексной оценки позволили сравнить отличительные свойства ресурсов как хозяйственных объектов, а затем перейти к оцениванию ресурсов разных видов.

Оценка осуществлялась в три этапа. На первом этапе производился выбор показателей по трем типам параметров (геолого-технологические,



физико-химические и экономико-географические), причем так, чтобы они отражали основные хозяйственные свойства природного ресурса. Для каждого показателя создавалась балльная шкала и определялись интервалы, характеризующие величину выраженности свойства ресурса. Показателям каждого параметра месторождения присваивались баллы и индексы, которые затем суммировались внутри каждой группы. На втором этапе проводился расчет общей суммы баллов всех типов параметров – итоговый балл месторождения. По его величине (или по сочетанию символов в индексах) определялась степень их рентабельности (эффективности использования) при дальнейшем освоении. Третий этап посвящен выявлению собственно рудного ПРП территории.

Методика оценивания железных руд

Геолого-технологические параметры месторождений железных руд должны характеризовать условия, в которых ведется добыча. На эффективность их освоения влияют размер запасов, глубина залежей, минимальная мощность пластов и угол падения залежи.

Принятая в настоящее время классификация градаций месторождений по объему запасов не отвечает задачам нашего исследования из-за низкой верхней границы (300 млн тонн). Величины интервалов определялись по знаменателю прогрессии, который находится по формуле суммы n -членов геометрической прогрессии:

$$L = \frac{a_1 \cdot (1 - q^n)}{(1 - q)}, \quad (1)$$

где a_1 – величина первого интервала, q – знаменатель прогрессии (умножив его на начальное значение, получим определенный член прогрессии, который является длиной интервала), n – число баллов (определим значение равным четырем, так как месторождения по размерам можно разбить на четыре приблизительно одинаковые группы). В качестве значения a_1 примем 63 млн т, так как для составления шкалы необходимо разделить значения в выборке по группам с максимальным разрывом между ними.

Рассчитав знаменатель прогрессии (он равен 2,05), определим интервалы и значения в баллах: 1) наименьшие по запасам месторождения (менее 445 млн т) – 1 балл; 2) небольшие (от 445 до 574 млн т) – 2 балла; 3) средние (от 574 до 839 млн т) – 3 балла; 4) крупные (более 839 млн т) – 4 балла. Заметим, что эта градация достаточно условна, применяется для месторождения по признаку «величина (объем) запасов».

Вторым показателем, влияющим на себестоимость руды, является глубина залежей. Для градации его интервалов применена классификация горнотехнических условий, предложенных в институте «Центрогипроруда»: от верхнего края осадочной толщи до зоны выветривания. В зависимости от этой величины месторождения могут быть отнесены к трем видам: 1) неглубокого залегания (не более 150 м от поверхности) – 3 балла; 2) средней глубины залегания (150–400 м от поверхности) – 2 балла; 3) глубокого залегания (400–500 и более м от поверхности) – 1 балл.



Другой показатель — угол падения основной толщи горных пород — определяет устойчивость рудных бортов месторождения. По вертикальному углу залежи могут подразделяться на следующие категории [10]: 1) наименее крутые залегания (менее 65°) — 3 балла; 2) средней крутизны (от 65° до 70°) — 2 балла; 3) приближающиеся к отвесному положению (71° и более) — 1 балл. Далее полученные баллы суммируются, и по общему баллу определяется индекс месторождения по геолого-технологическим параметрам: I (высококачественный тип) — от 7 до 9 баллов, II (средний по качеству тип) — от 5 до 6 баллов.

Наиболее значимыми для классификации железорудного месторождения являются *физико-химические свойства руды*, так как они определяют ее качество, от которого зависит способ обогащения, а, следовательно, себестоимость железорудного сырья и выход продуктов обогащения. Содержание железа общего ($Fe_{\text{общ}}$) в рудах определяет требования к обогащению для использования в металлургии. Если железа в руде недостаточно для дальнейшей переработки и производства металлургической продукции, то при помощи методов обогащения из железорудного сырья получают концентрат с повышенным содержанием $Fe_{\text{общ}}$. Исходя из процентного содержания железа в рудах, разделим их на три оценочные группы: бедные (менее 30 %) — 1 балл; средние (30–35 %) — 2 балла; богатые (более 35 %) — 3 балла.

От содержания полезных примесей зависит качество железной руды. Так, легирующие примеси (Ni, Co, Cr, Mn, V и Nb) повышают ее качество для выплавки чугуна и стали [1]. С учетом сказанного предложим следующие градации уровня содержания в железной руде полезных компонентов: низкий (0,5–1 %) — 1 балл; средний (1–2 %) — 2 балла; высокий (более 2 %) — 3 балла.

Содержание вредных примесей влияет на качество руды, осложняет процессы обработки металла и плавку чугуна. Оценим в процентах от общей рудной массы долю вредных примесей (сера и фосфор) по классификации, указанной в ГОСТ Р 52939-2008 «Руды железные товарные необогащенные. Общие технические условия»¹, с уточнениями, указанными в справочнике по обогащению руд черных металлов [27]. Таким образом, значения градаций будут следующими: низкое содержание — 3 балла; среднее содержание — 2 балла; повышенное содержание — 1 балл.

Если в залежах месторождения присутствуют оба элемента, то вычисляется сумма баллов по обоим показателям, а если отсутствуют, — то месторождению присваивается 3 балла. Так, если рудные залежи месторождения получили 2 балла по содержанию серы и 1 балл по фосфору, то итоговое содержание оценивается в 3 балла. Баллы по трем показателям суммируются, и в зависимости от полученного значения определяется индекс месторождения: А (хорошее качество) — 8–12 баллов; В (низкое качество) — 7 и менее баллов.

Последнюю группу оценивания составляет *экономико-географическое положение* (далее — ЭГП). Важно рассмотреть такие показатели, как рас-

¹ ГОСТ Р 52939-2008. Руды железные товарные необогащенные. Общие технические условия». Введ. 15.07.2008. М., 2008.



стояния (по прямой линии и железной дороге) от месторождения до металлургического комбината, объем добычи на главном карьере и дополняющем его карьерах. При этом расстояние следует рассчитывать как средневзвешенное значение всех путей между местами добычи железной руды и ее переработки. Поскольку все карьеры / рудники исследуемых месторождений расположены вблизи горно-обогатительных комбинатов (далее – ГОК), то разница между расстояниями будет небольшой. Тем не менее размах значений (разность наибольшей и наименьшей величины в выборке) этого показателя важен для выявления выгоды расположения карьера относительно ГОК [18]. Градации расстояний определим так: от 2 до 2,5 км – 3 балла; от 2,5 до 3,5 км – 2 балла; более 3,5 км – 1 балл. Особенно важно учитывать расстояние от ГОК до карьера по железнодорожным путям. Оценим его по следующим шкалам: менее 10 км – 3 балла; 10–14 км – 2 балла; более 14 км – 1 балл.

Объем добычи отражает производительность карьера, что влияет на работу ГОК и в конечном счете – на валовой выпуск продукции. Для определения границ интервалов используем классификацию карьерных полей: 1 – 5 млн т/год – 1 балл; 5,1–20 млн т/год – 2 балла; 20,1–30 млн т/год – 3 балла; более 31 млн т/год – 4 балла.

При выставлении оценки по каждому показателю и суммировании оценок трех показателей приходим к выводу о благоприятном или неблагоприятном ЭГП. Так, если сумма баллов меньше 6, то месторождение имеет неблагоприятное ЭГП, а если 6 и более – благоприятное.

На втором этапе проводится суммирование показателей и выставление итоговой оценки относительно рентабельности: наименее рентабельное, рентабельное, наиболее рентабельное. Состояние месторождения определяется по разработанной А.М. Соромотиным шкале [24] с учетом специфики исследуемых железорудных месторождений.

По количеству баллов и значению индексов оценивается рентабельность месторождений, которая влияет не только на его непосредственное использование, но и на экономические показатели ГОК.

Методика оценки алюминиевого сырья

Принимая во внимание дефицит бокситов в России и низкое качество нефелинов, залегающих в пределах исследуемой территории, оценка этих ресурсов важна для характеристики состояния ресурсной базы алюминиевого сырья.

Геолого-технологические параметры. Размер запасов месторождения бокситов и/или нефелинов следует разделить на 3 группы: от 48 до 100 млн т; от 100 до 300 млн т; более 300 млн т. Соответственно, группам присваиваются баллы: первой – 1 балл; второй – 2 балла; третьей – 3 балла.

Глубина залежей бокситов и нефелинов не регламентируется документами по разработке месторождений, однако, поскольку данный показатель влияет на себестоимость добычи, необходимо создать специальную шкалу. Поставим приповерхностным месторождениям 1 балл, максимально глубоким – 3 балла, а тем месторождениям, которые ока-



жуются между ними, — 2 балла. Таким образом, выстраивается следующая шкала: менее 10 м — 1 балл; от 10 до 250 — 2 балла; 250 и более — 3 балла.

Подобным способом выберем интервалы на шкале для угла падения залежей запасов бокситов и нефелинов: менее 5 — 2 балла; более 5 — 1 балл.

Сравнения горно-геологических условий проведем путем суммирования баллов по каждому из показателей. Хорошими источниками ресурса следует считать те, у которых как минимум по двум из трех показателей поставлен высший балл; удовлетворительными — у которых значение одного показателя высшее и одно — среднее; к сложным для освоения отнесем месторождения с одним средним значением. Таким образом, по сумме баллов месторождения делятся на три типа: I (наилучшие для освоения) — 7–8 баллов; II (средние) — 5–6 баллов; III (сложные для освоения) — менее 5 баллов.

Физико-химическая характеристика. Кремниевый модуль (далее — КМ) является одним из наиболее важных показателей, характеризующих качество сырья для производства глинозема. Показатель вычисляется делением доли оксида алюминия на долю оксида кремния (Al_2O_3/SiO_2). Согласно современной классификации «ИТС 11-2022. Производство алюминия», принятой в РФ, бокситы подразделяются на две группы: высокосортные (КМ — более 6) и низкосортные (КМ — менее 6) [8]. Для нефелинов берется обратный показатель (отношение SiO_2 к Al_2O_3) из-за большого количества кремния в породах (оптимальным является отношение менее 3,3 — 3,4) [21]. Нефелины, так же как и бокситы, делятся на два типа — высокосортный и низкокачественный.

Балльная шкала КМ бокситов / нефелинов подразделяется на следующие интервалы: высокосортные — 3 балла; низкокачественные — 1 балл.

Содержание в руде полезных примесей (галлий, ванадий) имеет большое значение при оценивании месторождений, поскольку эти элементы используются во многих отраслях промышленности, например, в производстве полупроводников и в металлургии.

Принимая во внимание отсутствие нормативных документов по классификации алюминиевого сырья в зависимости от содержания полезных примесей, при составлении балльных шкал необходимо опираться на среднее значение доли галлия в руде бокситов и апатит-нефелиновых руд. В случае ванадия необходимо взять интервал значений массовой доли (0,05–0,1) пентоксида ванадия в бокситах, которое может быть извлечено без дополнительных затрат. Так, если содержание полезных примесей в алюминиевом сырье превышает среднее содержание галлия или интервал массовой доли оксида ванадия, то месторождение получает 3 балла, а если оно ниже — 1 балл.

Вредные примеси. Содержащиеся в алюминиевом сырье компоненты, такие как сера и оксид фосфора (P_2O_5), существенно затрудняют процессы технологической схемы глиноземного производства [17]. Поэтому определение величин долей этих веществ от общей массы руды позволяет сравнивать месторождения по сложности переработки добытых бокситов и нефелинов.



Содержание серы в бокситах может составлять до 5 %, однако для способа Байера (наиболее простого и наименее затратного) используются только бокситы с содержанием в 1 % [17]. Таким образом, месторождения по доле серы в составе алюминиевого сырья распределяются следующим образом: более 1 % — 1 балл; около 1 % — 2 балла; менее 1 % — 3 балла.

Уровень находящегося в соединениях бокситов и нефелинов оксида фосфора также оценивается в процентах: более 0,3 % — 1 балл; от 0,3 до 0,1 % — 2 балла; менее 0,1 % — 3 балла.

Для переработки алюминиевого сырья важно, чтобы оно было высокого качества и имело надлежащий процент примесей. Поэтому для включения месторождения в группу «высококачественный состав» большая часть значений показателей (3 из 5) должна находиться в верхнем интервале (самая высокая балльная отметка), еще по одному показателю — в среднем. Отнесение к группе среднего качества возможно при наличии высшего балла по 2-м показателям. Таким образом, месторождения по составу распределяются на 2 группы: А (высококачественные) — 11 баллов и выше; В (среднего качества) — 10 баллов и ниже.

Экономико-географическое положение. Подобно начальным стадиям (добыча и обогащение руды) цикла черной металлургии для управления процессами переработки алюминиевого сырья крайне важна группа показателей, характеризующих мощность разработки месторождения и географическое положение относительно глиноземных заводов. Транспортировать бокситы и нефелины, как и железные руды, достаточно дорого. Так, согласно Прейскуранту 10-01 «Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые российскими железными дорогами»¹, на перевозку бокситов поправочные коэффициенты не дают большого дисконта (0,938 — поправочный коэффициент, приложение 3). Кроме того, бокситы относятся к смерзающимся грузам², что ведет к удорожанию перевозок в зимнее время. Именно поэтому оценка транспортного положения месторождений необходима при выявлении их рентабельности.

По расстоянию до перерабатывающего завода по железнодорожным путям исследуемые месторождения можно разделить на две группы: близкое расстояние (до 50 км) — 3 балла; 2) дальнее расстояние (более 50 км) — 1 балл.

По расстоянию до перерабатывающего завода по прямой линии определяется близость района добычи к центрам переработки, рассчитывается как Евклидово расстояние — нахождением гипотенузы (искомого отрезка между точками) по теореме Пифагора.

¹ Приложение 3. Поправочные коэффициенты к платам за перевозку по российским железным дорогам грузов в прямом железнодорожном сообщении) об утверждении Прейскуранта № 10-01 : постановление ФЭК РФ от 17 июня 2003 г. № 47-т/5. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».

² Об утверждении Правил перевозок смерзающихся грузов на железнодорожном транспорте : приказ Министерства путей сообщения РФ от 05.04.1999 г. № 20Ц. URL: <https://company.rzd.ru/ru/9353/page/105104?id=105> (дата обращения: 21.09.2023).



Шкала расстояний выбиралась, исходя из расположения глиноземных заводов относительно месторождений: менее 10 км — 3 балла; 10 — 30 км — 2 балла; более 30 км — 1 балл.

Показатель объема добычи бокситов и нефелиновой руды характеризует производственную мощность рудников / карьеров и определяет параметры работы горнодобывающей компании. Возможность наращивания объемов рудной массы актуальна, особенно при снижении добычи на других рудниках компании при растущем спросе на ресурс. Так, рост объемов добычи на предприятии «Боксит Тимана» позволил компании РУСАЛ компенсировать негативные последствия от снижения объема добываемых бокситов на предприятии «Североуральский бокситовый рудник»¹.

Определение величин интервалов шкалы показателя осуществляется путем группировки числовых значений месторождений, относящихся к одному числовому порядку: менее 1000 тыс. т — 1 балл; от 1000 до 2100 тыс. т — 2 балла; более 2100 тыс. т — 3 балла.

После выставления и суммирования оценок по показателям, характеризующим ЭПП, делается вывод о преимуществах месторождения алюминиевого сырья: сумма баллов от 7 до 8 — благоприятное (+); сумма баллов 7 и менее — неблагоприятное (-).

Степень эффективности освоения месторождения алюминиевого сырья рассчитывается путем суммирования баллов всех показателей, определяющих качество месторождения, и, соответственно, отображается в индексах. Однако, поскольку связь между величиной содержания основного элемента (Al_2O_3) и полезными примесями отсутствует, необходимо установить правило, исходя из которого, при равной сумме баллов (по физико-химической группе показателей) у двух месторождений более рентабельным будет признано месторождение с более высоким содержанием основного элемента. Учитывая, что максимальный общий балл (наилучший результат) по месторождению равен 32, для достаточно эффективного освоения необходимо, чтобы сумма баллов была более 70 % от этого значения, для среднего по эффективности освоения — между 70 и 60 %, а для неэффективного — 60 % и менее. В зависимости от значения суммы баллов месторождение относят к одному из трех типов: достаточно эффективные для дальнейшего освоения — 22 балла и выше; средняя эффективность — 19 баллов; низкая эффективность — 16 баллов и ниже.

При распределении индексов по степеням рентабельности основополагающим признаком определим состояние физико-химических параметров, как имеющих первостепенное значение для металлургии. Кроме того, необходимо иметь лучшие значения по двум из трех индексов и средние по оставшемуся, чтобы месторождению была присвоена высокая степень рентабельности для дальнейшего освоения. Для отнесения к средней рентабельности достаточно одного высшего значения индекса (A, I или +).

¹ Отчет компании РУСАЛ за 2020 год. С. 26. URL: <https://rusal.ru/upload/iblock/ced/cedfa2353ba3d382c44d641901762b0f.pdf> (дата обращения: 22. 05.2023).



Оценка рудно-ресурсного потенциала территории

После оценки месторождений отдельных природных ресурсов перейдем к следующему этапу оценивания ПРП — сведению значений балльно-индексной оценки месторождений руд разных типов в единую систему (метод балльно-индексного оценивания исходит из возможности сравнения различных по свойствам и происхождению ресурсов между собой по общей шкале). Для этого необходимо ввести поправочные коэффициенты, которые позволят учесть роль природного ресурса в экономике, степень сложности природных условий для освоения территории, а также обеспеченность транспортом.

32

Авторская методика оценивания рудно-ресурсного потенциала региона разработана на основе свойств месторождений руд как компонентов процессов добычи, переработки и транспортировки. При расчете данным способом учитывается значение источника руды для российской сырьевой базы и его вклад в экономику региона.

Одним из главных критериев оценивания выбрана относительная ценность природного ресурса. Для железной руды он составил 2 балла, для алюминиевого сырья — 3. Такие значения подобраны в зависимости от доли черной и цветной металлургии в ВВП РФ¹.

Другой важный критерий оценивания руд — итоговое значение баллов. Этот показатель дает комплексную характеристику месторождения. Основной рудно-ресурсный потенциал территории рассчитывается как произведение двух основных критериев для каждого месторождения с последующим суммированием значений всех месторождений руд каждого субъекта.

Для того чтобы охарактеризовать место рудно-ресурсного потенциала территории в общественно-географическом пространстве, необходимо ввести поправочные коэффициенты, с помощью которых будут учтены условия освоения рудных полезных ископаемых и значения исследуемого сырья для экономики государства и региона. Для этого выбраны следующие показатели для субъектов РФ: плотность железнодорожной сети; роль в ресурсном обеспечении страны; отрасль специализации субъекта; экологический показатель.

Плотность железнодорожной сети измеряется в километрах путей на 10 тыс. км² территории. Шкала интервалов построена, исходя из значений показателя для четырех субъектов с исследуемыми месторождениями руд. Так, 2 балла получают субъекты с плотностью транспортной сети ниже 60 км путей, 1 балл — 60 и более км.

Роль субъекта РФ в ресурсном обеспечении страны выражается через долю (в процентах) полезного ископаемого региона от общих запасов этого природного ресурса в стране. Запасам алюминиевого сырья значения следует присваивать по 10-балльной шкале, представляющий собой упрощение процентной шкалы (например, на территории Республи-

¹ Об утверждении Стратегии развития металлургической промышленности РФ на период до 2030 г. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».



ки Коми расположено 15 % общероссийских запасов бокситов, поэтому субъект получает 1,5 балла). Тот же принцип будет использован и для железных руд.

Отрасль специализации субъекта характеризует влияние различных видов экономической деятельности в формировании ВРП. Несмотря на то, что применение этого показателя ограничено особенностями его результатов и экономико-географическими особенностями, он широко применяется при исследовании ключевых отраслей экономики регионов, как в России [4; 22], так и за рубежом [28; 29]. Рассчитывается по следующей формуле [11]

$$C_{ir} = \frac{a_{ir}}{a_r}, \quad (2)$$

где C_{ir} — коэффициент специализации i -й отрасли в регионе r , a_{ir} — доля региона r в объеме выпуска i -й отрасли страны, a_r — доля региона r в объеме валового выпуска в стране.

При значении $C_{ir} > 1$, выбранная отрасль является отраслью специализации, если $C_{ir} < 1$, то отрасль относится к обслуживающей или к вспомогательной. Однако, если отраслей специализации несколько, то особое значение имеют виды экономической деятельности, у которых значение коэффициента C_{ir} наибольшее.

Определим значение поправочного коэффициента по отношению значений добывающей отрасли к значениям других отраслей экономики субъекта. Так, при наибольшем коэффициенте специализации горно-металлургической отрасли регион получает 3 балла; если по значению C_{ir} добыча полезных ископаемых занимает 2-е место среди других отраслей, то поправочный коэффициент — 2 балла, для более низких мест коэффициента добывающей отрасли — 1 балл; если добыча руды относится к вспомогательной отрасли, то присваивается коэффициент, равный 0,5.

Характер экологических проблем региона в значительной степени зависит от его специализации [3]. Примем допущение, что добыча рудных ресурсов является одной из основных отраслей в регионе (даже если по значению показателя специализации горнодобывающая отрасль относится к вспомогательным). Шкалу градаций для экологического коэффициента выберем исходя из размеров объема отходов от горнопромышленного комплекса и степени вреда для территории. Самый низкий поправочный коэффициент, равный 1, присваивается субъектам с полным отсутствием или низким уровнем отходов при добыче руды. Высший коэффициент, равный 3, присваивается субъектам с наибольшими объемами отходов. Средний коэффициент (2) получает субъект, у которого значение показателя отходов находится в интервале между минимальной и максимальной величинами.

Поправочные коэффициенты можно разделить на ослабляющие и усиливающие. Так, транспортное обеспечение и экологическая уязвимость в северных регионах являются тормозом для развития. Показате-



ли сырьевой базы, которые напрямую влияют на экономику, относятся к драйверам роста. Значения рудно-ресурсного потенциала делятся на первую группу коэффициентов и умножаются на вторую.

Обсуждение результатов

Оценка показателей месторождений железной руды

Оценка по геолого-технологическим параметрам. Большая часть железорудных месторождений получила низкий индекс (II). К основным условиям, осложняющим добычу, относятся большой угол падения толщ и относительно небольшие запасы месторождений (табл. 1). Исключение составляет Корпангское месторождение, которое, несмотря на небольшие запасы, имеет минимальный угол падения продуктивной толщи.

Оценка физико-химических свойств. По качеству почти все месторождения относятся к типу «А» – хорошее качество (табл. 1), однако у двух (Корпангское и Комсомольское) это обусловлено хорошим составом попутных компонентов (низкое содержание вредных примесей), а не общим содержанием железа, что является главным признаком для обогащательной промышленности. Таким образом, большая часть месторождений района имеет труднообогатимые руды, но хорошие по составу примеси. По результатам оценивания также можно сделать вывод о наличии прямой зависимости между содержанием полезного основного компонента и полезных примесей.

Таблица 1

**Балльно-индексная оценка железорудных месторождений
Северного экономического района России**

Месторождение	Размер запасов, млн т	Глубина залегания, м	Угол падения толщи, °	Индекс	Содержание железа, %	Содержание полезных примесей, %	Содержание вредных примесей, %		Индекс
							Сера	Фосфор	
Костомукшское	748,4	35	73	II	32,1	1,99	0,21	0,07	A
Ковдорское	1382,6	50	70	I	25,2	0,6	0,08	2,74	B
Корпангское	485,9	10	59,5	I	29,1	0,27	0,21	0,06	A
Оленегорское	382	20	70	II	33	0,07	0,04	0,04	A
Комсомольское	512	15	69,5	II	29,2	0	0,18	0,05	A

Составлено на основе данных: [19].

Экономико-географическое положение. Несмотря на близость месторождений к ГОК, их ЭГП невыгодно (табл. 2). Такой вывод объясняется северными условиями: сложным рельефом местности (заболоченные понижения рельефа), малыми производственными мощностями карьеров, сложными гидрогеологическими условиями и тектоническим строением, суровостью климата.



Таблица 2

Балльно-индексная оценка экономико-географических условий освоения железорудных месторождений Северного экономического района России

Месторождение	Расстояние по автомобильным дорогам, км	Расстояние по железнодорожным путям, км	Объем добычи, млн т	Индекс
Костомукшское	3,1	14,3	19,8	–
Ковдорское	3,8	0	12,8	–
Корпангское	3,1	14,3	15,5	–
Оленегорское	2,7	11,6	4,8	–
Комсомольское	2,7	11,6	4,0	–

35

Составлено на основе данных: [5; 9].

По результатам балльно-индексной оценки выявлено, что большая часть железорудных месторождений относится к среднерентабельным, одно (Ковдорское) имеет низкую рентабельность при освоении. В целом предприятия черной металлургии района имеют среднюю по качеству ресурсную базу.

Оценка показателей месторождений алюминиевого сырья

Оценка по геолого-технологическим параметрам. Сложные геологические условия залегания руд и специфика их локализации во вмещающих породах затрудняют добычу алюминиевого сырья [6]. Значения показателей сильно различаются (то есть имеют большой размах выборки), особенно по запасам (табл. 3). Месторождения Хибинской группы отличаются от остальных по геологическому строению и происхождению.

Таблица 3

Балльно-индексная оценка месторождений бокситов и нефелиновых руд Северного экономического района России

Месторождение	Размер запасов, млн т	Глубина залегания, м	Угол падения тощи, °	Индекс	Кремниевый модуль	Содержание полезных примесей		Содержание вредных примесей, %		Индекс
						Ga (г/т)	V, %	S	P ₂ O ₅	
Иксинское	250,6	70,0	0	II	3,1	46,3	0,095	0,24	0,08	B
Вежаю-Ворыквинское	88,1	менее 10	10	II	6,4	59,6	0,007	0,02	0,47	A
Верхне-Щугорское	60,0	87,0	3	II	7,4	60,2	0,04	0,04	0,04	A
Хибинская группа	3209,3	420	29	II	1,1	62,0	0,04	0	16,4	A
Восточное	48,1	252,5	4	III	6,78	56,3	0,04	0,05	0,16	A

Составлено на основе данных: [5], единого фонда геологической информации о недрах¹.

¹ Единого фонда геологической информации о недрах : [сайт]. URL: <https://efgi.ru> (дата обращения: 15.05.2022).



Оценка по физико-химическим свойствам. По данному параметру все месторождения алюминиевого сырья имеют хорошее качество за исключением Иксинского месторождения (табл. 3), которое отличается высоким содержанием оксида кремния и серы. Большое количество вредных примесей на этом месторождении связано с особенностями образования бокситов – путем проточного (горизонтального) гидролиза нижележащих осадков и последующего осаждения в виде слоев с другими породами. Следует отметить и значительную долю пятиоксида фосфора в руде месторождений Хибинской группы (однако там практически отсутствует сера), поэтому основное добываемое сырье из рудников этой группы – апатиты.

Экономико-географическое положение. Расположение месторождений в основном неблагоприятное, за исключением Иксинского и Хибинской группы (табл. 4). Это связано с их удаленностью от центра переработки, который исторически сформировался на Урале (Богословский глиноземный завод). Что касается объемов добычи, зависящих от мощностей рудников, то почти все месторождения имеют средние значения показателя, так как этого достаточно для обеспечения рынка рудой (особенно, учитывая колебания в 2020–2023 гг., связанные с экономическим кризисом постковидного периода и мировой геополитической нестабильностью). Возможной причиной наименьшего объема добычи Иксинского месторождения является деятельность добывающей компании «Северо-Онежский бокситовый рудник», которая из-за небольших объемов производства и размеров прибыли не может увеличить мощность карьера.

Таблица 4

**Балльно-индексная оценка экономико-географических условий
освоения месторождений бокситов и нефелиновых руд
Северного экономического района**

Месторождение	Расстояние по автомобильным дорогам, км	Расстояние по железнодорожным путям, км	Объем добычи, (2022), млн т	Индекс
Иксинское	7	7,0	527	+
Вежаю-Ворьквинское	691	1785,0	2004	-
Верхне-Щугорское	690	1785,0	2092	-
Хибинская группа	24	16,6	34182	+
Восточное	620	1785,0	1200	-

Составлено на основе данных: ФГБУ Росгеолфонд¹ и Недра-Эксперт².

¹ Электронный каталог геологических документов // ФГБУ Росгеолфонд. URL: <https://www.rfgf.ru/catalog/index.php> (дата обращения: 15.11.2023).

² Недра-Эксперт : [сайт]. URL: <https://www.nedraexpert.ru/search> (дата обращения: 15.11.2023).



При оценке ресурсов алюминиевого сырья выявлены средние характеристики месторождений, за исключением высокорентабельной Хибинской группы, расположенной в Мурманской области. С учетом повышения в 2024 г. спроса на алюминий¹ добыча продолжится. После завершения эксплуатации Верхне-Щугорского месторождения рекомендуется приступить к освоению Восточного месторождения, поскольку оно имеет физико-химический состав высокого качества.

Итоговая балльно-индексная оценка исследуемых регионов

Расчитанные по комплексной методике значения рудно-ресурсных потенциалов субъектов Северо-Западного федерального округа имеют достаточно большой размах (табл. 5) – 224 итоговых балла, что указывает на сильную диспропорцию ресурсной базы руд горнодобывающей промышленности в районе (рис.).

37

Таблица 5

Значения рудно-ресурсного потенциала субъектов Северо-Западного федерального округа Российской Федерации

Субъект РФ	Значение потенциала без поправочных коэффициентов	Итоговое значение
Архангельская область	72	32
Республика Коми	186	140
Мурманская область (железо)	118	256
Мурманская область (алюминий)	72	
Республика Карелия	86	86

У субъекта с лучшими показателями бокситовых месторождений (Республика Коми) факторами, осложняющими развитие территории, являются транспортное обеспечение и незначительный вклад в ресурсное обеспечение страны. Напротив, у Мурманской области совокупный балл рентабельности месторождений алюминиевого сырья ниже, и есть серьезные проблемы с отходами руд, но с учетом больших объемов нефелиновых и железных руд итоговая оценка рудно-ресурсного потенциала самая высокая в выборке (256 баллов). Архангельская область обладает средними по качеству запасами бокситов, слабо обеспечена железнодорожными путями. Республика Карелия имеет хорошие показатели железорудных месторождений, которые оказывают значительное влияние на региональную экономику. С учетом значения запасов для российской железорудной базы, а также проблем с экологией эта республика оказалась по уровню ПРП на третьем месте.

¹ Устойчивый спрос в Китае поддерживает цены на медь и алюминий // Прайм. 06.10.2023. URL: https://1prime.ru/Financial_market/20231006/841907859.html (дата обращения: 23.12.2023).



Рис. Результат балльно-индексной оценки регионов северо-запада РФ

Заключение

Рудное сырье имеет важное значение для экономики ресурсной специализации северо-европейских регионов, поэтому необходимы комплексная оценка свойств руд и расчет рудного потенциала территории.

Средняя рентабельность большинства месторождений обусловлена геологическими условиями залегания рудных полезных ископаемых и экономико-географическим положением. Именно эти группы показателей состояния рудных ресурсов имеют в районе наихудшие значения.

Рудно-ресурсный потенциал территории зависит от количества и разнообразия месторождений, их значения для экономики страны. Рентабельность освоения месторождений также значима для оценки рудно-ресурсного потенциала. Выделим еще транспортную обустроенность региона, а также влияние добычи на экологическое состояние территории.

В Северном экономическом районе только месторождения Мурманской области имеют высокую рентабельность, а остальные — средний уровень. Вторым по значению рудно-ресурсным регионом выступает Республика Коми. Место этих регионов в градации уровней рудно-ресурсного потенциала обусловлено геологическими причинами.

Список литературы

1. Аликберов В.М., Тигунов Л.П. Природно-легированные железные руды России: состояние и перспективы использования в металлургии легированных чугунов и сталей // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. №5 (1421). С. 3–13. EDN: XRAHQ7.



2. Бакланов П. Я. Территориальные структуры хозяйства в региональном управлении. М., 2007. EDN: VOEYLG.

3. Бурматова О. П. Методология и инструментарий анализа эколого-экономических аспектов регионального развития. Новосибирск, 2021. EDN: DVLVGP.

4. Головин В. А. Идентификация и оценка эффективности развития экономических кластеров региона : дис. ... канд. экон. наук. Екатеринбург, 2021. EDN: DSECTF.

5. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2021 году: железные руды и алюминиевое сырье. URL: <https://gd2021.data-geo.ru/nfm/al> (дата обращения: 15.05.2022).

6. Жиров Д. В. Новая интерпретация тектоники фойдолитового комплекса Хибин и ресурсный потенциал фосфатов // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2020. №17. С. 184–189. doi: 10.31241/FNS.2020.17.034. EDN: NDYLMQ.

7. Зайцев И. Ф., Изюмский О. А. Природные ресурсы – на службу экономическому прогрессу. М., 1972.

8. ИТС 11-2022. Производство алюминия. URL: https://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=1845&etkstructure_id=1872 (дата обращения: 01.06.2022).

9. Кантемиров В. Д., Тутов Р. С., Яковлев А. М. Основные тенденции производства железорудного сырья в России // Горная промышленность. 2018. №1 (137). С. 72. doi: 10.30686/1609-9192-2018-1-137-72-74. EDN: YVOSGE.

10. Кологривко А. А. Подземные горные работы : учеб. пособие. Минск, 2006.

11. Куценко Е., Еферин Я. «Водовороты» и «тихие гавани» в динамике отраслевой специализации регионов России // Форсайт. 2019. Т. 13, №3. С. 24–40. doi: 10.17323/2500-2597.2019.3.24.40. EDN: ZYRCUV.

12. Лебедева М. А. Теоретико-методологические аспекты оценки природно-ресурсного потенциала // Журнал экономических исследований. 2019. Т. 5, №3. С. 25–35. EDN: FLPJQT.

13. Лопатина Е. Б., Назаревский О. Р. Вопросы региональной комплексной экономической географии // Известия АН СССР. Сер.: География. 1966. №1. С. 99–108.

14. Лукин Е. В. Черная металлургия Северо-Запада России: тенденции и проблемы развития // ЭКО. 2021. №10 (568). С. 110–132. doi: 10.30680/ECO0131-7652-2021-10-110-132. EDN: KDSBSO.

15. Лукин Е. В. Экономика Северо-Запада России: в поисках перспективной специализации // ЭКО. 2023. №8 (590). С. 8–34. doi: 10.30680/ECO0131-7652-2023-8-8-34. EDN: TJXJR.

16. Миц А. А. Экономическая оценка природных ресурсов. Научно-методические проблемы учета географических различий в эффективности использования. М., 1972.

17. Мицис М. Я. Производство глинозема. Новосибирск, 2012.

18. Наговицын Г. О. К вопросу о переходе на подземное транспортирование руды при разработке глубоких карьеров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. №4. С. 218–228. EDN: YJUCVX.

19. Орлов В. П. Железородная база России. М., 2007.

20. Приложение № 2. О государственной экспертизе запасов полезных ископаемых и подземных вод, геологической информации о предоставляемых в поль-



зование участках недр, об определении размера и порядка взимания платы за ее проведение : постановление Правительства РФ от 1 марта 2023 г. №335. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».

21. *Приложение №21*. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (алюминиевых руд) : распоряжение МПР РФ от 5 июня 2007 г. №37-р. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».

22. *Прокопьев Е. А.* К вопросу о выборе данных для определения специализации региона // Друкеровский вестник. 2015. №4 (8). С. 236–245. doi: 10.17213/2312-6469-2015-4-236-245. EDN: UMYNJВ.

23. *Реймерс Н. Ф.* Экология: теории, законы, правила, принципы и гипотезы. М., 1994.

24. *Соромотин А. М.* Нефтегазовые ресурсы как фактор социально-экономического развития Ленского района Республики Саха (Якутия) : дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2015. EDN: FJOUJH.

25. *Субботина Т. В., Шарыгин М. Д.* Оценка природно-ресурсного потенциала — предпосылка социально-экологического развития региона // Проблемы и перспективы географических исследований: юбилейный сборник научных трудов. 2001. С. 52–61.

26. *Чистобаев А. И.* Развитие экономических районов: теория и методы исследования. Ленинград, 1980.

27. *Шинкоренко С. Ф., Белецкий Е. П., Ширяев А. А. и др.* Справочник по обогащению руд черных металлов. 2-е изд., перераб. и доп / под ред. С. Ф. Шинкоренко. М., 1980.

28. *Fracasso A., Marzetti G. V.* Estimating dynamic localization economies: The inadvertent success of the specialization index and the location quotient // *Regional Studies*. 2018. 52. P. 119–132. doi: 10.1080/00343404.2017.1281388.

29. *Kopczewska K., Chursk P., Ochojski A., Polko A.* Measuring Regional Specialisation: A New Approach // Cham, Switzerland: Palgrave Macmillan. 2017. doi: 10.1007/978-3-319-51505-2.

30. *Leveil H., Hay J., Bas A. et al.* Coût d’opportunité versus coût du maintien des potentialités écologiques: deux indicateurs économiques pour mesurer les coûts de l’érosion de la biodiversité // *Natures Sciences Sociétés*. 2012. Vol. 20, №1. P. 6–29. doi: 10.1051/nss/2012003.

31. *Missemer A.* Natural Capital as an Economic Concept, History and Contemporary Issues // *Ecological Economics*. 2018. Vol. 143. P. 90–96. doi: 10.1016/j.ecolecon.2017.07.011.

Об авторе

Федор Максимович Ренни — асп., Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет, Россия.

ORCID: 0000-0001-8195-5818

E-mail: fedor.renni@mail.ru

SPIN-код: 5298-4077



F. M. Renni

THE CONCEPTUAL PROVISIONS FOR THE POINT-INDEX
ASSESSMENT OF ORE RESOURCES
IN THE NORTHERN ECONOMIC REGION OF RUSSIA

Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

Received 13 January 2026

Accepted 24 March 2026

doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-2

41

For cite this article: Renni F. M., 2026, The Conceptual Provisions for the Point-Index Assessment of Ore Resources in the Northern Economic Region of Russia, *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural Sciences*, №2. P. 23–41. doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-2.

The purpose of the study is the experimental development of a score-index methodology for assessing iron ore and aluminum raw material deposits as components of mineral resources, as well as its testing in the territories comprising the Northern Economic Region of Russia. The study draws upon extensive statistical and factual material contained in regulatory and legal documents, as well as in scholarly sources. The main characteristics of mineral resources are presented as of 2022. It is shown that the score-index assessment methodology is aimed at analyzing a resource as a system of components expressed through various properties of natural bodies. With regard to deposits of iron ore, bauxites, and the nepheline component of complex apatite-nepheline ores, a staged assignment of scores and indices reflecting the qualitative and quantitative characteristics of resources according to special scales is substantiated. The scores obtained in this way are successively summed, and, on the basis of the resulting final value, the efficiency and prospects for the further development of the deposits are determined. It has been established that the most profitable deposits are represented by nepheline ores in the Murmansk Region and bauxites in the Komi Republic, while iron ores located in the Republic of Karelia and the Murmansk Region demonstrate medium profitability. Using the author's methodology, which takes into account the most important characteristics of mineral resources and the economic-geographical factors affecting the development of the mining industry, the mineral resource potential of the regions was calculated: the Murmansk Region and the Komi Republic possess the highest potential, whereas the Republic of Karelia and the Arkhangelsk Region demonstrate lower values. The obtained results may be used in strategic spatial planning and in managing the regional development of the resource-based economy of the Northern Economic Region of Russia.

Keywords: natural resource potential, iron ores, bauxites, apatite-nepheline ores, the profitability of ore deposits, the assessment of ore resources, the ore potential of the territories

The author

Fedor M. Renni, PhD student, Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University, Russia.

ORCID: 0000-0001-8195-5818

E-mail: fedor.renni@mail.ru

SPIN-code: 5298-4077

В. Г. Карасев

**РОЛЬ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА
В РЕВИТАЛИЗАЦИИ МАЛЫХ ГОРОДОВ НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ
(на примере г. Боровичи Новгородской области)**

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Поступила в редакцию 02.11.2026 г.

Принята к публикации 15.02.2026 г.

doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-3

42

Для цитирования: *Карасев В. Г.* Роль предпринимательства в ревитализации малых городов нечерноземья (на примере г. Боровичи Новгородской области) // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2026. № 2. С. 42–58, doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-3.

Исследование направлено на изучение малых городов Нечерноземной зоны России, в фокусе внимания – город Боровичи Новгородской области, динамика социально-экономического развития которого во многом схожа с другими аналогичными городами (депопуляция, сокращение человеческого капитала, сжатие рынка труда и т.д.). В работе проведен полимасштабный анализ проблем социально-экономического развития малых городов Нечерноземья. Проанализированы история формирования и эволюция функционального развития Боровичей с целью выявления предзаданности современных тенденций пространственного развития. Для определения роли предпринимательства в оживлении города выполнена оценка современного состояния и перспектив развития бизнеса в отраслевом и территориальном аспектах. На основе данных официальной статистики и экспертных интервью, проведенных автором в феврале 2025 г., представлена качественная и количественная характеристика МСП в Боровичах. По результатам натурных наблюдений и анализа проектной документации выделены основные ареалы и акторы средовой ревитализации, рассмотрены кейсы социально-экономической ревитализации под эгидой бизнеса. Установлено, что МСП, различающиеся по отраслевой принадлежности и масштабу, по-разному воздействуют на процессы оживления городского пространства, а эффективность предпринимательской деятельности во многом определяется сочетанием формальных и неформальных институциональных условий, обеспечивающих развитие бизнеса как драйвера позитивных городских трансформаций.

Ключевые слова: Малые города, ревитализация, Нечерноземье, предпринимательство, местные инициативы

Введение

В настоящее время в России численно преобладают малые города, вектор развития которых отличен от основных тенденций развития крупных городов. При этом многие исследователи последних, считают,



что темпы наращивания демографического и экономического потенциала — это универсальные критерии оценки успешности и эффективности городского развития. Но важно понимать, что хоть в малых городах и происходят позитивные трансформации, на фоне крупных городов они не выглядят столь значительными, при этом, по мнению географа М.С. Гунько с соавторами, зона трансформации и развития уникальна для каждого малого города и возникает, потому что города находятся в поиске своего собственного пути выхода из структурного кризиса [6].

Исторически территория Нечерноземья, ранее имевшая плотную сеть расселения, со временем теряла свой социально-экономический потенциал, его пространство постепенно поляризировалось, большинство малых городов стали периферией. Часть из них являются монопрофильными. Важно отметить, что большинство градообразующих предприятий потеряли в постсоветское время экономическую устойчивость, это, в свою очередь, приводило к ухудшению социально-экономической ситуации всего города. Однако с переходом на рыночные отношения появились новые акторы, способные поддерживать постепенно «тающие» малые города [6]. В данной работе эффективное функционирование объектов предпринимательства выделяется как один из ключевых факторов улучшения социально-экономической ситуации малых городов. Развитость малого и среднего бизнеса может быть индикатором не только витальности городского поселения, но и благоприятных институциональных условий их существования.

Цель работы — выявить роль предпринимательства в ревитализации Боровичей как примера малого города Нечерноземья.

Материалы и методы

На первом этапе исследования был проведен анализ научной литературы, посвященной концепции «ревитализации» городских территорий, что позволило сформировать теоретическую основу для изучения оживления малых городов. Особое внимание уделено источникам, раскрывающим значение предпринимательства в развитии территорий. Акцент сделан на работах российских географов и экономистов, в которых подчеркивается роль малого и среднего предпринимательства (далее — МСП) в устойчивом развитии городской среды [2; 3; 6; 8].

В контексте настоящего исследования, следуя методологическому приему К.В. Аверкиевой, для установления границ Нечерноземья использовались как ландшафтный, так и историко-географический подходы [1]. Под Нечерноземьем в работе понимается территория Брянской, Владимирской, Вологодской, Ивановской, Калужской, Кировской, Костромской, Нижегородской, Новгородской, Псковской, Смоленской, Тверской, Ярославской областей.

Социально-экономическая ситуация в малых городах будет оцениваться с опорой на индекс качества городской среды, разработанный Минстроем России совместно с институтом развития «ДОМ.РФ». На его основе проведен пространственный анализ качества среды малых горо-



дов Нечерноземья. Посчитаны средние показатели по малым городам в каждом из регионов и выделены наиболее типичные города в разной людности (менее 10 тыс. чел., 10–35 тыс. чел., 35–50 тыс. чел.).

Проведен анализ социально-экономического и функционального развития Боровичей, что позволяет установить периоды старта процессов социально-экономической ревитализации. Источниками информации послужили историко-краеведческая литература, материалы с сайтов администрации муниципального района и Боровичского комбината огнеупоров, материалы городского музея, базы данных муниципальных образований Росстата. В выборку вошли все доступные показатели, которые в совокупности позволяют отразить общую картину изменений в городской среде и экономике во времени. Динамика регистрации ИП в Боровичах будет проанализирована на основе сведений открытого портала *list-org*. Начало средовой ревитализации было зафиксировано на основе данных экспертных интервью.

44

Для оценки текущего положения бизнеса и его влияния на ревитализацию Боровичей адаптирована методика, предложенная Д. Ю. Землянским [7] и составлена матрица бизнес-структуры города Боровичи, а также проведена оценка местного бизнес-сообщества.

Согласно методике Д. Ю. Землянского, масштаб бизнеса внутри города оценивается по показателю средней численности сотрудников. Для этого выбраны диапазоны, основанные на критериях МСП: микро — менее 15 сотрудников, малый — от 16 до 100, средний — от 101 до 250 и крупный — более 251. Масштаб деятельности вне города оценивался по размеру выручки также в соответствии с методикой Д. Ю. Землянского и классификацией МСП: локальный — менее 120 млн рублей, региональный — от 120 до 800 млн рублей, межрегиональный — от 800 млн до 2 млрд рублей и федеральный — более 2 млрд рублей.

В рамках полевого этапа исследования проведено 12 полуструктурированных экспертных интервью с представителями малого и среднего бизнеса различных отраслей, а также 1 с представителями органов местного самоуправления.

Оценка условий развития бизнеса и активность местного бизнес-сообщества проведена по трехбалльной шкале, где результат по каждой из групп фиксирует позитивное / негативное влияние или его отсутствие. Анализ пространственной концентрации бизнеса, институциональных условий для развития и его отраслевой принадлежности позволит сделать выводы о роли предпринимательства в ревитализации Боровичей.

Результаты исследования

По состоянию на 1 января 2024 г. на территории Нечерноземья насчитывалось 192 малых города. Сопоставление данных о малых городах показывает, что в ряде регионов (Владимирская, Костромская, Новгородская, Тверская, Ярославская, Калужская, Брянская, Кировская области) увеличение общего числа городов происходило за счет преобразования сел в города, несмотря на общее сокращение населения и понижение статуса некоторых городов. Особая ситуация сложилась в Новгородской и Ярославской областях, где всего по 9 малых городов, некоторые из ко-

торых динамично развиваются (Старая Русса, Боровичи, Тутаев). Вологодская и Псковская области не показали изменений, а в Нижегородской области образование новых городов компенсировалось переходом других в разряд средних или снижением их статуса, сохраняя общее число малых городов неизменным. Устойчивая тенденция к снижению численности населения угрожает некоторым населенным пунктам потерей статуса города в будущем.

Таким образом, малые города сегодня появляются как в результате негативной динамики «сверху», так и в результате попадания в хинтерланд столицы «снизу». В совокупности на территории Нечерноземья во второй половине XX в. в результате урбанизационных процессов было образовано 25 новых малых городов, а в постсоветский период — еще 3. Все находятся в Калужской области (Ермолино, Кремёнки, Сосенский), что служит эмпирическим подтверждением включенности Калужской области в зону непосредственного влияния Москвы (рис. 1).

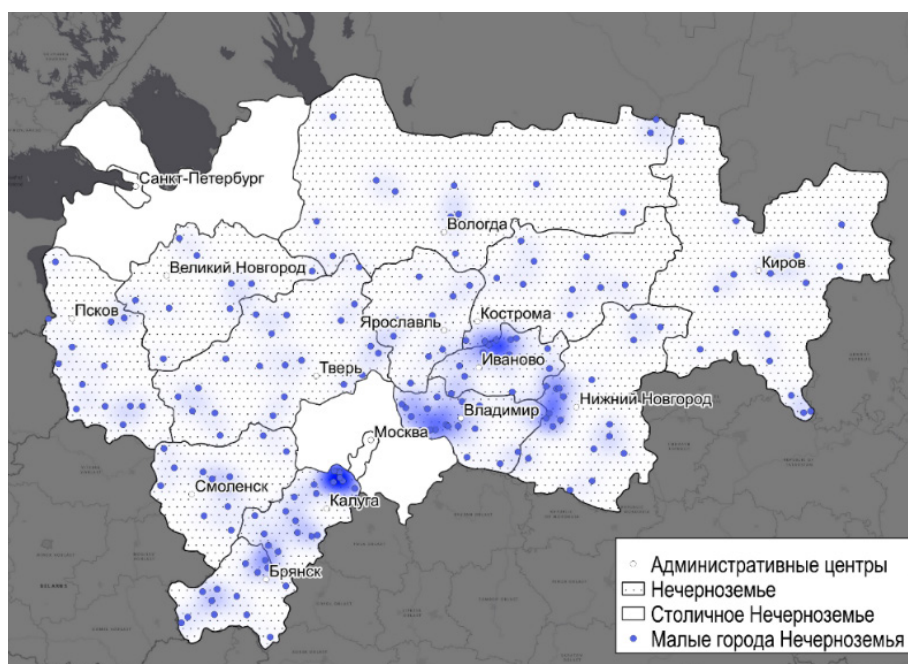


Рис. 1. Пространственная концентрация малых городов Нечерноземья

Положительная динамика индекса качества городской среды показывает, что развитие малых городов Нечерноземья в последние годы демонстрирует отчетливую положительную тенденцию, коррелирующую с общероссийским трендом «улучшения». Особенно отличились малые города Новгородской, Ярославской и Нижегородской областей (более 225 баллов). Среднее значение индекса превышает общероссийское (220 баллов), что делает их исключением в структуре Нечерноземья и указывает на наличие устойчивых положительных трансформаций городского пространства.



Особый интерес представляет монопрофильный город Боровичи Новгородской области, где позитивные трансформации происходят не так очевидно, в отличие от историко-культурных центров, в первую очередь, рассчитывающих на свой туристический потенциал.

История Боровичей демонстрирует сложную многослойную эволюцию: от погоста до индустриального центра [4], от промышленного моногорода к малому культурно-рекреационному [5]. Изменения функциональной специализации на протяжении столетий позволяют рассматривать его как уникальный пример малого города Нечерноземья, пережившего фазы пространственного и урбанизационного роста, индустриального освоения, последующего спада и попыток постиндустриальной адаптации [9]. Современная социально-экономическая ситуация города в значительной степени предопределена исторически сложившимся огнеупорным производством, при этом среди городов Новгородской области именно в Боровичах наблюдается наиболее активный процесс ревитализации.

В ходе исследования была определена отправная точка социально-экономической ревитализации, соотносимая с 2017–2018 гг., когда в динамике социально-экономических показателей наметился устойчивый рост (табл. 1). Многие городские бизнесмены считают, что старт средовой ревитализации приходится на период последних 5–7 лет. В зависимости от сферы занятости мнения практически не различаются, при этом, поскольку облагораживание городской среды происходило довольно оперативно, некоторые предприниматели, да и в целом жители города, даже не задумывались о том, когда начался процесс этой активной ревитализации.

Таблица 1

Точки роста социально-экономических показателей

Год	Сальдо миграции	Протяженность дорог	Ввод жилых домов	Высокая доля ИЖС	Количество точек общественного питания	Количество магазинов	Общее количество ИП	Новые регистрации ИП
2006	–	–	+	–	+	+	–	–
2007	–	+	–	–	+	+	–	–
2008	–	+	–	–	+	+	–	–
2009	–	+	+	–	–	+	–	–
2010	–	+	+	+	–	+	–	–
2011	–	+	+	+	+	+	–	–
2012	–	+	+	+	+	+	–	–
2013	–	+	–	–	+	+	+	–
2014	–	+	+	–	+	–	+	–
2015	–	+	–	–	+	+	+	–
2016	–	–	–	–	+	+	+	–
2017	–	–	–	+	–	–	+	–
2018	+	–	+	+	–	–	+	+
2019	+	+	+	+	–	–	–	+



Год	Сальдо миграции	Протяженность дорог	Ввод жилых домов	Высокая доля ИЖС	Количество точек общественного питания	Количество магазинов	Общее количество ИП	Новые регистрации ИП
2020	+	+	+	+	—	—	+	+
2021	—	+	+	+	—	—	+	+
2022	—	+	+	+	—	—	+	+

Примечание: + – рост показателя; Цвет – одновременный рост 5 показателей, Цвет – 4 показателя, Цвет – 3 показателя (2020 – рост 6 показателей).

47

В городе насчитывается более 450 коммерческих организаций. Наибольшая концентрация – в кластере локального микробизнеса (более 70 %) (рис. 2). Здесь доминируют предприятия промышленности (33,5 %) и торговли (26,9 %). Существенную часть промышленного сегмента составляют юридические лица, созданные как ответвления от уже действующих крупных предприятий. Подобная практика является характерной для «локальных»¹ индустриальных акторов: несмотря на то, что фактические масштабы деятельности и численность работников превышает установленные критерии для субъектов МСП, такие предприятия стремятся сохранить формальный статус малого или среднего бизнеса. Это позволяет им использовать меры государственной поддержки, предусмотренные в рамках федеральных проектов, в том числе территории опережающего социально-экономического развития «Боровичи». Аналогичная практика распространена и в торговле, где относительно крупные местные сети создают несколько юридических лиц для сохранения льгот. Второй по объему – кластер малого локального бизнеса (около 12 %). Он имеет похожую отраслевую структуру. Важный сегмент здесь – ЖКХ, где несколько компаний, связанных между собой, работают в условиях слабой конкуренции, что сказывается на тарифах. Микро-региональный кластер (около 2 %) имеет меньшие масштабы в городе, но значимое влияние в регионе.

По состоянию на 1 января 2024 г. в Боровичском районе зарегистрировано 2135 субъектов МСП, включая 1598 индивидуальных предпринимателей. Большая часть бизнеса сосредоточена в самом городе Боровичи, где расположена и основная промышленность района. В период пандемии COVID-19 наблюдалось снижение числа зарегистрированных субъектов МСП, что отражает негативные последствия кризиса: многие предприниматели прекратили деятельность из-за жестких ограничений и сложной экономической ситуации. В последующий период (2021 – 2022) произошел резкий рост числа МСП, связанный с фазой постковидного восстановления. Однако в дальнейшем темпы роста замедлились,

¹ Де-факто по внегородскому масштабу деятельности многие из них скорее региональные.



что обусловлено активным распространением самозанятости — новой формы предпринимательской деятельности, введенной в 2019 г., но ставшей массовой именно к 2022 г. Самозанятые, как правило, не входят в официальные критерии субъектов МСП, поэтому значительная часть новых предпринимателей в 2021–2024 гг. не учитывается в соответствующих реестрах. По состоянию на начало 2024 г. в Боровичском районе было зарегистрировано 3773 самозанятых.

48

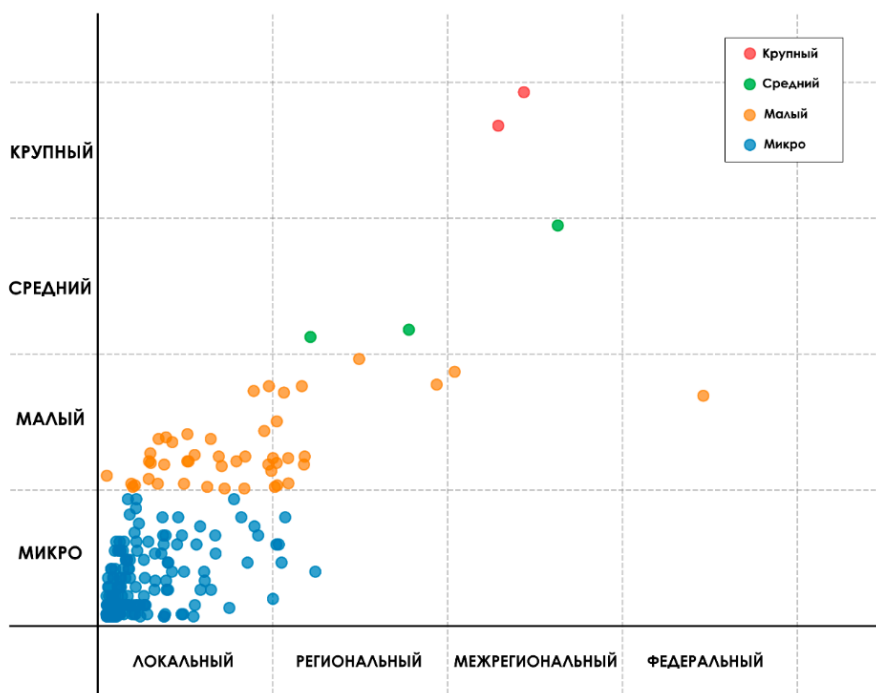


Рис. 2. Матрица бизнес-структуры Боровичей по состоянию на 01.01.2024 г. по данным Единого реестра МСП, порталов «Чекко» и «СПАРК»

Самозанятые составляют менее 1% от МСП в Боровичах. Основная его часть — микропредприятия, а наиболее распространенная форма — индивидуальное предпринимательство (около 75%). Более 50% МСП ориентирована на торговлю и услуги. Востребованы общественное питание, гостиничный бизнес, туризм и индустрия красоты. Розничная торговля отстает из-за конкуренции с федеральными сетями. Развитие бьюти-индустрии в городе получило заметный импульс благодаря внедрению меры государственной поддержки в виде социальных контрактов. Эта инициатива способствовала легализации значительной части теневого сектора, позволив представителям индустрии красоты официально оформить свою деятельность и получить доступ к базовым формам государственной поддержки.

Общественное питание и гостиничный бизнес растут благодаря туристам, которые едут в Боровичи преимущественно из Санкт-Петербурга и Москвы. В 2024 г. владельцы ресторанной сети «Антонио» провели очередной ежегодный гастрономический фестиваль «Крошево» с ре-



кордными (на 2024 г.) 9000 посетителей. Другие предприятия общественного питания и гостиницы также способствуют ревитализации города. Самый малый бизнес в свою очередь жалуется на отсутствие поддержки со стороны администрации и низкую вовлеченность как в инициативы по средовым трансформациям, так и в городские мероприятия.

Некоторые крупные промышленники отмечают трудности во взаимодействии с администрацией: «Администрация спит! Раньше содействовали и помогали, теперь практически нет,» (ж., предприниматель в сфере разработки общераспространенных полезных ископаемых). Тем не менее во взаимоотношениях между бизнесами есть поддержка и диалог: «В принципе мы нормально общаемся... палки в колеса не вставляем,» (ж., предприниматель в сфере общественного питания). Некоторым горизонтальные связи помогли выжить в пандемию, а современные методы господдержки (особенно на старте) предпринимателями оцениваются крайне положительно: «В ковид ни один цветочный не закрылся, все друг другу помогали... Сейчас с этими соцконтрактами открыть бизнес довольно просто!» (ж., предприниматель в сфере цветочного бизнеса). Главная проблема – дефицит кадров и высокая текучесть персонала, усугубляемые демографическим кризисом и геополитикой. Безработица минимальна (около 0,2%), а потребность в работниках существенно превышает предложение.

Бизнес-сообщество Боровичей слабо структурировано, но устойчиво. Опорой является крупный общепит. Малый общепит – сообщество с «семейными / товарищескими» связями и взаимопомощью, но работает в режиме выживания и мало вовлечено в городскую жизнь. Розничная торговля и гостиничный бизнес тоже преимущественно автономны, самые малые и активные пользуются господдержкой, крупные – нет. В сфере розничной торговли признаки единого бизнес-сообщества проявляются только на уровне самых малых предпринимателей, тогда как остальные участники демонстрируют пассивность и находятся на стадии постепенного угасания (табл. 2). Это связано как с ограниченным вниманием со стороны городской администрации, так и с низким уровнем горизонтальных связей в самой сфере.

Таблица 2

Условия развития местного бизнес-сообщества

Условия	Малый общепит	Крупный общепит	Малый гостиничный	Крупный гостиничный	Розничная торговля	Промышленность
Двусторонняя потребность в общении (Бизнес-Бизнес)	+	+/-	+	+/-	-	-
Готовность к открытому диалогу	+	+	+	+	+	+/-
Участие в бизнес-сообществе	+/-	+	-	+/-	+/-	+/-
Неформальное взаимодействие (Власть-Бизнес)	-	+	-	+/-	-	+/-
Участие в жизни города	-	+	-	+/-	+/-	+/-



Промышленность минимально интегрирована в процессы средовых трансформаций города (за исключением градообразующего предприятия). Особое положение занимает предприятие «Мстинская гончарная», которое до прошлого года практически не участвовало в локальной предпринимательской активности и не взаимодействовало с другими представителями бизнеса. Сейчас предприятие имеет коллаборации с «Антонио» (организации реализуют совместные мероприятия, где в глиняной посуде от гончарной подается продукция ресторана). Тем не менее на межрегиональном уровне оно всегда формировало положительный имидж города, представляя свою продукцию на выставках и внешних мероприятиях.

Промышленность обеспечивает значительную часть занятости и деловой активности, поэтому Боровичи пока сохраняют облик преимущественно промышленного, а не туристического города. При этом все более заметным становится развитие сферы услуг, особенно в общественном питании и гостиничном бизнесе. Это связано с ростом туристического потенциала города и сопровождается активизацией малого бизнеса, в том числе в форме самозанятости. Внутри предпринимательской среды складывается, пусть еще не совсем устойчивое, но уже заметное сетевое взаимодействие. Малые предприниматели нередко сотрудничают друг с другом на основе горизонтальных связей, помогают и поддерживают друг друга, действуют гибко и неформально. Крупный бизнес, особенно в сфере общественного питания, чаще взаимодействует с местной администрацией и играет более заметную роль в общественной жизни, инициируя различные проекты. Основная предпринимательская активность сосредоточена в руках отдельных инициативных акторов, которые стали своего рода локомотивами развития для других участников рынка.

Развитие предпринимательства в Боровичах существенно опирается на государственную поддержку, без которой интенсивный рост бизнеса был бы маловероятен, как отмечают сами владельцы бизнесов. Особенно важным стал период с 2020-х гг., когда в городе начали реализовываться программы поддержки МСП. При этом институциональные условия все больше влияют на формирование локальной предпринимательской среды. Однако есть примеры успешных бизнесов, запущенных преимущественно за счет собственных ресурсов и инициативы. Они активно участвуют в социальной жизни города, реставрируя исторические здания и поддерживая культурные проекты, что способствует формированию института социально ориентированного предпринимательства. Эта практика становится примером для других, включая новых предпринимателей, и стимулирует их вовлеченность в городское развитие. Вместе с тем часть крупного бизнеса остается слабо интегрированной и пассивной в этих процессах.

Взаимодействие предпринимателей с местной администрацией варьируется: крупные игроки, проявляют активность и получают поддержку, тогда как малый бизнес ощущает недостаток внимания и возможностей для участия в городских инициативах, хотя в целом отношение к администрации остается положительным. Промышленники демонстрируют более сдержанную или критическую позицию с но-



стальгией по прошлым периодам эффективного управления. Крупный гостиничный бизнес занимает нейтральную позицию частично из-за политических факторов.

Формальные меры поддержки играют ключевую роль в развитии бизнеса. Основной инструмент — программа социального контракта, предоставляющая малообеспеченным гражданам безвозмездные субсидии на открытие бизнеса при условии регистрации ИП или самозанятого. Это позволяет легализовать ранее скрытый предпринимательский потенциал и расширить налоговую базу. Льготное налогообложение для социальных предпринимателей и креативных индустрий действует, но заметного роста в этих сферах не наблюдается. Значимым фактором является также льготное кредитование через Новгородский фонд поддержки предпринимательства, позволяющее бизнесу запускать и масштабировать проекты с минимальными финансовыми рисками. В 2024 г. в Боровичах открылся центр «Мой бизнес», что значительно упростило доступ к консультациям и сопровождению предпринимателей без необходимости выезда в региональный центр.

Для промышленности важна субсидия на покупку оборудования (до 80 % стоимости) и возмещение затрат по лизингу. Однако в 2024 г. объемы поддержки сократились, а количество получателей упало из-за ужесточения условий, при этом некоторые промышленники связывают резкое сокращение круга заявителей на программы поддержки с появлением непрозрачных практик отбора. Значимым событием стало создание в 2019 г. территории опережающего социально-экономического развития «Боровичи», где резиденты получают налоговые льготы, что повысило инвестиционную привлекательность города. На Боровичский район приходится более 66 % инвестиционных проектов вне регионального центра — Великого Новгорода, а доля района в общем объеме инвестиций в основной капитал области выросла с 34 % в 2021 г. до 46,6 % в 2022 г. и достигла 58,3 % в 2023 г.¹, подтверждая его статус ключевого экономического узла.

Учитывая разнообразие предприятий, их участие в ревитализации города проявляется в двух основных формах: **средовой** и **социально-экономической**. Средовая ревитализация преимущественно характерна для малого и среднего бизнеса сферы услуг. Их вклад в благоустройство городской среды объясняется не только стремлением к улучшению общего облика города, но и прагматическими соображениями: повышение качества среды способствует росту потребительской активности, за счет привлечения внимания к предпринимателю и, как следствие, капитализации собственного бизнеса. Социально-экономическая ревитализация чаще осуществляется крупными промышленными предприятиями, которые за счет открытия новых и модернизации существующих производств способствуют росту занятости, налоговой

¹ Министерство экономического развития Новгородской области. Инвестиционный профиль Боровичского муниципального района : презентация. 12.11.2024. URL: https://borovichskij-r49.gosweb.gosuslugi.ru/netcat_files/userfiles/Ekonomika/investicii/Borovichskiy_m_r_12.11.2024.pptx (дата обращения: 14.04.2025).

базы и поддержке социальной инфраструктуры. Средовая ревитализация, инициируемая бизнесом в сфере услуг, также оказывает опосредованное влияние на социально-экономическую сферу. В связи с этим эффект социального и экономического «оживления» города трактуется как включенный в категорию средовой ревитализации. Однако терминологически различие сохраняется: средовая ревитализация связана с преобразованием городской среды. Для понимания данных процессов важно определить, где сосредоточен бизнес, какие зоны развиваются и как это связано с инфраструктурой и историко-культурным контекстом города.

52

На картосхеме представлен город Боровичи с административно-территориальными границами, включающими историческое ядро и прилегающие территории, присоединенные в ходе расширения городской черты (рис. 3). Среди них бывшие поселки, ныне микрорайоны: Вельгия (включенный в 1966 г.), Коммунистический на востоке и Полюновка на юге. Западнее Полюновки расположен затопленный карьер, ранее разрабатываемый Боровичским комбинатом огнеупоров (далее – БКО). Северо-западнее находится микрорайон Сосновка, также бывший самостоятельный поселок. Таким образом, современная городская территория объединяет исторический центр и зоны поздней урбанизации, что влияет на размещение и характер предпринимательской деятельности.

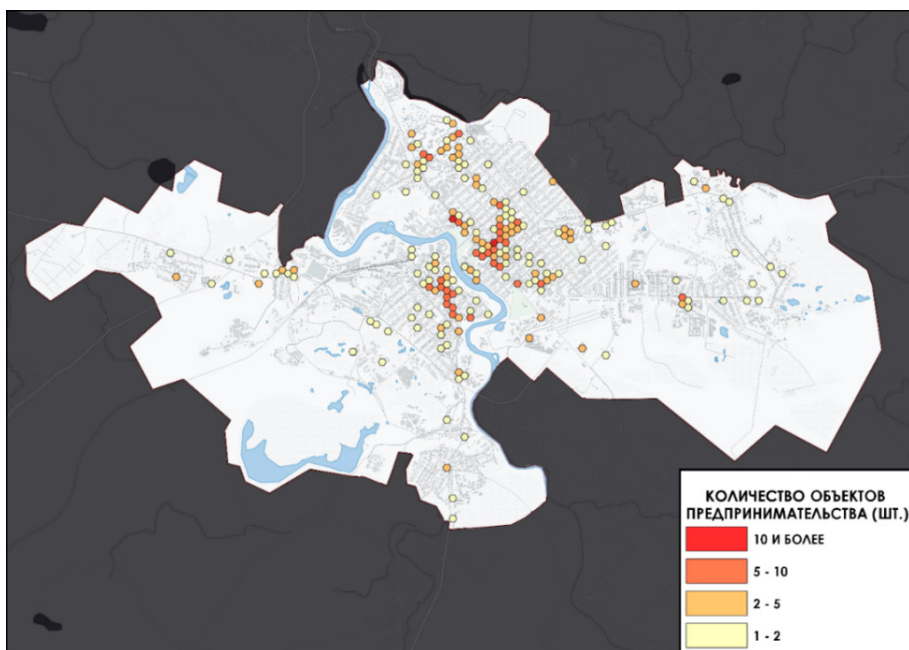


Рис. 3. Размещение объектов предпринимательства в городе Боровичи по данным 2ГИС

Наибольшая концентрация бизнеса сосредоточена в историческом центре, где выделяются две основные деловые зоны. Первая — на левом берегу реки Мсты, на Спасской (заводской) стороне, исторически сфор-

мировавшейся как промышленный кластер с градообразующим предприятием и связанными объектами. Здесь размещены и независимые производства («Петерпайп» и др.), а основная предпринимательская активность сосредоточена вдоль Ленинградской улицы с федеральными торговыми сетями и сервисными организациями малого бизнеса. Вторая зона — на правом берегу, на Торговой стороне, в исторически торгово-купеческом центре города, преимущественно вдоль улицы Коммунарной и соседней улицы Подбельского. Северо-западнее центра, вдоль улицы Софьи Перовской, расположены крупный торговый центр «Пирос» и производственное предприятие ЗАО «Боровичи-Мебель». Таким образом, исторический центр характеризуется большей предпринимательской активностью в торговле и сфере услуг.

Кроме центра, локальные очаги бизнеса отмечаются на севере вдоль улицы Сушанская, а также в микрорайонах Коммунистический, Сосновка и Полюновка, где бизнес ориентирован преимущественно на обслуживание населения и повседневные нужды. Исторически центральная часть города выполняет ключевые функции: здесь сосредоточены бизнес-структуры, административные учреждения, туристическая инфраструктура и объекты культурного наследия, что делает ее наиболее значимой и функционально насыщенной. В связи с этим основные очаги средовой ревитализации сосредоточены именно в центральной части города.

В исследовании выделены пять типов акторов, участвующих в средовой ревитализации Боровичей (рис. 4).

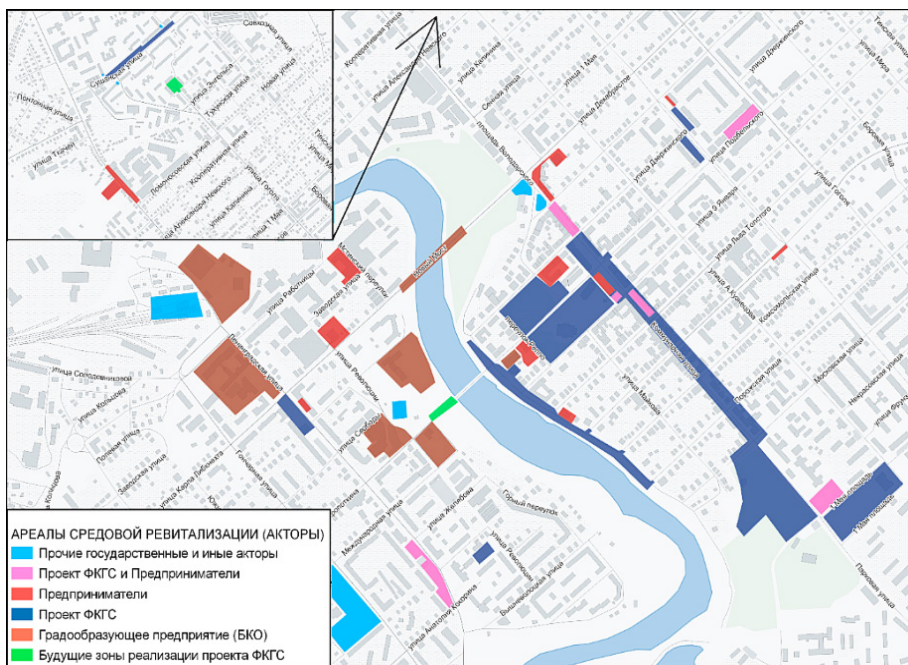


Рис. 4. Ареалы средовой ревитализации по типу акторов, согласно плану проекта ФКГС Боровичского района и полевым наблюдениям



Государственные структуры и внешние участники (голубой ареал) — это проекты, реализованные местными властями и внешними организациями вне федеральной программы «Формирование комфортной городской среды» (далее — ФКГС). Например, реставрация железнодорожного вокзала «Боровичи», благоустройство школы №8 в рамках проекта «Образование», реконструкция Дома народного творчества, установка стелы «Город трудовой доблести», перемещение памятника Суворову (сопровождалось благоустройством прилегающей территории), а также тематические граффити и муралы по городу.

Федеральный проект ФКГС (синий ареал), запущенный в 2017 г. и продленный в 2024 г., направлен на улучшение городской среды с участием жителей через голосование. В Боровичах реализовано более десяти крупных и свыше ста локальных благоустройств: реставрация улицы Коммунарной, Екатерининской площади, парка 30-летия Октября, Парка Победы, набережной Октябрьской революции и создание новых общественных пространств с арт-объектами и детскими площадками. Также в рамках ФКГС идут подготовительные работы для благоустройства территорий на пересечении улицы Гоголя и проезда Титова, а также подхода к пешеходному мосту Белелюбского (зеленый ареал).

Градообразующее предприятие БКО (коричневый ареал) во многом «оживляет» заводскую сторону города, например, на территории спортивного комплекса «Металлург» в 2018 г. открылся ледовый дворец. Это привлекло внимание не только горожан, но и внешних посетителей. Один из местных предпринимателей отметил, что с появлением ледового дворца у его бизнеса системно увеличилось ежегодное сезонное количество клиентов: *«Когда комбинат открыл ледовый дворец, каждое лето туда стали приезжать тренироваться москвичи, а поскольку у меня единственный четырехзвездочный отель в городе, жить поехали они именно ко мне,»* (м., предприниматель в сфере гостиничного бизнеса); Также под эгидой БКО открыты спортивный комплекс «Олимп» (2007), Дом культуры БКО, среднеспециальное учебное заведение и городской мост через Мсту (2008). БКО обустроил сквер, примыкающий к зданию управления комбината и городскую набережную близ собственного санатория-профилактория на заводской стороне, сделал ее комфортным пространством для отдыха.

Предприниматели (красный ареал) с физической точкой присутствия практически всегда влияют на городскую среду, стремясь повысить ее эстетическую привлекательность и, как следствие, интерес к собственному бизнесу. Однако в исследовании внимание сосредоточено на предпринимателях, чья деятельность по преобразованию среды носит масштабный характер — выходит за пределы собственных участков и включает поддержку более широких проектов благоустройства. Также рассматриваются и случаи, когда инвестиции в собственную территорию достигали высоких пространственных и качественных показателей.



Мелкие локальные изменения без признаков комплексной ревитализации (например, замена вывески без сопутствующего благоустройства) в анализ не включались.

Выделены коммерческие участники, иницирующие масштабные проекты по улучшению городской среды. Крупные примеры: ЗАО «Боровичи-Мебель» с рекреационной зоной и высотной инсталляцией в виде стула, клуб-ресторан «Giza» и современное производственное предприятие «Мяжиши» на Заводской улице. В центре Торговой стороны семья Антоновых реализовала масштабный проект по восстановлению исторического здания — усадьбы купцов Митрофановых под ресторан «Антонио» (2017). Здание представляет собой памятник архитектуры XIX в., находящийся в одной из «лучших локаций» города, в непосредственной близости от популярной туристической достопримечательности — моста Белелюбского. На момент начала проекта постройка находилась в аварийном состоянии и использовалась как жилой дом. Рестораторы выкупили у жильцов квартиры и инициировали восстановление исторического объекта. Таким образом, ими не только была реализована предпринимательская инициатива, но и осуществлен масштабный вклад в сохранение историко-культурного наследия. В последующие годы деятельность «Антонио» расширилась: был открыт ресторан «Most», а также частично благоустроены участки в квартале между улицами Дзержинского и Физкультуры, вблизи площади Володарского. Здесь были открыты гастрономическая лавка «Деликатесы Antonio» и пекарня «Antonio Bakery» (розовый ареал).

Отдельного внимания заслуживает гостиничный комплекс «Ткачи», расположенный на улице Дзержинского, открытый предпринимателями, ранее реализовывавшими себя в сфере общественного питания. Новый объект был создан на месте бывших цехов швейной фабрики «Большевичка». На набережной Октябрьской революции на личные средства одного из предпринимателей был реализован проект гостиницы «Виктория». Отель, построенный до начала благоустройства по ФКГС, органично вписался в обновленное пространство, сформировав с ним целостную и визуально согласованную среду.

Сочетание ФКГС и деятельности предпринимателей (розовый) заключается в совместном влиянии (в виде инвестиций, идей или непосредственного участия в реализации проекта) на создание комфортных, привлекательных для жителей и туристов пространств («Вилина»¹ и др.).

Таким образом, процессы **средовой** ревитализации в городском пространстве Боровичей реализуются по различным траекториям: с одной стороны, при участии государственных институтов в рамках программ и инициатив, таких как ФКГС (**ревитализация под воздействием институционального фактора**); с другой, — на основе личных инициатив местных предпринимателей (**ревитализация под влиянием развития**

¹ ООО «Вилина» (VILINA) — крупный российский производитель и поставщик товаров для дома. Резидент TOP «Боровичи». Во время благоустройства улицы Коммунарной (по ФКГС) учувствовали в финансировании строительства центрального городского фонтана.



предпринимательства), стремящихся не только улучшить окружающую среду родного города, но и облагородить пространство вокруг своих объектов для привлечения интереса к собственному бизнесу. Также ревитализация осуществляется в формате смешанных партнерств, когда государственные и частные структуры объединяют усилия для достижения общего положительного средового эффекта.

Не стоит забывать, что далеко не все предприниматели начинают свое дело исключительно на собственные средства. Значительная часть малого бизнеса в Боровичах возникает благодаря инструментам государственной поддержки, таким как льготные кредиты, субсидии или социальные контракты. Получив стартовый капитал, предприниматели не просто запускают основную деятельность, но и почти всегда инвестируют во внешнюю составляющую своей точки. Это может выражаться в оформлении фасада, создании малых архитектурных форм, озеленении прилегающей территории и иных улучшениях, способствующих формированию привлекательной городской среды. Таким образом, начальные инвестиции, реализуемые за счет государственных механизмов, также становятся фактором локальной средовой ревитализации (**ревитализация под влиянием развития предпринимательства — развитие предпринимательства под влиянием институционального фактора**).

Активная социально-экономическая ревитализация города включает участие ранее перечисленного бизнеса, который, ориентируясь на собственную капитализацию, способствует оживлению городской экономики («Антонио», «Ткачи», «Ларико», и др.). **Пассивная** социально-экономическая ревитализация характерна для промышленных предприятий, чей вклад менее визуален, но не менее важен. Под влиянием институциональных факторов, таких как льготное кредитование и лизинг, они модернизируют производство и повышают экономическую эффективность города.

Выводы

Таким образом, развитие предпринимательства оказывает значительное влияние на процессы ревитализации города. Бизнес-среда в Боровичах представлена как индивидуальными предпринимателями, так и организациями, вклад которых зависит от ресурсов и мотивации. Важную роль играют институциональные условия: как формальные (государственные программы поддержки, льготное налогообложение, кредитование, субсидии), так и неформальные (общественные ожидания, связи между бизнесами). Без этого активное участие, особенно малого бизнеса, было бы затруднено. Однако некоторые предприниматели добились успеха на основе собственных ресурсов, демонстрируя возможности автономного роста. Интенсивность процессов ревитализации зависит от ключевых бизнес-фигур — самых активных и инициативных предпринимателей.

Вместе с тем начинающие и микро-бизнесы испытывают недостаток внимания со стороны власти и институтов развития, несмотря на готов-



ность участвовать в преобразованиях. Дальнейшие процессы ревитализации могут зависеть от внимания к этим малым акторам, чье участие при институциональной поддержке может стать ключом к устойчивому развитию их самих и, как следствие, города в целом. При этом градообразующее предприятие (БКО) остается важным драйвером как средовой, так и социально-экономической ревитализации.

Таким образом, в современных условиях предпринимательская активность в разнообразных формах становится важнейшим двигателем городского развития, функционируя в тесной взаимосвязи с институциональной средой. Характер участия бизнеса в ревитализации во многом зависит от отраслевой принадлежности. Промышленники в большей степени вовлечены в социально-экономическое развитие, тогда как предприятия сферы услуг воздействуют преимущественно на средовую составляющую, оживляя городское пространство и повышая его привлекательность.

Список литературы

1. *Аверкиева К. В.* Сельская местность Нечерноземья: депопуляция и возможные пути адаптации к новым условиям // Вопросы географии. 2013. №135. С. 108–125. EDN: UXXYIL.
2. *Барина В. А., Земцов С. П., Демидова К. В., Леваков П. А.* Малое и среднее предпринимательство России в кризисные периоды. М., 2023. 116 с. EDN: XFHLIO.
3. *Барина В. А., Земцов С. П., Царева Ю. В.* В поисках предпринимательства в России. М., 2023. EDN: GMNEBQ.
4. *Боровичи : городской очерк / В. В. Гарновский, Г. И. Ивановский, Л. А. Коновалова [и др.].* Боровичи, 1985.
5. *Боровичи (Новгородская область) // Мы здесь живем. Социальная антропология малого российского города.* М., 2013. Гл. 5. С. 89–104.
6. *Гулько М. С., Пивовар Г. А., Аверкиева К. В.* Ревитализация в малых городах европейской России (на примере Боровичей, Выксы, Ростова) // Известия Российской академии наук. Сер. географическая. 2019. №5. С. 18–31. doi: 10.31857/S2587-55662019518-31.
7. *Землянский Д. Ю.* Бизнес-среда как новая форма самоорганизации экономики городов // Региональные исследования. 2009. №3 (24). С. 3–14. EDN: NEAUCF.
8. *Земцов С. П.* Источники роста деловой активности в регионах России в условиях внешних шоков // Журнал Новой экономической ассоциации. 2025. №1 (66). С. 291–300. doi: 10.31737/22212264_2025_1_291-300. EDN: MMFVNX.
9. *Подобед Л. В.* Боровичи. Страницы истории. СПб., 2013.

Об авторе

Виктор Георгиевич Карасев — студ., Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет, Россия.

ORCID: 0009-0005-9559-129X

E-mail: viktorgetsby@mail.ru

SPIN-код: 4540-5144



V. G. Karasev

THE ROLE OF ENTREPRENEURSHIP IN THE REVITALIZATION
OF SMALL TOWNS IN THE NON-CHERNOZEM REGION
(on the example of Borovichi, Novgorod region)

Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

Received 02 November 2025

Accepted 15 February 2026

doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-3

58

For cite this article: Karasev V. G., 2026, The role of entrepreneurship in the revitalization of small towns in the non-chernozem region (on the example of Borovichi, Novgorod region), *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural Sciences*, № 2. P. 42 – 58. doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-3.

The study is aimed at examining small towns in the Non-Chernozem zone of Russia, with particular attention focused on the town of Borovichi in the Novgorod Region, whose socio-economic development dynamics largely resemble those of other similar towns (depopulation, reduction of human capital, contraction of the labor market, etc.). The paper presents a multi-scale analysis of the socio-economic development problems of small towns in the Non-Chernozem zone. The history of the formation and evolution of the functional development of Borovichi is analyzed in order to identify the predetermined nature of contemporary trends in spatial development. To determine the role of entrepreneurship in revitalizing the town, an assessment of the current state and development prospects of business was carried out in both sectoral and territorial dimensions. Based on official statistical data and expert interviews conducted by the author in February 2025, qualitative and quantitative characteristics of small and medium-sized enterprises (SMEs) in Borovichi are presented. Drawing on field observations and the analysis of project documentation, the main areas and actors of environmental revitalization are identified, and cases of socio-economic revitalization under the auspices of business are examined. It has been established that SMEs differing in sectoral affiliation and scale exert different influences on the processes of urban space revitalization, while the effectiveness of entrepreneurial activity is largely determined by the combination of formal and informal institutional conditions ensuring the development of business as a driver of positive urban transformations.

Keywords: Small towns, Revitalization, Non-Chernozem region, entrepreneurship, local initiatives

The author

Viktor G. Karasev, student, Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University, Russia.

ORCID: 0009-0005-9559-129X

E-mail: viktorgetsby@mail.ru

SPIN-code: 4540-5144

УДК 504.055

**И. Д. Нагурная^{1,2}, И. И. Волкова²
Т. В. Шаплыгина²**

**ФОРМИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ СРЕДЫ КАЛИНИНГРАДА
ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ**

59

¹ Государственное автономное учреждение Калининградской области
«Экологический центр «ЕКАТ-Калининград», Калининград, Россия

² Балтийский федеральный университет им. И. Канта,
Калининград, Россия

Поступила в редакцию 16.02.2026 г.

Принята к публикации 28.03.2026 г.

doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-4

Для цитирования: Нагурная И. Д., Волкова И. И., Шаплыгина Т. В. Формирование акустической среды Калининграда под воздействием транспортных потоков // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2026. № 2. С. 59–78. doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-4.

Процесс урбанизации сопровождается увеличением плотности и интенсивности транспортных потоков, что создает повышенную акустическую нагрузку на городские территории. Транспортный каркас Калининграда обладает ярко выраженной радиально-кольцевой структурой, определяющей конфигурацию зон экстремального акустического дискомфорта. С помощью платформы NoiseTools выполнено построение прогнозной графической модели участка со сложившейся инфраструктурой и высоким автомобильным трафиком при условии применения шумозащитных барьеров. Отмечено прогнозируемое уменьшение уровня звукового давления на 9,3 дБА, сокращение на 15 % площади территории акустического дискомфорта и глубины проникновения шума на территории дворов. Применение программного комплекса NoiseModelling для анализа распределения акустических полей, генерируемых транспортными потоками, дало возможность провести дифференциацию городского пространства по уровням звукового давления и идентифицировать зоны акустического дискомфорта. Установлено, что на 43 % территории Калининграда уровни звукового давления превышают нормативные значения, что характерно для участков, прилегающих к дорогам и транспортным магистралям.

Ключевые слова: город Калининград, транспортные потоки, шумовое загрязнение, картографирование шума



Введение

Шум идентифицируется как форма физического загрязнения, подлежащая нормированию и контролю в условиях урбанизированных территорий. Наибольшее количество всех источников шума в городской среде приходится на транспортную инфраструктуру.

Оценка шумового загрязнения сопряжена с рядом методологических сложностей, обусловленных разнообразием факторов, влияющих на формирование акустического фона. В частности, значение имеет тип источника (стационарные и мобильные), временная изменчивость воздействия, разнообразие акустических характеристик (колеблющийся, прерывистый, импульсный, тональный шум) (ГОСТ 23337-2014) [1], а также морфотип застройки, особенности рельефа, климатические условия и др.

Многообразие методических подходов (натурные измерения, математическое моделирование, социологические опросы и др.) к изучению городской акустической среды связано с различными аспектами исследования шумового загрязнения.

Среди существующих способов оценки акустической ситуации устойчивую популярность сохраняет геопространственный анализ с использованием ГИС-технологий благодаря его универсальности для визуализации и пространственного моделирования шумовых полей [5; 6; 8]. В основе направления лежит моделирование распространения шума с использованием пространственных данных о дорожной сети, морфотипе застройки и топографии местности, а также учет физических параметров распространения звуковых волн. Современное развитие метода тесно связано с интеграцией алгоритмов искусственного интеллекта и машинного обучения для обработки больших массивов информации, автоматического распознавания источников шума и построения адаптивных прогнозных моделей.

Статистическое моделирование, как классический аналитический инструмент, выполняет фундаментальную функцию по установлению количественных зависимостей между параметрами городской среды и акустическими характеристиками [3; 11; 14]. Данный подход позволяет выявлять закономерности влияния высотности зданий на вертикальное распределение шума, взаимосвязь между морфологическими параметрами (ширина улиц, плотность дорожной сети) и уровнями звукового давления.

Инструментальные полевые измерения остаются базовым методом получения первичных сведений об акустической обстановке помощью шумомеров в конкретных точках исследуемого участка [2; 17]. Несмотря на трудоемкость и локальный характер, метод служит стандартом для верификации расчетных моделей, оценки эффективности шумозащитных мероприятий (установка звукоотражающих экранов, защитных зеленых полос) и анализа ситуации на территориях с множественной структурой источников.

Социологические опросы направлены на изучение субъективного восприятия шума населением, выступают важным дополнением к ин-



струментальным данным и позволяют выявить психоакустические аспекты: степень дискомфорта, нарушения сна, стресс от различных типов шума [10; 12; 16].

В рамках медико-экологических научных работ встречаются когортные исследования, направленные на выявление долгосрочных причинно-следственных связей между шумовым воздействием и состоянием здоровья исследуемых групп населения [18–20]. Путем длительного мониторинга определенной социальной группы, данный метод позволяет установить причинно-следственные связи между постоянным шумовым воздействием и развитием специфических патологий, предоставляя достоверную базу для оценки рисков и корректировки гигиенических нормативов.

Для создания динамических шумовых карт в последние годы активно применяют специализированные программные комплексы. Так, программный пакет NoiseModelling применяется для моделирования распределения шума от автотранспорта [9] и других источников [7], используя возможности искусственного интеллекта [15]. Программа реализует методы CNOSSOS-EU по распространению шума от автомобильных дорог и железнодорожных путей. Платформа NoiseTools применима для линейных и площадных прогнозных расчетов шума, в основе которых лежит учет расстояний, экранирующего влияния зданий и наличия барьеров [13].

Каждый из рассмотренных методов обладает специфическими преимуществами и ограничениями. Классические эмпирические измерения обеспечивают высокую точность данных, но требуют значительных временных и ресурсных затрат. Статистические методы позволяют выявлять устойчивые закономерности, однако не всегда способны отражать причинно-следственные связи. Геопространственный анализ эффективен для визуализации и планирования, но зависит от качества и количества исходной информации. Методы искусственного интеллекта демонстрируют эффективность в обработке больших данных и выявлении скрытых паттернов, однако требуют специализированных компетенций и могут выступать «черным ящиком» в интерпретации результатов. Смешанные методы обеспечивают комплексность подхода, но сложны в координации и реализации. Когортные исследования предоставляют наиболее убедительные доказательства, однако их проведение ограничено длительностью и стоимостью исследования. Таким образом, оптимальная исследовательская стратегия должна комбинировать сильные стороны различных подходов, минимизируя их недостатки.

Тренд исследований шумового загрязнения показывает смещение от точечных натурных измерений к комплексному прогнозному моделированию. Наиболее перспективными оказываются методы, интегрирующие геопространственные данные и алгоритмы машинного обучения для создания детальных и точных шумовых карт.

Калининград характеризуется разнообразием источников шума: разветвленная улично-дорожная сеть, промышленно-производственные комплексы, строительная деятельность, объекты социальной инфраструктуры и др. Строительство новых микрорайонов, расширение жилых зон, уплотнительная (точечная) застройка сопровождается



ростом транспортной нагрузки на городские территории, что, в свою очередь, обуславливает повышение уровней звукового давления и формирование неблагоприятной санитарно-гигиенической среды в жилых районах города. Шум от транспортных потоков характеризуется мобильностью источников, широким диапазоном генерируемых уровней звукового давления, сочетанием постоянной низкочастотной составляющей с импульсными компонентами, проявляющимися во время ускорения и торможения транспорта.

В существующих районах города Калининграда с плотной застройкой возможности применения инженерно-технических, строительно-акустических и других методов существенного снижения шума от транспорта ограничены планировочной структурой. В то же время на перспективных территориях, планируемых к застройке жилыми комплексами, возможно интегрировать принципы формирования благоприятной акустической среды на стадии проектирования для предотвращения необходимости проведения затратных и технически сложных корректирующих мероприятий в будущем.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являются транспортные потоки Калининграда. Для комплексного рассмотрения акустической нагрузки были применены следующие методы: геопространственный анализ для масштабной оценки шумового загрязнения и инструментальные натурные измерения для локального изучения акустической ситуации.

Метод геопространственного анализа был реализован с применением специализированного программного обеспечения NoiseModelling (версия 4.0.0) для моделирования шумовых полей на территории Калининграда площадью 144 км²: в пределах Северного, Южного обходов и ул. Мелиоративной.

Исходные картографические данные были загружены через сервис BVBike из базы открытых картографических данных OpenStreetMap в формате pbf, переименованы и импортированы в среду NoiseModelling с использованием WPS-блока «Import_OSM». Система координат — EPSG:32634 (UTM зона 34N), обязательная для корректности акустических расчетов. Импорт обеспечил формирование таблиц «BUILDINGS» (24485 объектов), «ROADS» (21 878 сегментов) и «GROUND» (4957 полигонов). После выгрузки базовых слоев проводился визуальный контроль корректности формирования объектов в программе QGIS.

Блок «Delaunay_Grid» позволил сгенерировать равномерную сетку приемников вокруг зданий и дорог. Определение шумовой характеристики источника было представлено в результате обработки данных блоком «Road_Emission_from_Traffic» по методологии CNOSSOS-EU. Блок «Noise_level_from_source» обеспечивает расчет рассеивания шума с учетом поглощения звуковых волн в атмосфере, отражения от фасадов. Для построения изолиний уровней звукового давления был использован блок «Create_Isosurface». Результирующая таблица «CONTOURING_



NOISE_MAP», содержащая изолинии уровней шума, экспортирована в форматах GeoJSON для последующей обработки и визуализации с помощью программы QGIS.

Для изучения распределения звуковых волн на территории жилой застройки в зоне влияния транспортных магистралей с высоким автомобильным трафиком проведены натурные наблюдения. Инструментальный метод реализован на локальном участке площадью 0,07 км² в границах новых жилых комплексов «Олимпийский» и «Янтарный», прилегающих к четырехполосной ул. Генерала Челнокова и вспомогательной двухполосной ул. Елизаветинской. В месте их пересечения расположено транспортное кольцо (рис. 1).

63



Рис. 1. Распределение точек наблюдения в районе ул. Елизаветинской и ул. Генерала Челнокова



Контрольные точки были разделены на группы по их пространственному и функциональному положению: 1) связанные с планировкой территории; 2) характеризующие уровень акустического комфорта внутри двора; 3) привязанные к улично-дорожной сети (табл.).

**Акустическая характеристика контрольных точек участка
жилых комплексов «Олимпийский» и «Янтарный»
в районе ул. Елизаветинской и ул. Генерала Челнокова**

64

Характеристика группы точек	Расположение группы точек	Количество точек	Уровень звукового давления, дБА	Расширенная неопределенность U ($k=2$), дБА
Находятся в акустической тени зданий, удалены от источников шума (автомобильные дороги, детские площадки и др.)	Дворовые территории, внутридворовые проезды, тыльные фасады зданий	26	< 55	$\pm 1,5-1,8$
Находятся в акустической тени зданий, вблизи детских площадок, удалены от автомобильных дорог	Дворовые территории, внутридворовые проезды, тыльные и главные фасады зданий со стороны ул. Елизаветинской	44	55–60	$\pm 1,4-1,7$
Характерно косвенное влияние зданий на уменьшение уровня звука (экранирование), естественное снижение шума за счет расстояния или низкого уровня шума от источника (автомобильные дороги) ввиду низкой пропускной способности	Главные фасады зданий со стороны ул. Елизаветинской и ул. Генерала Челнокова, участки у боковых фасадов зданий, проезжая часть ул. Елизаветинской	14	60–72	$\pm 1,7-2,1$
Не защищены от шума и расположены вблизи его источника	Главные фасады зданий со стороны ул. Генерала Челнокова, проезжая часть ул. Генерала Челнокова	10	72–78	$\pm 1,8-2,3$
Не защищены от шума и расположены вблизи его источника в части с самой высокой скоростью движения	Проезжая часть ул. Генерала Челнокова	3	> 78	$\pm 2,2-2,8$



В каждой локации выполнялась серия последовательных замеров уровня звукового давления с дальнейшим усреднением результата. На основе систематизированных данных об уровнях звука методом интерполяции была построена картосхема акустических полей модельного участка жилых комплексов «Олимпийский» и «Янтарный». Измерения проводились с использованием шумомера АТТ-9052 в часы пиковой транспортной активности: с 8:00 до 10:00, с 11:00 до 13:00 и с 17:00 до 20:00.

Обработка результатов инструментальных измерений выполнена в соответствии с требованиями ГОСТ 23337-2014. Для оценки достоверности полученных данных был произведен расчет расширенной неопределенности измерений U с коэффициентом охвата $k=2$ (что соответствует 95%-ному доверительному интервалу). Стандартная неопределенность по типу В (инструментальная погрешность) принята равной 1,5 дБА для используемого шумомера. Стандартная неопределенность по типу А оценивалась по результатам измерений в каждой точке с учетом объединения данных по каждой группе точек. Полученные значения расширенной неопределенности для каждой группы точек представлены в таблице 1 и варьируются от $\pm 1,4$ до $\pm 2,8$ дБА в зависимости от стабильности шумового режима и количества точек в группе.

Для прогнозирования снижения шума в случае использования шумозащитных экранов на модельном участке использовался калькулятор уровня распространения звука платформы NoiseTools. На первом этапе выполнен расчет уровня шума без установки защитных сооружений для оценки естественного затухания звука. На втором этапе в модель введен шумозащитный барьер высотой 2,5 м (средняя высота для данного типа сооружений согласно распоряжению Федерального дорожного агентства от 13 декабря 2012 г. № 995-р) [4] с последующим расчетом изменения акустической ситуации на модельном участке.

Результаты

Анализ акустической ситуации на модельном объекте (район ул. Генерала Челнокова и Елизаветинской) позволил провести акустическое зонирование исследуемой территории с выделением зон акустического комфорта и дискомфорта. Комфортная акустическая среда (менее 55 дБА) отмечена для 50 % территории. Это преимущественно участки в акустической тени зданий или на удалении от источников шума (автомобильные дороги, детские площадки), расположенные во дворе, во внутривортовых проездах и у тыльных фасадов зданий. Диапазон звукового давления 55–60 дБА (20 % исследуемой территории) наблюдается в зонах акустической тени зданий, на удалении от источников шума (автомобильные дороги), а именно вблизи детских площадок на территории двора, у тыльных фасадов зданий, во внутривортовых проездах, а также у главных фасадов зданий со стороны ул. Елизаветинской. Уровень звукового давления 60–72 дБА (20 % исследуемой территории) наблюдается в зонах рассеивания шума от транспорта. Показатели достаточно низкие из-за косвенного влияния построек (боковые фасады зданий) и естественного снижения уровня звукового давления за счет расстояния (боковые фасады зданий) или низкого уровня шума от до-

роги (главные фасады зданий со стороны ул. Елизаветинской и Генерала Челнокова). Ввиду отсутствия защитных сооружений и близости к источнику шума (автотранспорт) на участках между главными фасадами зданий и проезжей частью ул. Генерала Челнокова уровень звукового давления составляет 72–78 дБА (10% исследуемой территории). На сегменте участка длиной 620 м, расположенном вдоль проезжей части ул. Генерала Челнокова, наблюдаются максимальные показатели звукового давления, составляющие более 78 дБА (рис. 2).



Рис. 2. Распространение акустических полей в районе ул. Елизаветинской и ул. Генерала Челнокова



С учетом планировочной структуры исследуемой территории оптимальным вариантом снижения шума представляется установка шумозащитных экранов. Прогноз акустической ситуации на модельном участке показал, что в случае установки барьера высотой 2,5 м снижение уровня звукового давления составит в среднем 9,3 дБА. Рассмотрен вариант установки шумозащитного экрана общей протяженностью 610 м на границе тротуара вдоль ул. Генерала Челнокова, ул. Елизаветинской и прилегающего транспортного кольца. Планируемая конструкция состоит из 10 сегментов, что связано с технологическими разрывами в местах выездов из дворов жилых комплексов «Олимпийский» и «Янтарный», в зонах пешеходных переходов и остановок общественного транспорта. На участках остановочных пунктов экраны целесообразно устанавливать на некотором удалении от основной линии защиты.

Анализ прогнозного распределения уровней шума после установки шумозащитных экранов (рис. 3) позволяет сделать следующие выводы об изменении акустического зонирования: площадь территории с комфортной акустической средой (менее 55 дБА) увеличилась на 15 % и составила 65 % от общей площади участка. Снижение уровня шума от автотранспорта на прилегающих тротуарах и в акустических коридорах между зданиями привело к уменьшению глубины проникновения шума на территории дворов.

Территория с уровнем звукового давления в диапазоне 55–60 дБА сократилась на 5 % и занимает не более 15 % от общей площади. Данная зона локализуется преимущественно вокруг детских площадок и в областях рассеивания транспортного шума за шумозащитным экраном, включая тротуар вдоль ул. Елизаветинской, однако добавились локальные участки вдоль зданий со стороны тротуара по ул. Генерала Челнокова, а также в зоне, прилегающей к транспортному кольцу. Зона с уровнем шума 60–72 дБА сократилась незначительно — с 20 до 17 % территории и представляет собой область рассеивания шума за экраном.

Наиболее дискомфортная акустическая зона с уровнем 72–78 дБА претерпела кардинальное сокращение — с 10 до 1 % от общей площади. Остаточные очаги повышенного шума локализованы вдоль ул. Генерала Челнокова в непосредственной близости от транспортного кольца, в местах разрывов шумозащитного экрана, что объясняется сохранением здесь высокоскоростного движения и притормаживанием транспортного потока.

Позитивный эффект от установки шумозащитной конструкции выражается не только в снижении шумового загрязнения в зоне прямого влияния проезжей части, но и в перераспределении акустических зон с повышенным уровнем шума: зона дискомфорта локализуется непосредственно у источника и фиксируется вдоль ул. Генерала Челнокова, ул. Елизаветинской и в районе транспортного кольца. Отмечено снижение уровня шума между зданиями и во внутридворовых проездах.

Таким образом, комплексный подход к изучению динамики акустических полей на локальных участках транспортных магистралей позволяет рассмотреть возможный сценарий снижения шума, особенно на территориях со сформированной инфраструктурой и ограниченными возможностями применения шумозащитных мероприятий.

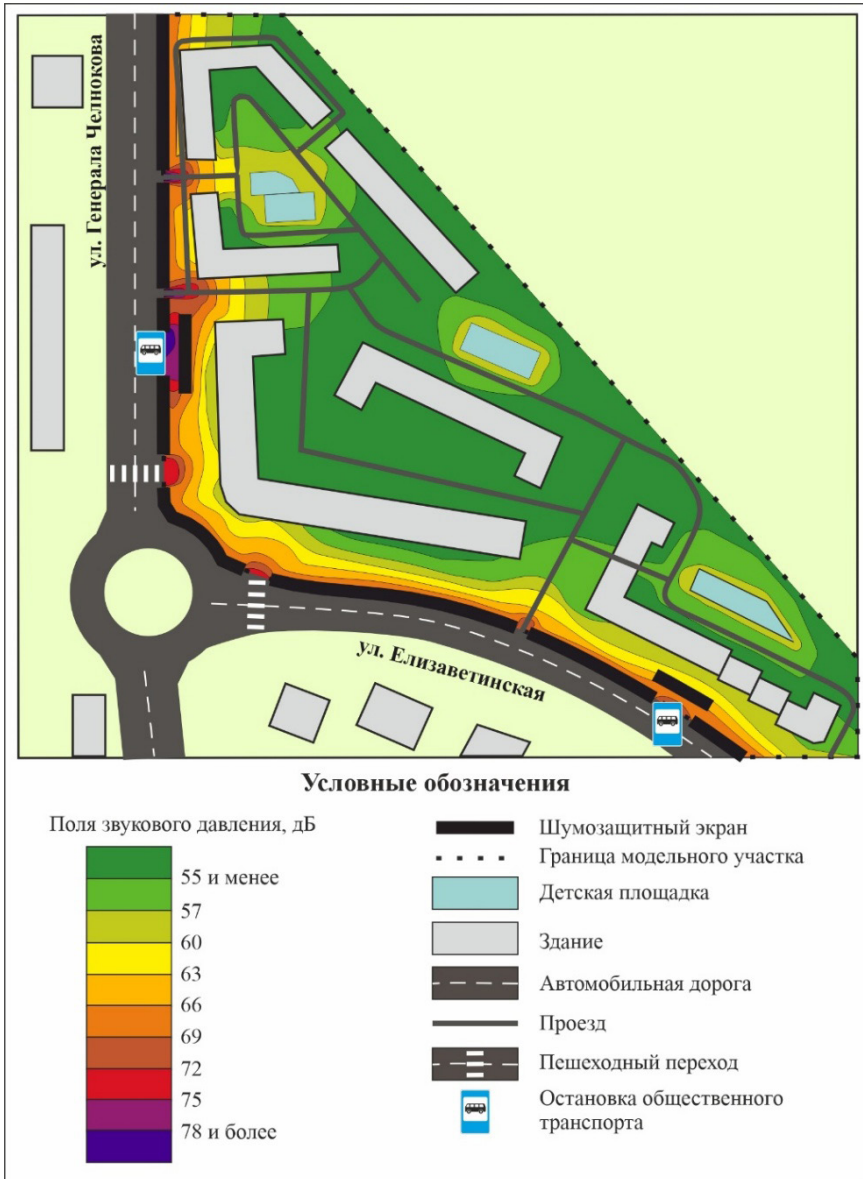


Рис. 3. Прогноз формирования акустических полей в результате установки шумозащитных экранов в районе ул. Elizavetинской и ул. Генерала Челнокова

Для построения карты акустического дискомфорта от автомобильных дорог с наибольшей интенсивностью автомобильного трафика использовался программный комплекс NoiseModelling.

Транспортный каркас Калининграда обладает ярко выраженной радиально-кольцевой структурой. Наибольшая плотность потоков формируется на объездных магистралях (Северный и Южный обо-



ды, ул. Мелиоративная), ключевых сквозных проспектах, связывающих периферию с центром (Советский проспект, Московский проспект, проспект Мира, ул. Александра Невского, ул. Юрия Гагарина, Второй Эстакадный мост, частично проспект Победы, ул. Генерала Челнокова, ул. Горького), а также в центральном транспортном узле исторического центра (ул. Черняховского, Ленинский проспект, ул. 9 Апреля, проспект Калинина, ул. Театральная). Именно эти элементы определяют конфигурацию зон экстремального акустического дискомфорта.

Анализ распределения акустических полей от транспортных потоков позволил дифференцировать территорию города по уровням звукового давления с выявлением зон акустического дискомфорта (рис. 4, 5). Это, в свою очередь, дало возможность выявить четкие закономерности формирования шумовых полей, напрямую зависящих от структуры и интенсивности транспортных потоков.



Рис. 4. Распределение акустических полей от транспортных потоков Калининграда в границах Северного и Южного обходов, ул. Мелиоративной

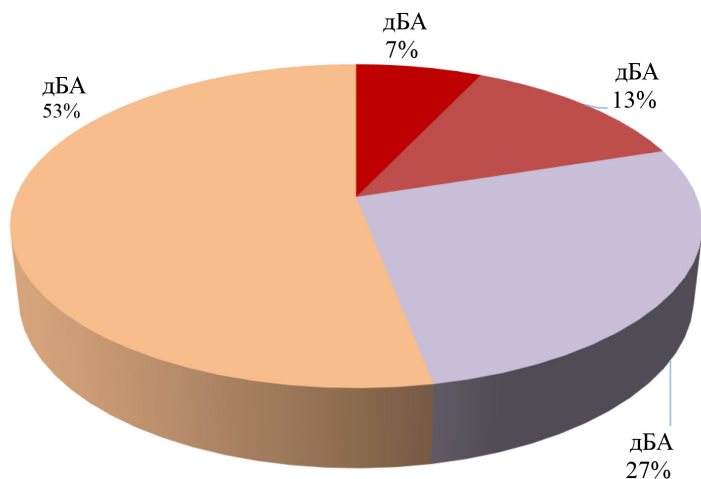


Рис. 5. Распределение территории Калининграда по показателю акустического воздействия в границах Северного и Южного обходов, ул. Мелиоративной, % от общей площади

Наибольшая плотность транспортных потоков и, соответственно, наиболее интенсивное шумовое воздействие свыше 80 дБА отмечено на участках дорог, где основными факторами являются большая разрешенная скорость и высокая пропускная способность, наличие транспортных развязок (участки обходных дорог – Северный и Южный обходы, ул. Мелиоративная и др.); группа улиц центральной части города (ул. Черняховского, ул. 9 Апреля, проспект Калинина, Литовский вал, ул. Театральная и др.); сквозные магистрали, соединяющие периферию города с центром (Советский проспект, Московский проспект, проспект Мира, ул. Александра Невского, ул. Юрия Гагарина и др.). Для последних ключевыми факторами шумогенерации, помимо ширины проезжей части, выступают многочисленные регулируемые перекрестки и остановки общественного транспорта, провоцирующие циклы разгона и торможения. Также в данную группу входят улицы, соединяющие между собой сквозные магистрали (ул. Маршала Покрышкина, ул. Молодой Гвардии, ул. Гайдара).

Уровень шума в диапазоне 70–80 дБА наблюдается в зонах, прилегающих к магистралям, как результат затухания звука от источников свыше 80 дБА и фиксируется непосредственно на проезжей части улиц с менее интенсивным движением. К таким участкам относятся узкие улицы южной части Калининграда (ул. Минусинская, ул. Тихорецкая, ул. Киевская, ул. Ульяны Громовой и т.д.), где территории жилой застройки еще только планируются, а также «вспомогательные» улицы в истори-



ческом районе Амалиенау. Формирование шума здесь характеризуется менее активным транспортным потоком и меньшей пропускной способностью.

Диапазон 55–70 дБА наблюдается в переулках в зонах частной малоэтажной застройки, в производственных зонах, на парковках и внутридворовых проездах.

Уровень шума, соответствующий санитарным нормам – менее 55 дБА, встречается преимущественно в условиях эффективного экранирования. К таким «акустическим оазисам» относятся дворовые территории жилых зданий и участки, значительно удаленные от источников транспортного шума. Их наличие критически важно для санитарно-гигиенического благополучия городской среды.

Полученные результаты позволили выявить несколько ключевых моментов, определяющих акустический ландшафт города. Пространственное распределение транспортного шума в Калининграде подчиняется четким физическим и планировочным тенденциям, формируя сложную систему акустических полей.

Основной закономерностью является каркасный принцип распределения шума, при котором акустические поля максимальной интенсивности строго повторяют конфигурацию наиболее загруженных элементов транспортной системы. Кольцевые магистрали (Северный и Южный обходы, ул. Мелиоративная) вместе с транспортными узлами (транспортные развязки, кольца, эстакады), сквозные магистрали (Советский проспект, проспект Мира, Московский проспект, ул. Александра Невского, ул. Горького, ул. Юрия Гагарина, ул. Генерала Челнокова) и центральный узел (ул. Черняховского, Ленинский проспект, ул. Театральная, проспект Калинина) формируют устойчивый шумовой каркас города с уровнями звука свыше 80 дБА.

Следующей выявленной закономерностью выступает зависимость «пропускная способность – уровень шума» (рис. 6). Улицы с меньшей пропускной способностью и низкой интенсивностью движения (улицы с односторонним движением, внутридворовые проезды, переулки (например, участок ул. Батальной на территории садоводческого некоммерческого товарищества «Железнодорожник» протяженностью 262 м), имеют максимальное значение уровня звука – 55–70 дБА. Наибольший диапазон шума внутри сети из узких улиц в исторических районах Калининграда (например районы Амалиенау, Средний Хуфен, Нижний Форштадт) или обычных улицах регионального назначения будет соответствовать 70–80 дБА, как на ул. Космонавта Леонова. Движение на многополосных загруженных сквозных магистралях и обходных дорогах будет создавать экстремально высокий уровень звукового давления – более 80 дБА.



Рис. 6. Зависимость максимального уровня шума от пропускной способности дорог Калининграда в границах Северного и Южного обходов, ул. Мелиоративной

Важной особенностью является наложение шума от нескольких источников улично-дорожной сети (рис. 7.) Уровень и характер шума неоднородны в пределах одной магистрали. Ключевыми точками наложения выступают перекрестки и транспортные кольца, дорожные развязки, где шумовой фон приобретает импульсный характер с резкими пиками, связанными с циклами разгона и торможения транспортных средств. Для данных зон характерны самые высокие показатели шума, превышающие 80 дБА, однако пиковые значения всегда наблюдаются на участках внутри проезжей части. Далее наблюдается закономерное затухание шума по мере удаления от источников.

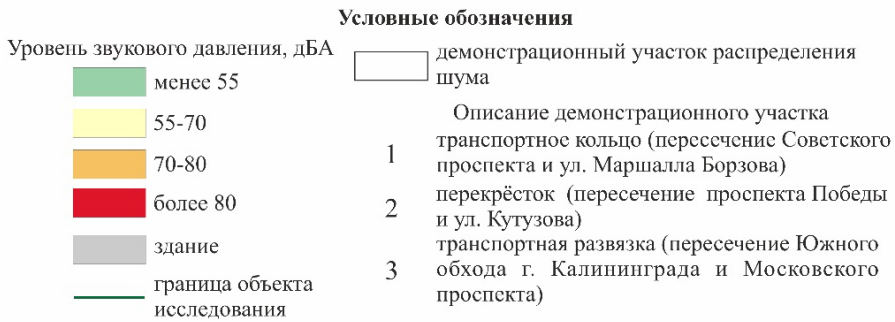
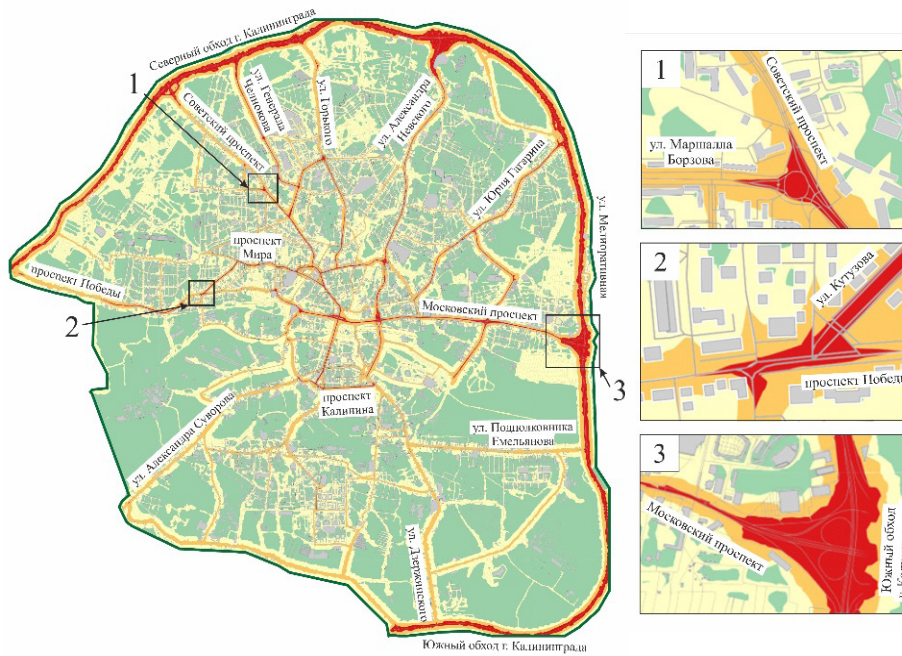


Рис. 7. Распространение шума на участках акустического наложения в границах Северного и Южного обходов, ул. Мелиоративной (Калининград)

Городская застройка выступает мощным фактором трансформации акустических полей, проявляя две противоположные закономерности. С одной стороны, в районах с плотной застройкой наблюдается эффект каньона, когда происходит многократное отражение звуковых волн от фасадов зданий. С другой стороны, застройка способна выполнять защитную функцию: эффект экранирования демонстрируют внутривдоровые пространства квартальной застройки (рис. 8).

Возникновение полноценных «акустических оазисов» с уровнем шума ниже 55 дБА происходит автоматически и зависит от комплекса факторов: закрытости двора, высоты и геометрии расположения экра-

нирующих зданий. Существование акустических оазисов критически важно для санитарно-гигиенического и психоэмоционального благополучия населения.

74

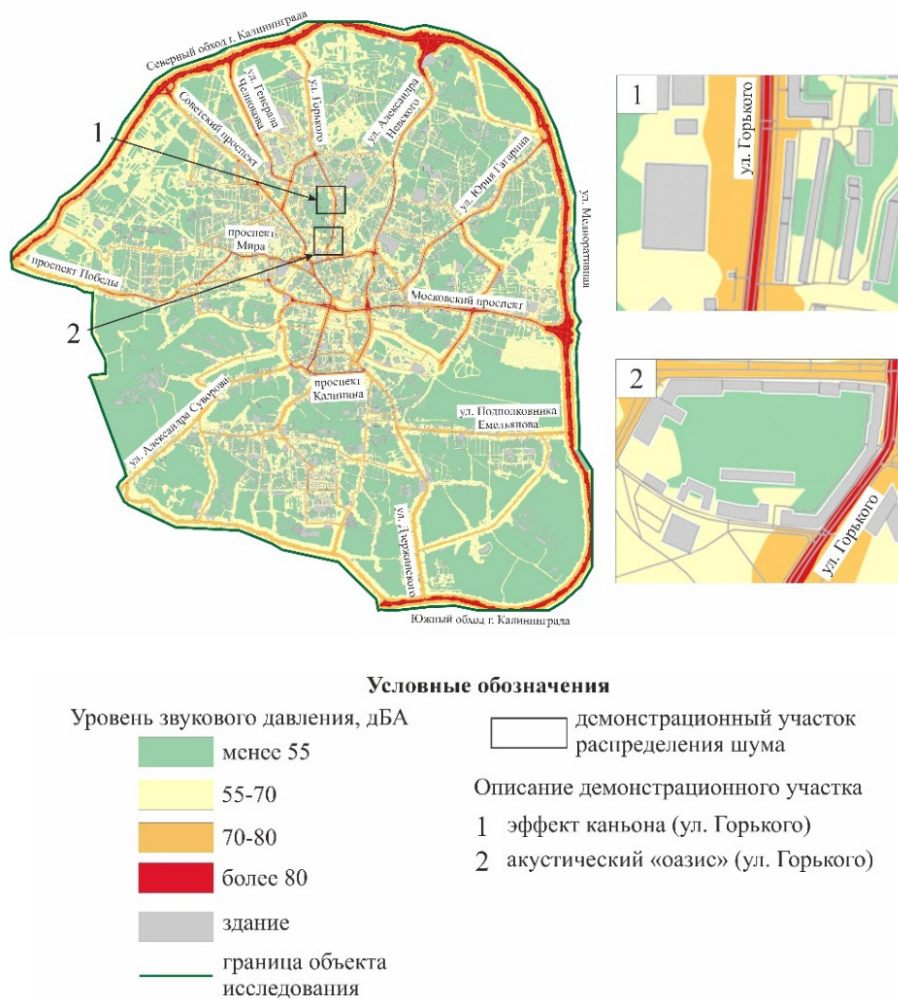


Рис. 8. Распространение шума в условиях экранирования в границах Северного и Южного обходов, ул. Мелиоративной (Калининград)

Анализ пространственного распределения транспортного шума в Калининграде позволил выявить систему взаимосвязанных закономерностей, формирующих акустический ландшафт города. Установлено, что радиально-кольцевая структура транспортного каркаса Калининграда определяет конфигурацию зон акустического дискомфорта, формируя устойчивый шумовой каркас вдоль основных магистралей с уровнями свыше 80 дБА при сохранении допустимых уровней звука ниже 55 дБА на экранированных внутридворовых территориях. Полученные результаты являются основой для разработки градостроительных решений по снижению шумового воздействия.



Заключение

Комплексный подход к оценке шумового загрязнения на основе сочетания натуральных наблюдений и специализированных программ позволяет оценить как текущую акустическую ситуацию, так и ее прогнозные изменения при различных сценариях (увеличение трафика, наличие акустических барьеров и др.)

С применением инструментального метода на участке со сложившейся инфраструктурой и высоким автомобильным трафиком (ул. Генерала Челнокова, ул. Елизаветинская) проведено акустическое зонирование территории. На 50 % территории отмечены показатели шумового давления, превышающие нормативы (менее 55 дБА), в том числе на 10 % – 72–78 дБА.

Для прогнозирования снижения шума в случае установки шумозащитных экранов на данном участке использован инструментальный платформенный метод NoiseTools. Расчеты показали снижение уровня звукового давления в среднем на 9,3 дБА, сокращение площади территории акустического дискомфорта на 15 %, уменьшение глубины проникновения шума во внутримногомное пространство.

Анализ распределения акустических полей от транспортных потоков с применением программного комплекса NoiseModelling позволил дифференцировать территорию города по уровням звукового давления с выявлением зон акустического дискомфорта: шумовое воздействие свыше 80 дБА отмечено на участках дорог с большой разрешенной скоростью, высокой пропускной способностью и наличием транспортных развязок; в диапазоне 70–80 дБА – в зонах, прилегающих к проезжей части улиц с менее интенсивным движением; 55–70 дБА – в переулках, в зонах частной малоэтажной застройки на парковках и проездах внутри жилых комплексов.

Список литературы

1. ГОСТ 23337-2014. Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий. Введ. 01.07.2015; с изм. от 01.06.2023. М., 2023.
2. Костромина Е.И., Пузырева А.В. Оценка шумового загрязнения селитебной территории от автомобильного транспорта в г. Шахты // Пожарная и технологическая безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2020. №1 (5). С. 350–354. EDN: ETSQWI.
3. Марголина И.Л., Климанова О.А. Шумовое воздействие от автотранспорта: комплексная оценка факторов в городской среде // Географическая среда и живые системы. 2022. №1. С. 40–54. doi: 10.18384/2712-7621-2022-1-40-54. EDN: TXRERB.
4. Об издании и применении ОДМ 218.2.013-2011 «Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам»: распоряжение Федерального дорожного агентства от 13 декабря 2012 г. №995-р. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».



5. Тараторин А. А. Шумовое загрязнение от автотранспорта: опыт моделирования и оценки в городской среде // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26, № 5. С. 60–66. doi: 10.18412/1816-0395-2022-5-60-66. EDN: IOHKUY.
6. *Alvares-Sanches T., Osborne P. E., White P. R.* Mobile surveys and machine learning can improve urban noise mapping: Beyond A-weighted measurements of exposure // Science of The Total Environment. 2021. Vol. 775. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145600.
7. *Aumond P., Bocher E., Ecotièrre D.* Improvement of city noise map production processes and sensitivity analysis to noise models inputs // EuroNoise 2021: 12th European Congress and Exposition on Noise Control Engineering. 2021. doi: 10.1016/j.apacoust.2018.04.017.
8. *Bastian-Monarca N. A., Suarez E., Arenas J. P.* Assessment of methods for simplified traffic noise mapping of small cities: Casework of the city of Valdivia, Chile // Science of The Total Environment. 2016. Vol. 550. P. 439–448. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.01.139.
9. *Can A., Aumond P., Becarie C.* Dynamic approach for the study of the spatial impact of road traffic noise at peak hours // Proceedings of the 23rd International Congress on Acoustics. Aachen, Germany. 2019. doi: 10.18154/RWTH-CONV-239322.
10. *Chen S., He P., Yu B.* The challenge of noise pollution in high-density urban areas: Relationship between 2D/3D urban morphology and noise perception // Building and Environment. 2024. Vol. 253. doi: 10.1016/j.buildenv.2024.111313.
11. *Chouksey A. K., Kumar B., Paridac M.* Measurement and prediction of road traffic noise at different floor levels of buildings in a mid-sized Indian city // Journal of Building Engineering. 2024. Vol. 92. doi: 10.1016/j.job.2024.109711.
12. *Dzhambov A. M., Lercher P., Botteldooren D.* Childhood sound disturbance and sleep problems in Alpine valleys with high levels of traffic exposures and greenspace // Environmental Research. 2024. Vol. 242. doi: 10.1016/j.envres.2023.117642.
13. *Gumelar R., Ramadhan T., Maknun J.* Evaluation of the Audial Comfort of the Mosque on the Cross-City Route: Al-Ghani Mosque Ciamis // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 1058, № 1. P. 012003. doi: 10.1088/1755-1315/1058/1/012003.
14. *Han X., Huang X., Liang H.* Analysis of the relationships between environmental noise and urban morphology // Environmental Pollution. 2018. Vol. 233. P. 755–763. doi: 10.1016/j.envpol.2017.10.126.
15. *Lesieur A., Aumond P., Mallet V.* Meta-modeling for urban noise mapping // Journal of the Acoustical Society of America. 2020. Vol. 148, № 6. P. 3671. doi: 10.1121/10.0002866.
16. *Lin M., Chau C., Tang S. K.* Determinants of soundscape quality of communal open space in Hong Kong // Building and Environment. 2025. Vol. 267, Part A. doi: 10.1016/j.buildenv.2024.112261.
17. *Morihara T., Sato T., Yano T.* Re-analysis of socio-acoustic survey data in Tomakomai: Seasonal effects of a tree belt on road traffic noise annoyance // Applied Acoustics. 2022. Vol. 196. doi: 10.1016/j.apacoust.2022.108861.
18. *Roscoe C., Grady S. T., Hart J. E.* Association between Noise and Cardiovascular Disease in a Nationwide U.S. Prospective Cohort Study of Women Followed from 1988 to 2018 // Environmental Health Perspectives. 2023. Vol. 131. doi: 10.1289/EHP12906.
19. *Shi J., Huang J., Guo M.* Contributions of residential traffic noise to depression and mental wellbeing in Hong Kong: A prospective cohort study // Environmental Pollution. 2023. Vol. 338. doi: 10.1016/j.envpol.2023.122641.



20. Stucki L., Helte E., Axelsson Ö. Long-term exposure to air pollution, road traffic noise and greenness, and incidence of myocardial infarction in women // Environment International. 2024. Vol. 190. doi: 10.1016/j.envint.2024.108878

Об авторах

Ирина Дмитриевна Нагурная — ведущий эколог отдела экологического проектирования Государственного автономного учреждения Калининградской области «Экологический центр «ЕКАТ-Калининград», Калининград, Россия; магистрант, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: inagurnaya@stud.kantiana.ru

Ирина Игоревна Волкова — канд. геогр. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: IVolkova@kantiana.ru

SPIN-код: 1999-5588

Татьяна Владимировна Шаплыгина — канд. геогр. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

ORCID: 0000-0002-6705-798X

E-mail: TSHaplygina@kantiana.ru

SPIN-код: 5854-5370

I. D. Nagurnaya^{1,2}, I. I. Volkova², T. V. Shaplygina²

FORMATION OF THE ACOUSTIC ENVIRONMENT IN RESIDENTIAL AREAS OF KALININGRAD UNDER THE INFLUENCE OF TRAFFIC FLOWS

¹ Environmental Centre of Administration and Technology
in Kaliningrad — ECAT-Kaliningrad, Kaliningrad, Russia

² Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

Received 16 February 2026

Accepted 28 March 2026

doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-4

To cite this article: Nagurnaya I. D., Volkova I. I., Shaplygina T. V., 2026, Formation of the Acoustic Environment in Residential Areas of Kaliningrad under the Influence of Traffic Flows, *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural Sciences*, №2. P. 59–78. doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-4.

The process of urbanization is accompanied by an increase in the density and intensity of traffic flows, which creates an elevated acoustic load on urban territories. The transport framework of Kaliningrad has a distinctly radial-ring structure that determines the configuration of zones of extreme acoustic discomfort. Using the NoiseTools platform, a predictive graphical model of an area with established infrastructure and high automobile traffic was constructed under the condition of applying noise-protection barriers. A projected decrease in the sound pressure level by 9.3 dBA, a 15 % reduction in the area of acoustic discomfort, and a



decrease in the depth of noise penetration into courtyard territories were identified. The use of the NoiseModelling software package for analyzing the distribution of acoustic fields generated by traffic flows made it possible to differentiate urban space according to sound pressure levels and to identify zones of acoustic discomfort. It was established that on 43 % of the territory of Kaliningrad, sound pressure levels exceed the нормативные значения, which is characteristic of areas adjacent to roads and transport highways.

Keywords: Kaliningrad, road traffic, noise pollution, acoustic mapping

The authors

78

Irina D. Nagurnaya, a leading ecologist, Project Design Department, Environmental Centre for Administration and Technology in Kaliningrad, Kaliningrad, Russia; Master degree student, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: inagurnaya@stud.kantiana.ru

Dr Irina I. Volkova, Associate Professor, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: IVolkova@kantiana.ru

SPIN-code: 1999-5588

Dr Tatiana V. Shaplygina, Associate Professor, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

ORCID: 0000-0002-6705-798X

E-mail: TSHaplygina@kantiana.ru

SPIN-code: 5854-5370

Ю. Ю. Полунина^{1, 2}, †С. М. Никитина²
А. В. Гуцин¹

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ
ОТДЕЛЬНЫХ АСПЕКТОВ НЕРЕСТА БАЛТИЙСКОЙ СЕЛЬДИ
НА МОДЕЛЬНЫЙ ВИД
ВЕТВИСТОУСЫХ РАКООБРАЗНЫХ

79

¹ Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Россия, Москва, Россия

² Балтийский федеральный университет им. И. Канта,
Калининград, Россия

Поступила в редакцию 14.08.2025 г.

Принята к публикации 25.12.2025 г.

doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-5

Для цитирования: Полунина Ю. Ю., Никитина С. М., Гуцин А. В. Экспериментальная оценка влияния отдельных аспектов нереста балтийской сельди на модельный вид ветвистоусых ракообразных // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2026. №2. С. 79–94. doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-5.

Проведены эксперименты по влиянию половых продуктов и воды, отобранных с места скопления нерестящейся балтийской сельди *Clupea harengus tembras* из Вислинского залива на выживаемость, рост, линьку, число яиц в выводковой камере и отрожденной молоди модельного вида планктонных ракообразных *Daphnia magna*. В первой серии экспериментов добавляли фиксированный объем суспензии половых продуктов самцов и самок салаки (гонады V стадии зрелости) в экспериментальные емкости и сравнивали с контролем. Во второй серии экспериментов дафний акклимировали к осолоненной воде (до 3 PSU), затем использовали их в контроле и эксперименте для оценки влияния воды с нерестилища салаки, отобранной в акватории залива. В средах с половыми продуктами салаки плодовитость дафний была значимо ниже контрольных величин. Рост дафний стимулировало добавление гонад самок (число линек в среднем 114%), а гонад самцов – угнетало (54%) относительно контроля (84%). Вода с нерестилища салаки не оказала существенного влияния на рост и частоту линек дафний, но достоверно стимулировала образование партеногенетических яиц в выводковой камере дафний (контроль 7.7, эксперимент 13, 0 яиц/самку/сутки). Выдвинута гипотеза, что половые продукты салаки, а также биологически активные соединения, попадающие в воды Вислинского залива при нересте, могут оказывать влияние на рост и плодовитость природных популяций ветвистоусых ракообразных.

Ключевые слова: нерест салаки, стероидные соединения, рост и плодовитость дафний, Вислинский залив



Введение

Одним из способов, с помощью которых гидробионты получают информацию об окружающей среде является химическая коммуникация, осуществляемая посредством гормонов, медиаторов, нейропептидов, феромонов и других биологически активных соединений. Химическая коммуникация может осуществляться между особями как одного вида, так и разных таксонов гидробионтов [1–6]. Первый этап коммуникации — хеморецепция — восприятие организмом обычно низких концентраций важных для его жизнедеятельности химических веществ. Установлено, что вода, содержащая кайромоны хищников, влияет на поведение, размеры особей, время достижения половозрелости, размер отрождаемой кладки, репродуктивные характеристики и запасание питательных веществ у рачкового зоопланктона [7–12]. Отдельные виды и группы беспозвоночных животных реагируют на экзогенные гормональные соединения позвоночных животных и человека [13–15], кроме того, изучены отдельные аспекты путей биосинтеза стероидов в тканях некоторых беспозвоночных животных [16–18].

В литературе приводятся единичные сведения о содержании стероидных соединений эстрагенной и андрогенной природы в среде обитания преднерестовых рыб, в водоемах при нересте рыб, и при размножении и выбросе половых продуктов беспозвоночных гидробионтов [19–25]. Идентифицированы и количественно определены отдельные стероидные гормоны в реках, а экотоксикологические эксперименты, проведенные в основном с рыбами, показали, что некоторые стероидные гормоны могут отрицательно влиять на их размножение [26–27]. Однако сведений о влиянии стероидных соединений эстрогенной и андрогенной структуры на беспозвоночных гидробионтов в природных водоемах практически нет. Ранее нами было выявлено воздействие некоторых экзогенных стероидных соединений на изменения темпов роста и плодовитость модельного вида ветвистоусых ракообразных *Daphnia magna* Str. в эксперименте. Эстрадиол ускорял рост и увеличивал плодовитость партеногенетических самок; тестостерон снижал число партеногенетических яиц; преднизолон снижал темпы роста особей, но почти не угнетал плодовитость [14; 28]. Полученные результаты позволили предположить, что природные популяции ветвистоусых ракообразных могут сходным образом реагировать на находящиеся в водоеме стероидные метаболиты позвоночных животных.

Нерест рыб может быть примером относительно одномоментного и массового появления в водоеме больших концентраций стероидных соединений. Мелководный Вислинский залив (средняя глубина 2,7 м) расположен в юго-восточной части Балтийского моря, представляет собой полузамкнутый солоноватоводный водоем, одно из основных нерестилищ балтийской сельди (салаки) *Clupea harengus membras* L. Массовый нерест салаки проходит в феврале—апреле при среднесуточной температуре воды в среднем 5,4 °С и солености 3,5 ‰ [29]. Численность и биомасса нерестового стада может достигать 130–412 млн экз. и 6–25,5 тыс. т, а абсолютная индивидуальная плодовитость самок салаки составлять до 58 тыс. икринок [29]. Во время нереста в воды залива



может поступать до 275,3 т половых продуктов, выделяемые нерестящимися особями [30]. Не все органическое вещество половых продуктов, поступивших в залив, используется непосредственно для воспроизводства рыбы. Часть органического вещества через пелагические или детритные пищевые цепи становится пищевым ресурсом для гидробионтов; часть накапливается в виде органической составляющей илов и впоследствии минерализуется. Сопутствующие нересту рыб биологические активные соединения стероидной и пептидной природы, попадающие в воду, могут стимулировать или подавлять развитие гидробионтов, в том числе зоопланктона. Однако эти аспекты влияния массового нереста салаки на экосистему залива до настоящего времени не исследованы.

Цель работы — экспериментально изучить влияние половых продуктов и воды, отобранной в нерестовом скоплении салаки *Cl. harengus tembras* из Вислинского залива на рост и размножение модельного вида ветвистоусых ракообразных *Daphnia magna*.

Материал и методы исследования

Экспериментальные работы проводили весной 2012 г. в аквариальной лаборатории Атлантического отделения института океанологии им. П. П. Ширшова (АО ИО РАН), где содержалась культура модельного вида ветвистоусых ракообразных *D. magna*. Монокультуру, полученную от одной самки, содержали в аквариуме объемом 50 л с предварительно подготовленной и постоянно аэрированной водопроводной водой. Кормление дафний производили суспензией хлебопекарных дрожжей или микроводорослью *Chlorella* spp. 2–3 раза в неделю. Температура воды в аквариуме составляла $21 \pm 1,5^\circ\text{C}$.

Регистрируемые показатели в эксперименте.

1. Выживаемость особей. Рассчитывалась доля живых особей от общего числа (%) в экспериментальной емкости (далее — ЭЕ).

2. Темп роста дафний. Измеряли размер каждой особи в каждую съемку данных (мм).

3. Линьки (по числу сброшенных карапаксов). Рассчитывали долю отлинявших особей от общего числа (%), то есть 100 % означает, что число карапаксов равно числу особей в ЭЕ.

4. Число яиц у самок в выводковой камере (потенциальная плодовитость). У каждой самки подсчитывали число яиц в выводковой камере (экз./самка/сутки), затем рассчитывали среднее число яиц в каждой ЭЕ.

5. Число отрожденной молодежи (реальная плодовитость) — число молодежи (экз./самка/сутки) в ЭЕ. Молодь отсаживали, а в ЭЕ оставляли только экспериментальные особи.

Всех дафний измеряли и просматривали под микроскопом МБС-9 при увеличении в 56 раз.

Условия проведения экспериментов: использовали аэрированную отстоянную водопроводную воду, и воду, отобранную из залива и профильтрованную через газ с размером ячеек 100 мкм для очистки от взвеси.

Для контроля и экспериментов из аквариума с монокультуры дафний случайным образом отбирали молодежь (неполовозрелых особей) размером 0,4–0,5 мм. В предварительно подготовленные стеклянные



емкости, наполненные отстоянной водопроводной водой, объемом 0,5 л помещали по 10 особей. ЭЕ располагалась возле источника искусственного света. Ежедневно в них регистрировалась температура воды. Три раза в неделю происходило аэрирование воздухом экспериментальных емкостей, а также внесение корма: суспензии хлебопекарных дрожжей или микроводоросли *Chlorella* spp.

Всего в эксперименте участвовало 150 равноразмерных особей дафний (табл.).

Объем материала в эксперименте

Экспериментальные среды	Экспериментальные емкости	Число дафний
Контрольная с пресной водой	3	30
Контрольная с осолоненной водой	3	30
С добавлением водной суспензии гонад самок салаки (♀)	3	30
С добавлением водной суспензии гонад самцов салаки (♂)	3	30
С водой из залива, отобранной во время взятия улова салаки из ставника при нересте	3	30
<i>Всего</i>	15	150

Длительность экспериментов составляла 18–22 дня. Данные фиксировали через сутки. Эксперимент состоял из двух частей.

Эксперимент 1. С половыми продуктами салаки.

Из свежельвленной рыбы отбирали гонады текучих самцов и самок на V стадии зрелости половых продуктов. Затем готовили из них суспензию: по 1 г гонад самок (♀) или самцов (♂) растирали в ступке, помещали растертое содержимое в пробирку и разводили водой до 10 мл. Затем навески тщательно взбалтывали и добавляли по 2 мл полученной суспензии в экспериментальные емкости с дафниями.

Схема эксперимента:

- 1) контроль (три емкости, в каждой из которых по 10 особей дафний);
- 2) эксперимент с гонадами ♀ (три емкости, в каждой из которых по 10 особей дафний);
- 3) эксперимент с гонадами ♂ (три емкости, в каждой из которых по 10 особей дафний).

Всего в этом эксперименте использовано 90 особей. Наблюдения проводили в течении 18 суток.

Эксперимент 2. С водой, отобранной при нересте салаки из Вислинского залива.

Дафнии заранее были акклимированы к солоноватой воде залива с соленостью до 3 PSU, поскольку этот вид способен обитать в водах с соленостью до 6 PSU. Вода из залива была отобрана до нереста салаки 06.03.2012 г. в районе поселка Прибрежный (54°39'14 с.ш. 20°21'06 в.д.). Соленость воды ~3 PSU, определяли STD-зондом Idranaut 320. Воду процеживали через капроновое сито с размером ячеек 100 мкм для удале-



ния взвеси и планктона, и в отдельный аквариум с этой водой помещали дафний из монокультуры. Выдерживали культуру дафний в осолоненной воде около трех недель. Затем молодь дафний из этой культуры использовали в контроле и в эксперименте с водой с места нерестилища салаки.

Вода в районе нерестилища салаки была отобрана 25–26.04.2012 г. на малом рыболовном боте рыболовецкого колхоза «За Родину» во время взятия улова салаки из ставняка в районе полуострова Бальга (54°34'20 с. ш. 20°04'50 в. д.). В процессе наблюдали нерест салаки на сетное полотно ставника и помутнение воды от большого количества молок и плавающую икру. Воду отбирали ведром у сетной стенки ставника, затем переливали в чистые пластиковые канистры и транспортировали в лабораторию. Соленость воды составляла ~3 PSU. Воду процеживали через сито с ячейей 100 мкм, затем туда помещали дафний.

Схема эксперимента:

- 1) контроль (три емкости, в каждой из которых по 10 особей дафний в осолоненной воде);
- 2) эксперимент с водой из нерестилища салаки (три емкости, в каждой из которых по 10 особей дафний).

Наблюдения проводили в течение 22 дней.

Для статистического анализа данных рассчитывали средние показатели, ошибку среднего, применяли статистический метод ANOVA для определения статистически значимых отличий экспериментальных и контрольных групп в MS Office Exel 2010 и SPSS Statistics 23.0.

Результаты и обсуждение

Эксперимент 1.

Существенного изменения выживаемости дафний в среде с добавлением суспензии половых продуктов (далее – ПП) салаки относительно контроля не наблюдали. В контроле выживаемость в среднем составила $81 \pm 12\%$, в экспериментах с ПП самок выживаемость составила $68 \pm 19\%$, в экспериментах с ПП самцов – $61 \pm 28\%$. Значимых отличий между контролем и экспериментальными группами не выявлено ($F=0,88$ при $p=0,43$; F -критическое = 3,40)

Рост *D. magna* в контроле на протяжении 16 дней происходил равномерно (линейно). В эксперименте с ПП самок салаки со 2-х по 9-е сутки рост был интенсивнее, чем в контроле, а на 9-е сутки произошло снижение показателей роста, однако отличия не были достоверны. В эксперименте с ПП самцов рост был ниже контроля, на 4-е сутки он достиг контроля и роста дафний в эксперименте с гонадами самок. На 6-е сутки в эксперименте с ПП самцов произошло отставание в росте. За время эксперимента дафнии в среднем в контроле выросли на 0,84 мм, в эксперименте с ПП самок – на 0,53 мм, в эксперименте с ПП самцов – на 0,63 мм. Максимальный рост дафний наблюдался в контроле. В экспериментах с ПП рыбы рост дафний в среднем был ниже контрольных показателей, однако значимые отличия выявлены только в экспериментальной группе с ПП самцов в первые два дня и с 8-го по 16-й день (рис. 1).

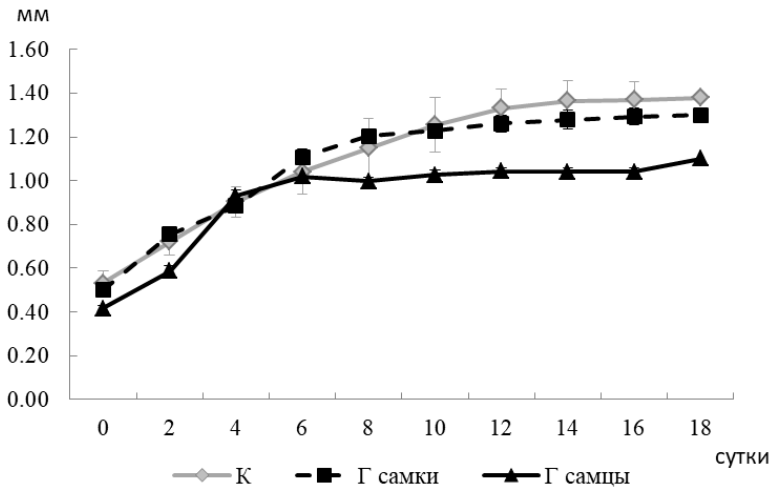


Рис. 1. Рост дафний в контроле и в экспериментах с половыми продуктами салаки: К — контроль; Г самки — эксперименты с ПП самок салаки; Г самцы — эксперименты с ПП самцов салаки

Рост дафний происходит посредством линек, число линек рассчитывали по числу сброшенных карапаксов. В контроле сброс карапаксов происходил последовательно и регулярно. В эксперименте с ПП самок сброс карапаксов происходил почти наравне с контролем со 2-е по 10-е сутки, после чего частота линек резко возрасла. В целом ПП самок стимулировали линьки, особенно в конце эксперимента. Число линек в экспериментах с ПП самцов было меньше по сравнению как с контролем, так и с экспериментом с икрой салаки, вплоть до отсутствия линек. Среднее количество линек дафний в контроле составило в среднем 83 %, в эксперименте с ПП самок — 114 %, в эксперименте с ПП самцов — 54 % (рис. 2). Выявлены значимые отличия числа линек в экспериментальных группах по сравнению с контролем ($F = 5,88$ при $p = 0,02$; F -критическое = 3,42).

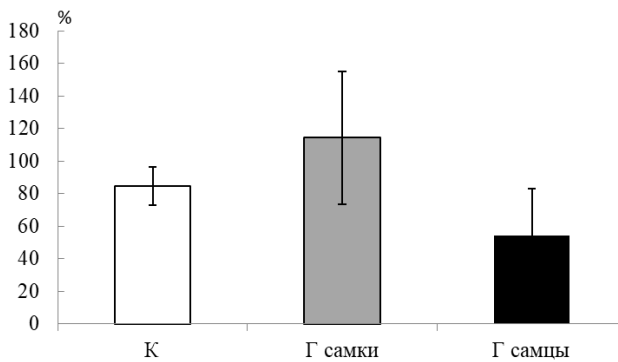


Рис. 2. Средний процент линек дафний в контроле и в эксперименте: К — контроль; Г самки — эксперименты с ПП самок салаки; Г самцы — эксперименты с ПП самцов салаки



Плодовитость дафний, включая потенциальную (число яиц в выводковой камере) и реальную (число отрожденной молодежи) в средах с ПП салаки была ниже контрольных показателей. Появление яиц у самок в контроле и в экспериментах с ПП самок начиналось на 4-е сутки: при росте, равном в контроле 0,90 мм, а в экспериментах с ПП самок — 0,88 мм. В экспериментах с ПП самцов появление яиц начиналось со 2-х суток при росте 0,59 мм. Максимальное число яиц в выводковой камере дафний отмечено в контроле, минимальное — в среде с добавлением ПП самцов (рис. 3). В экспериментах с ПП самок число яиц на самку было больше, чем в экспериментах с ПП самцов, но меньше, чем в контроле.

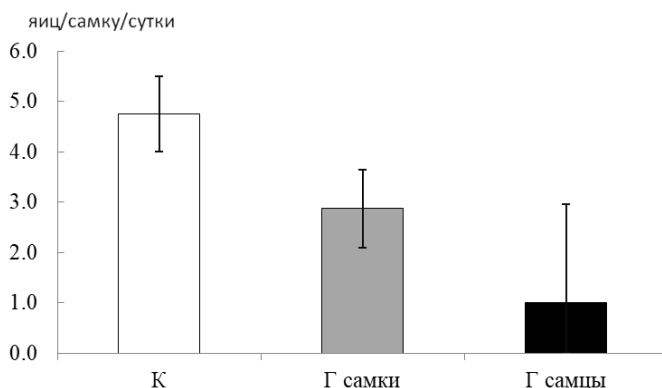


Рис. 3. Среднее число яиц в выводковой камере дафний в сутки:
 К — контроль; Г самки — эксперименты с ПП самок салаки;
 Г самцы — эксперименты с ПП самцов салаки

В среднем за весь период эксперимента в выводковой камере дафний в контроле было зарегистрировано 4,8 яиц/самку, в экспериментах с ПП самок — 2,9 яиц/самку, в экспериментах с ПП самцов — 1,0 яиц/самку. Отмечено значимое снижение числа яиц в экспериментах по сравнению с контролем ($F=4,28$ при $p=0,03$; F -критическое = 3,44).

Отрождение молодежи в контроле начиналось с 4-х суток. Большое число молодежи было отмечено на 16-е и 18-е сутки. Максимальное количество отрожденной молодежи в контроле было зарегистрировано на 18-е сутки и составило в среднем $6,3 \pm 0,7$ молодежи/самку. В экспериментах с добавлением ПП самок отрождение молодежи начиналось на 6-е сутки и было относительно высоким в период с 8-х по 12-е сутки, однако по сравнению с контролем различия были недостоверны. В экспериментах с ПП самцов отрождения молодежи не происходило (рис. 4).

В контроле было зарегистрировано в среднем 3,2 молодежи/самку/сутки, в экспериментах с ПП самки — 1,9 молодежи/самку/сутки, в эксперименте с ПП самцов отрождения молодежи не произошло. В эксперименте с ПП самок наблюдали уменьшение отрождения молодежи по сравнению с контролем на 1,3 молодежи/самку/сутки в среднем. Особенно существенное негативное воздействие на плодовитость партеногенетических дафний оказали ПП самцов, вплоть до полного отсутствия отрожденной молодежи (рис. 5).

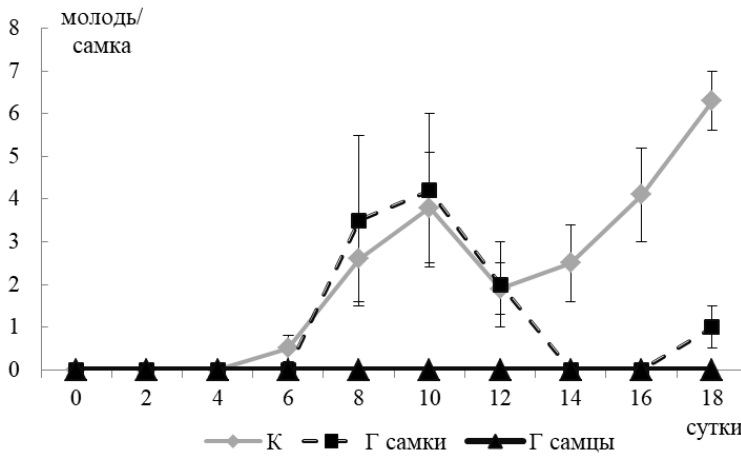


Рис. 4. Средняя реальная плодовитость дафний в контроле и эксперименте: К – контроль; Г самки – эксперименты с ПП самок салаки; Г самцы – эксперименты с ПП самцов салаки

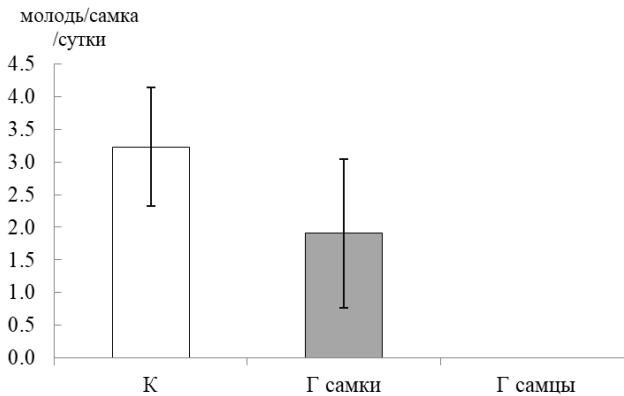


Рис. 5. Среднее число отрожденной молоди в контроле и эксперименте: К – контроль; Г самки – эксперименты с ПП самок салаки; Г самцы – эксперименты с ПП самцов салаки

Эксперимент 2.

Вода с места нереста салаки из Вислинского залива не оказала существенного влияния на выживаемость дафний. В контроле она составила 56 %, в воде с нерестилища салаки – 59 %. Было выявлено стимулирующее воздействие на рост дафний: рост рачков в эксперименте до 8-х суток был ниже контрольных показателей, после чего произошел резкий скачок роста дафний выше контрольных величин. За 22 дня эксперимента дафнии в контроле выросли на 0,84 мм, в воде с места нерестилища салаки – на 0,95 мм (рис. 6), то есть прирост составил 0,11 мм относительно показателя в контроле. Однако значимых отличий роста дафний в контроле и эксперименте не выявлено ($F=0,08$ при $p=0,77$; F -критическое = 4,3).

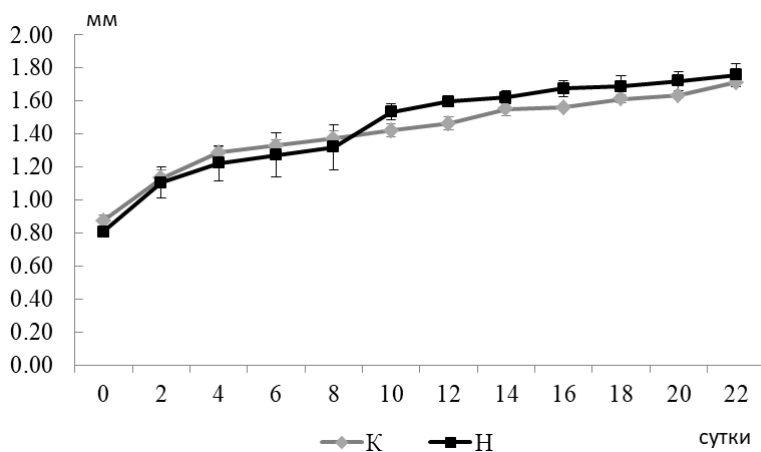


Рис. 6. Рост дафний в контроле и в воде с нерестилища салаки:

К – контроль; Н – вода с нерестилища

В контроле наблюдали значительные изменения частоты линек дафний. Были отмечены три пика сброса карапаксов: в 1-е, 16-е и 22-е сутки. Максимальный сброс карапаксов в контроле наблюдали на 16-й день, он составил 150 % за сутки (то есть за это время некоторые особи отлиняли дважды). В воде из места нереста салаки наблюдали два пика сброса карапаксов: на 2-е и 6-е сутки. Максимум линек (133 %) отмечен на 2-е сутки эксперимента. Среднее число линек дафний в контроле составило 90 %, в эксперименте – 74 %. Число линек в целом в эксперименте было несколько ниже контрольных показателей, но значимых отличий не выявлено.

Потенциальная плодовитость дафний (число яиц в выводковой камере) в воде из нерестилища салаки была выше контрольных величин почти в два раза. Появление яиц в контроле начиналось у самок на 2-е сутки при росте особей 1,13 мм, в эксперименте – на 1-е сутки при росте 0,81 мм. В нерестовой воде наблюдали большее количество яиц по сравнению с контролем. Максимальное их число в контроле было зарегистрировано на 18-е сутки (17,5 яиц/самку/сутки), в эксперименте – на 16-е сутки (25 яиц/самку/сутки). В выводковой камере в контроле было зарегистрировано в среднем 7,7 яиц/самку/сутки, а в воде с места скопления нерестовой салаки – 13 яиц/самку/сутки. В воде из нерестилища салаки по сравнению с контролем наблюдалось увеличение количества яиц в выводковой камере на 5,3 яйца/самку/сутки в среднем (рис 7, а). Выявлены значимые отличия этого показателя в эксперименте и контроле ($F=4,38$ при $p=0,03$; F -критическое = 3,22).

Реальная плодовитость в контроле и в воде с места нереста было схожа и составила в среднем 6,5 молоди/самку/сутки. В контроле отрождение молоди начиналось с 4-х суток, и максимальное ее число было зарегистрировано на 20-е сутки, в среднем 14,5 молоди/самку. В экспериментальной группе отрождение молоди начиналось со 2-х суток, мак-



симальное число отмечено на 18-е сутки и составило 18 молоди/самку в среднем (рис. 7, б). Значимых отличий не выявлено ($F = 3,88$ при $p = 0,55$; F -критическое = 4,5).

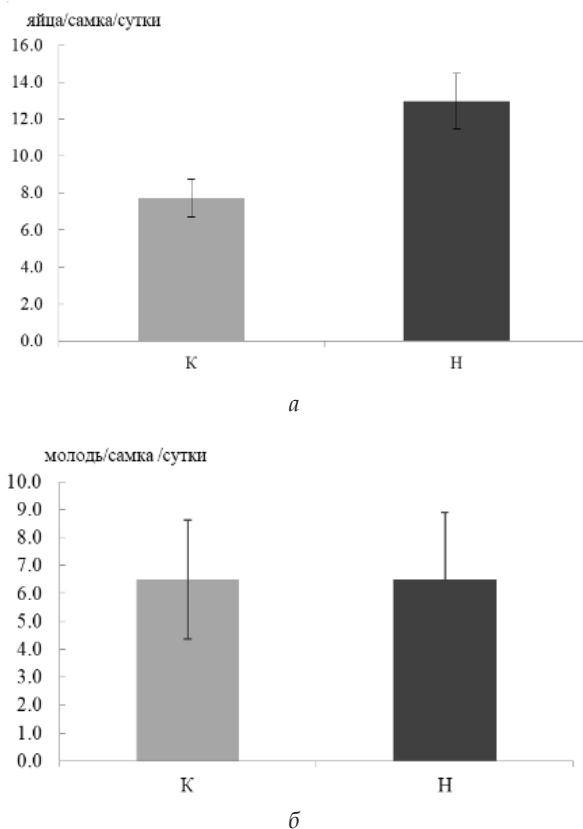


Рис. 7. Среднее число яиц в выводковой камере дафний (а) и отрожденной молоди (б) в сутки: К – контроль; Н – вода с нерестилища

В целом за всю продолжительность эксперимента (22 суток) в выводковых камерах дафний в контроле было зарегистрировано в среднем 88 яиц/самку, а отрожденной молоди – 65 молоди/самку. В воде из места нереста салаки отмечено 152 яйца/самку, а отрожденной молоди – 76 молоди/самку. Вода из места нереста салаки значительно стимулировала образование яиц в выводковой камере дафний (почти в 2 раза выше контрольных величин), но молоди отрождалось практически одинаковое количество как в эксперименте, так и в контроле. То есть в экспериментальной группе происходила резорбция яиц, явление, которое наблюдается у дафний при неблагоприятных условиях обитания.

Большинство показателей у дафний (рост, линьки, плодовитость) в средах с добавлением суспензии из гонад самок и самцов салаки были ниже контрольных величин. При этом, в экспериментах с ПП самцов показатели роста и плодовитости дафний были особенно угнетены. Известно, что андрогены у позвоночных могут вызывать частичную атро-



фию яичников, бесплодие, а в высоких концентрациях даже смертность самок [30]. Возможно, половые стероидные гормоны (преимущественно 11-кетотестостерон и тестостерон), вырабатываемые клетками Лейдига в семенниках рыбы, могут вызывать сходные явления у самок дафний.

Вода с нерестилища салаки не снижала выживаемость дафний, не оказала существенного влияния на их рост и частоту линек. В то же время отмечено стимулирующее влияние этой воды на образование яиц в яичнике партеногенетических дафний, при этом число отрожденной молодежи было сопоставимо с контрольными величинами, существенного прироста не отмечено — наблюдалась резорбция яиц. Такое явление ранее происходило в экспериментах на дафниях с влиянием экзогенных стероидных соединений: преднизолон и тестостерон достоверно вызывали резорбцию партеногенетических яиц [28]. В природной среде резорбция яиц у кладоцер может происходить при ухудшении среды обитания, нехватке питательных веществ, и, возможно, влиянии отдельных химических соединений.

В настоящее время предложены методики оценки количественного содержания стероидных соединений в сточных водах очистных сооружений и поверхностных водах; рассматриваются пути трансформации и способности к биологическому разложению этих стероидов при обработке активным илом; выявлены некоторые негативные последствия для гидробионтов, преимущественно рыб [27; 31; 32]. Исследования на беспозвоночных животных проводились фрагментарно, несмотря на то, что эта группа составляет почти 95 % известных видов животного мира и является чрезвычайно важными с точки зрения структуры и функционирования экосистемы. В литературе приводятся сведения о воздействии некоторых химических веществ, в том числе стероидной природы, на эндокринную систему беспозвоночных отдельных видов, а также промышленных соединений на морских животных [15; 33–36]. Практически не исследовано влияние на беспозвоночных гидробионтов природных массовых скоплений половых продуктов при нересте и сопутствующих им биологически активных соединений стероидной природы в водоемах.

В Вислинский залив на нерест, который длится два-три месяца, заходит по средним многолетним данным около 5493,1 т салаки в год, при этом в залив поступает от 43,4 до 125,9 т (в среднем 76,7 т) сухого органического вещества половых продуктов салаки [30]. Такое их количество, а также сопутствующие биологически активные вещества, поступающая в воды залива, могут оказывать влияние на гидробионтов. Ранее были идентифицированы некоторые стероидные соединения в экспериментальной среде обитания преднерестовых рыб эстрогенной и андрогенной природы: этиохоланолон, II-оксо-тестостерон, андростендион, 11-кетотестостерон, тестостерон [19–21]. В Вислинском заливе идентификация и количественное содержание стероидных соединений почти не проводились. Были получены предварительные результаты о наличии стероидных соединений (прогестерон, тестостерон и эстрадиол) в воде из нерестовых скоплений рыб методом тонкоструйной хроматографии, однако данные не опубликованы (устное сообщение Н. В. Чибисовой, БФУ им. И. Канта). Для развития этой тематики необ-



ходимо идентифицировать и количественно определить стероидные соединения, которые могут присутствовать в нерестовых скоплениях салаки в Вислинском заливе.

Представленная работа может стать точкой отсчета для дальнейшего изучения разных аспектов воздействия массового нереста рыб на беспозвоночных гидробионтов, в частности влияния биологически активных стероидных соединений, выделяемых в процессе нереста.

Выявленные изменения темпов роста и плодовитости дафний при воздействии отдельных экзогенных стероидных соединений [14; 15; 28], половых продуктов рыб, воды с места скопления нерестового стада рыб в эксперименте, а также наличие сходных по структуре стероидов в преднерестовых и нерестовых скоплениях рыб [19-21] позволяют нам выдвинуть гипотезу о возможном влиянии стероидных соединений, попадающих в водоем при массовом нересте рыб, на рост и плодовитость планктонных ракообразных. Вероятно, нерест рыб в полузамкнутых или замкнутых водоемах может быть одним из факторов регуляции численности и биомассы планктонных ракообразных, составляющих кормовую базу питания мальков.

90

Заключение

Выявлены изменения темпов роста и плодовитости модельного вида ветвистоусых ракообразных *D. magna* в связи с воздействием половых продуктов и воды с нерестового скопления салаки *Cl. harengus membras* из Вислинского залива. Значимых отличий на выживаемость дафний в экспериментах не выявлено. В средах с добавлением суспензии гонад салаки рост, линьки, плодовитость дафний были ниже контрольных величин. При этом в экспериментах с ПП самцов салаки показатели роста и плодовитости дафний были особенно угнетены, вплоть до полного отсутствия размножения. Вода с нерестилища салаки не оказала существенного влияния на рост дафний и частоту линек, но достоверно стимулировала образование яиц партеногенетических дафний. Однако число отрожденной молодежи было сопоставимо с контрольными величинами, что, вероятно, обусловлено резорбцией яиц. На основании полученных экспериментальных и литературных данных выдвинута гипотеза, что половые продукты салаки, а также биологически активные соединения, попадающие в воды Вислинского залива при нересте, могут оказывать влияние на рост и плодовитость природных популяций ветвистоусых ракообразных.

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ИО РАН (тема FMWE-2024-0025).

Список литературы

1. Зеликман Э.А. Нетрофические регуляторные взаимоотношения у морских беспозвоночных // Биология океана. Т. 2 : Биологическая продуктивность океана / отв. ред. М.Е. Виноградов. М., 1977. С. 23 – 33.



2. Кулаковский Э. Е. Адаптация как проявление информационных связей в живых системах // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2000. №36 (4). С. 362–366.
3. Larsson P., Dodson S. Invited Review Chemical communication in planctonic // Arch. Hydrobiol. 1993. №2. P. 129–155.
4. Задерев Е. С. Химические взаимодействия среди планктонных ракообразных // Журнал общей биологии. 2002. Т. 63, №2. С. 159–167.
5. Helgenn J. C. Feeding rate inhibition in crowded *Daphnia pulex* // Hydrobiologia. 1987. №154. P. 113–119.
6. Задерев Е. С., Губанов В. Г. Влияние плотности популяции *Moina macroscopa* (Cladocera) и пищевой обеспеченности на смену способа размножения у *M. macroscopa* // Экология. 1995. №6. С. 412–414.
7. Арбачаускас К., Мажейка В., Палайма А. Влияние метаболитов караса (*Carassius carassicus*) на характеристики жизненного цикла *Daphnia pulex* // Проблемы гидроэкологии на рубеже веков : тез. докладов междунар. конф. 2000. С. 12–13.
8. Dodson S. I. The ecological role of chemical stimuli for the zooplankton: Predator-induced morphology in *Daphnia* // Oecologia. 1989. №78. P. 361–367. doi: 10.1007/BF00379110.
9. Larsson P. Intraspecific variability in response to stimuli for male and ephippial formation in *Daphnia pulex* // Hydrobiologia. 1991. Vol. 225. P. 281–300.
10. Loose C. J., Von Elert E., Dawidowicz P. Chemically-induced diel vertical migration in *Daphnia*: a new bioassay for kairomones exuded by fish // Archiv. Hydrobiol. 1993. Vol. 126. P. 329–337.
11. Slusarczyk M. Predator-induced diapause in *Daphnia* // Ecology. 1995. Vol. 76, №3. P. 1008–1013.
12. Blaustein L. Non-consumptive effects of larval *Salamandra* on crustacean prey: can eggs detach predators? // Oecologia. 1997. №110. P. 212–217.
13. Никитина С. М. Реакция свободноживущих гидробионтов на биологически активные вещества естественного и антропогенного происхождения // Вестник БФУ им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2010. №7. С. 51–57.
14. Никитина С. М. Биологически активные стероидные соединения беспозвоночных животных. Калининград, 2019.
15. Никитина С. М., Полунина Ю. Ю. Комплекс стероидных гормонов у беспозвоночных гидробионтов // Биология внутренних вод. 2024. Т. 17, №4. С. 648–660. doi: 10.31857/S0320965224040138.
16. Scott A. P. Is there any value in measuring vertebrate steroids in invertebrates? // Gen. and Comp. Endocrinol. 2018. Vol. 265. P. 77. doi: 10.1016/j.ygcen.2018.04.005
17. Fodor I., Urbán P., Scott A. P., Pirger Z. A. A critical evaluation of some of the recent so-called 'evidence' for the involvement of vertebrate-type sex steroids in the reproduction of mollusks // Mol. Cell. Endocrinol. 2020. Vol. 516. P. 110949. doi: 10.1016/j.mce.2020.110949.
18. Fodor I., Pirger Z. From dark to light-an overview of over 70 years of endocrine disruption research on marine mollusks // Frontiers in Endocrinol. 2022. Vol. 13. P. 903575. doi: 10.3389/fendo.2022.903575.
19. Belanger A. J. An electro-olfactogram investigation of the responses of female round gobies (*Neogobius melanostomus*) to conspecific odours and putative sex pheromones // MS Thesis. Windsor, 2003.



20. Arbuckle W.J., Belanger A.J., Corkum L.D. et al. In vitro biosynthesis of novel 5 β -reduced steroids by the testis of the round goby, *Neogobius melanostomus* // Gen. Comp. Endocrinol. 2005. Vol. 140. P. 1–13.
21. Corkum L.D., Meunier B., Moscicki M. et al. Behavioural responses of female round gobies (*Neogobius melanostomus*) to putative steroidal pheromones // Koninklijke Brill NV, Leiden. 2008. №145. P. 1347–1365.
22. Twan W.-H., Wu H.-F., Hwang J.-S. et al. Corals have already evolved the vertebrate type hormone system in the sexual reproduction // Fish Physiol. and Biochem. 2005. Vol. 31, №2-3. P. 111. doi: 10.1007/s10695-006-7591-1.
23. Twan W.-H., Hwang J.-S., Lee Y.-H. Hormones and reproduction in scleractinian corals // Comp. Biochem. and Physiol. Part A. Mol. and Integr. Physiol. 2006. Vol. 144. P. 247. doi: 10.1016/j.cbpa.2006.01.011.
24. Ketata I., Guermazi F., Rebai T. et al. Variation of steroid concentrations during the reproductive cycle of the clam *Ruditapes decussatus*: A one year study in the gulf of Gabès area // J. Comp. Biochem. 2007. Vol. 147. P. 424. doi: 10.1016/j.cbpa.2007.01.017.
25. Bing-hui Z., Li-hui A., Chang H. et al. Evidence for the presence of sex steroid hormones in Zhikong scallop, *Chlamys farreri* // J. Steroid Biochem. 2014. Vol. 143. P. 199. doi: 10.1016/j.jsbmb.2014.03.002.
26. Ojogoro J.O., Scrimshaw M.D., Sumpter J.P. Steroid hormones in the aquatic environment // Science of The Total Environment. 2021. Vol. 792. P. 148306. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148306.
27. Weizel A. Steroid hormones in the aquatic environment. Analysis, occurrence and fate of corticosteroids and progesterone. Universität Koblenz-Landau, 2021.
28. Полунина Ю.Ю., Никитина С.М. Влияние стероидных соединений на темпы роста и плодовитость ветвистоусых ракообразных (*Cladocera*) // Вода: химия и экология. 2014, №6. С. 68–75.
29. Красовская Н.В. Особенности динамики численности салаки в Вислинском заливе // Экологические рыбохозяйственные исследования в Вислинском заливе Балтийского моря. Калининград, 1992. С. 121–150.
30. Гуцин А.В., Полунина Ю.Ю. Вклад органического вещества половых продуктов сельди-салаки *Clupea harengus tembras*, поступающих в экосистему Вислинского залива при нересте // Гидрометеорология и экология. 2022. №67. С. 243–255. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-243-255.
31. Fent K. Progesterins as endocrine disrupters in aquatic ecosystems: Concentrations, effects and risk assessment // Environment International. 2015. Vol. 84. P. 115–130.
32. Kumar V., Johnson A.C., Trubiroha A. et al. The Challenge Presented by Progesterins in Ecotoxicological Research: A Critical Review // Environmental Science and Technology. 2015. Vol. 49 (5). P. 2625–2638.
33. DeFur P.L., Crane M., Ingersoll C., Tattersfield L. Endocrine disruption in invertebrates: endocrinology, testing, and assessment. Pensacola, 1999.
34. DeFur P. Use and role of invertebrate models in endocrine disruptor research and testing // ILAR. 2004. Vol. 45. P. 484–492.
35. Oehlmann J., Schulte-Oehlmann U. Endocrine disruption in invertebrates // Pure Appl Chem 2003. Vol. 75. P. 2207–2218.
36. Oetken M., Bachmann J., Schulte-Oehlmann U., Oehlmann J. Evidence for endocrine disruption in invertebrates // Int Rev Cytol. 2004. Vol. 236. P. 1–44.



Об авторах

Юлия Юрьевна Полунина — канд. биол. наук, Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Россия.

ORCID: 0000-0002-8157-9522

E-mail: jul_polunina@mail.ru

SPIN-код: 9215-9419

Светлана Михайловна Никитина — д-р биол., проф.-консультант, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: swetmih@gmail.com

SPIN-код: 4413-6946

Алексей Витальевич Гуцин — канд. биол. наук, ст. науч. сотр., Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Россия.

E-mail: iraimrop@mail.ru

SPIN-код: 7979-6800

Ju. Ju. Polunina^{1,2}, *†S. M. Nikitina*², *A. V. Gushchin*¹

EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF CERTAIN ASPECTS OF BALTIC HERRING SPAWNING ON THE MODEL SPECIES OF CLADOCERANS

¹ Institute of Oceanology P. P. Shirshov, Russian Academy of Sciences

² Immanuel Kant Baltic Federal University

Received 14 August 2025

Accepted 25 December 2025

doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-5

To cite this article: Polunina Ju. Ju., Nikitina S. M., Gushchin A. V., 2026, Experimental assessment of the influence of certain aspects of baltic herring spawning on the model species of cladocerans, *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural Sciences*, №2. P. 79 – 94. doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-5.

*Experiments were conducted to investigate the influence of gametes and water collected from spawning aggregations of the Baltic herring *Clupea harengus membras* in the Vistula Lagoon on the survival, growth, molting frequency, number of eggs in the brood chamber, and offspring production of the model planktonic crustacean species *Daphnia magna*. In the first series of experiments, a fixed volume of a suspension of gametes from male and female Baltic herring (gonads at stage V of maturity) was added to the experimental containers and compared with the control. In the second series of experiments, daphnids were acclimated to brackish water (up to 3 PSU), after which they were used in the control and experimental groups to assess the effect of water collected from Baltic herring spawning grounds in the lagoon area. In media containing Baltic herring gametes, the fecundity of daphnids was significantly lower than the control values. The growth of daphnids was stimulated by the addition of female gonads (average molting frequency 114 %), whereas the addition of male gonads inhibited growth (54 % relative to the control (84 %)). Water collected from the Baltic herring spawning grounds did*



not exert a significant effect on the growth or molting frequency of daphnids, but it significantly stimulated the production of parthenogenetic eggs in the brood chamber of daphnids (control: 7.7; experiment: 13.0 eggs/female/day). A hypothesis is proposed that Baltic herring gametes, as well as biologically active compounds entering the waters of the Vistula Lagoon during spawning, may influence the growth and fecundity of natural populations of cladoceran crustaceans.

Keywords: herring spawning, steroid compounds, growth and fertility of Daphnia, Vistula Lagoon

The authors

94

Dr Yulia Yu. Polunina, Head of the Laboratory, P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Russia.

ORCID: 0000-0002-8157-9522

E-mail: jul_polunina@mail.ru

SPIN-code: 9215-9419

Prof. Svetlana M. Nikitina, Professor-Consultant, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: swetmih@gmail.com

SPIN-code: 4413-6946

Dr Alexey V. Gushchin, Senior Researcher, P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Russia.

E-mail: iraimrop@mail.ru

SPIN-code: 7979-6800

УДК 606

**С. Л. Тихонов^{1, 2, 3}, Н. В. Тихонова¹, М. С. Тимофеева¹
С. В. Шихалев⁴**

**РАЗРАБОТКА И СИНТЕЗ
ПЕПТИДОМИМЕТИКА НЕСПЕЦИФИЧЕСКОГО
ИММУНОМОДУЛИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ**

95

¹ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

³ Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова
Российской академии наук, Москва, Россия

⁴ Уральский государственный экономический университет,
Екатеринбург, Россия

Поступила в редакцию 12.02.2026 г.

Принята к публикации 25.03.2026 г.

doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-6

Для цитирования: Тихонов С. Л., Тихонова Н. В., Тимофеева М. С., Шихалев С. В. Разработка и синтез пептидомиметика неспецифического иммуномодулирующего действия // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2026. №2. С. 95 – 107. doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-6.

Использование пептидов сопряжено с определенными проблемами. Из-за протеолитической нестабильности и короткого периода полувыведения из плазмы крови для пептидов необходимо разрабатывать и использовать специализированные системы доставки, что часто ограничивает их применение парентеральными способами. Низкая биодоступность при пероральном приеме еще больше затрудняет клинический прием пептидов, особенно при хронических заболеваниях, требующих удобных для пациента схем лечения. Цель исследования – разработка, синтез, характеристика пептидомиметика для перорального применения с неспецифическим иммуномодулирующим действием, оценка его цитотоксичности и влияния на пролиферацию ДК. В качестве объекта исследований использовали пептидомиметик с условным названием CD-17 со следующей аминокислотной последовательностью: CTSIGGAGTCPPICFFD. Установлено, что совпадений аминокислотной последовательности CD-17 с известными пептидами и пептидомиметиками нет, что свидетельствует об уникальности созданного пептидомиметика. Спрогнозированы физико-химические свойства и структура пептидомиметика. Согласно базе APD обций чистый заряд CD-17 равен –1, гидрофобность пептида по методу Уимли – Уайта (то есть сумма энергии переноса



пептида без целого остатка из воды на поверхность раздела РОРС) равна 0,86 ед., молекулярная масса на уровне 1688,97 Да, молекулярная формула пептида $C_{73}H_{109}N_{17}O_{23}S_3$, белковсвязывающий потенциал (индекс Бомана) – 0,41 ккал/моль. Установлено, что CD-17 является биологически активным пептидомиметиком, относится к DILI-отрицательным, то есть безопасен для печени. При прогнозировании острой токсичности CD-17 при пероральном применении крысам установлено, что пептидомиметик не обладает острой токсичностью (не токсичен в дозах >500 мг/кг). VD_{50} CD-17 составляет 0,879 при оптимальном 0,04–20, Fi на уровне 89,24 % при оптимальном значении ≥ 20 . CD-17 имеет отличный CL и средний период полувыведения. Установлено, что через трое суток культивирования с пептидомиметиком количество ДК было выше на 23,07 % ($p < 0,05$) по сравнению с негативным контролем.

Ключевые слова: пептидомиметик, иммуномодулирующее действие, дендритные клетки, токсичность, биологическая активность, фармакокинетические свойства

Введение

Пептиды представляют собой отдельный класс биофармацевтических препаратов, характеризующихся высокой специфичностью воздействия на мишень и структурной универсальностью, что дает им уникальные преимущества перед низкомолекулярными и биологическими препаратами [1]. Способность пептидов взаимодействовать с большими поверхностями белков позволяет модулировать белок-белковые взаимодействия, что зачастую недостижимо для низкомолекулярных препаратов [2]. Кроме того, пептиды обладают более высокой аффинностью связывания и меньшим количеством побочных эффектов по сравнению с обычными препаратами благодаря своей способности к точному молекулярному распознаванию. Структурно меньший размер пептидов (2–50 остатков аминокислот) упрощает синтез и облегчает химические модификации (например, циклизацию, пегилирование), применяемые для оптимизации фармакокинетических свойств, таких как стабильность и биодоступность [3]. Пептиды, как правило, обладают меньшей иммуногенностью в сравнении с антителами и белками, что сводит к минимуму нежелательные иммунные реакции при применении пептидов – важное преимущество при лечении хронических заболеваний [4].

Несмотря на эти преимущества, использование пептидов связано с присущими им проблемами. Из-за протеолитической нестабильности и короткого периода полувыведения из плазмы крови для пептидов необходимо разрабатывать и использовать специализированные системы доставки, что ограничивает их употребление парентеральными способами. Низкая биодоступность при пероральном приеме еще больше затрудняет клиническое применение пептидов, особенно при хронических заболеваниях, требующих удобных для пациента схем лечения [5]. Следует отметить, что более 90 % пептидных препаратов нацелены на внеклеточные рецепторы, что подчеркивает ограниченность в применении [6]. Новые стратегии, такие как инкапсуляция в наночастицы, создание конъюгатов с клеточно-проникающими пептидами и стабилиза-



ция структуры с помощью неприродных аминокислот, направлены на устранение этих ограничений и сокращение разрыва между доклиническими перспективами и клинической пользой [7; 8].

Несмотря на значительный прогресс в разработке терапевтических средств на основе пептидов, для реализации их полного клинического потенциала по-прежнему существуют серьезные препятствия, особенно при пероральном приеме. Желудочно-кишечный тракт остается серьезным препятствием: биодоступность большинства пероральных пептидов составляет менее 1 % из-за ферментативной деградации, нестабильности в зависимости от pH и ограниченной проницаемости эпителия. Хотя усилители проницаемости и ингибиторы ферментов частично решают эти проблемы, их долгосрочная безопасность, потенциальное нарушение целостности кишечного барьера и дозозависимая эффективность требуют дальнейшей доклинической и клинической проверки. Будущие инновации должны использовать междисциплинарные стратегии для устранения этих проблем. Структурно-инженерные подходы, включая замену D-аминокислот, циклизацию основной цепи или гидрофобное сшивание, могут повысить устойчивость к протеазам без ущерба для взаимодействия с мишенью [9; 10]. Такие химически модифицированные пептиды называют пептидомиметиками [11].

Некоторые пептидомиметики обладают иммуномодулирующим действием, в частности, IGF-1 и IGM-3 активируют сигнальные пути Akt и ERK1/2 и поддерживают выживаемость мезенхимальных стволовых клеток (далее – МСК). Так МСК, культивированные в гидрогелях с пептидомиметиками IGF-1 и IGM-1, подавляют экспрессию провоспалительных генов в первичных клетках человека из дегенерированных межпозвоночных дисков [12].

Исследования *in vitro* по изучению неспецифического иммуномодулирующего действия биологически активных веществ, в том числе пептидомиметиков, как правило, проводят на дендритных клетках (далее – ДК), так как они играют ключевую роль в регуляции иммунной системы, выполняя функции по распознаванию, захвату и представлению антигенов другим иммунным клеткам. ДК иницируют и регулируют иммунные реакции против патогенов, опухолей и чужеродных объектов. Стратегически расположенные по всей периферии, ДК действуют как стражи тканей, обнаруживая вторжение патогенов. Кроме того, они находятся в лимфоидных органах и образуют сеть, которая способствует связыванию антигенов Т-клетками. Учитывая короткую продолжительность жизни ДК, они постоянно обновляются, чтобы поддерживать эффективный иммунный надзор [13].

ДК представляют собой крайне неоднородную популяцию, отличающуюся специфическими поверхностными маркерами, функциональными свойствами и онтогенезом. Согласно современной классификации ДК, основанной на онтогенезе, выделяют обычные дендритные клетки, дендритные клетки, полученные из моноцитов, плазмоцитоидные дендритные клетки и недавно описанные дендритные клетки 3-го типа [14–16].



Плазматоидные дендритные клетки представляют собой специализированное подмножество клеток, известное своей способностью продуцировать большое количество интерферонов типа I (IFN-I) в ответ на вирусные инфекции [17–19].

Цель исследования — разработка, синтез, характеристика пептидомиметика с неспецифическим иммуномодулирующим действием, оценка его цитотоксичности и влияния на пролиферацию ДК.

Материал и методы исследования

В качестве объекта исследований использовали пептидомиметик с условным названием CD-17 со следующей аминокислотной последовательностью: CTSIGGAGTCPPICFFD. Пептидомиметик получен трехфазным синтезом в компании Peptic Co., Ltd (Сучжоу, Китай). CD-17 создан на основе циклического каркаса пептида из протеомной базы циклических пептидов Cybase (<https://www.sybase.ru>). Уникальность пептидомиметика определяли по базе данных пептидов PeptideAtlas (<https://db.systemsbiology.net/sbeams/cgi/PeptideAtlas/Search>); характеристики, биологические свойства — по базе данных APD (<https://aps.unmc.edu/home>); предсказания наличия биоактивности у пептида — по базе PeptideRanker (<http://distilldeep.ucd.ie/PeptideRanker>); прогнозирование токсичности и фармакокинетические свойства — по данным платформы ADMET (<https://admetmesh.scbdd.com>). После синтеза пептидомиметика с целью определения аминокислотного состава и подтверждения заданной последовательности, а также молекулярной массы проводили его масс-спектрометрию методом MALDI-TOF MS Ultraflex (Bruker, Германия). Анализ масс-спектров осуществляли с помощью программы Mascot, опции Peptide Fingerprint (Matrix Science, США).

Перед оценкой влияния пептидомиметика на пролиферацию ДК определили его максимальную концентрацию при которой нет достоверного цитотоксического эффекта, при концентрациях пептидомиметика 0; 5; 10; 15; 20; 30; 40 мкг/мл питательной среды. Через 72 ч к образцам в лунки добавляли реагент Alamar Blue (0,15 мг/мл) в количестве 10 мкл на лунку и помещали в CO₂-инкубатор на 30 мин, затем проводили оценку жизнеспособности клеток в ридере ClarioStar (λ возбуждения = 560 нм и λ эмиссии = 590 нм). Для каждой из концентраций были сделано 8 технических повторов и 2 независимых эксперимента. Затем ДК рассаживали в 24-луночные планшеты по 8000 клеток на лунку. На следующий день добавляли пептидомиметик с конечной концентрацией в среде 20 мкг/мл. В качестве негативного контроля использовали клетки, к которым не добавляли пептидомиметик. Через 24 и 48 ч количество клеток в лунках подсчитывали в клеточном цитометре.

Статистический анализ полученных результатов проводили с помощью теста Крускала — Уоллиса (n = 6). Достоверным считалось различие $p < 0,05$.

Результаты

Пептидомиметки обладают большим потенциалом в качестве фармацевтических препаратов и в других отраслях промышленности. Соответственно, было разработано множество биоинформационных



инструментов для прогнозирования функций пептидов на основе последовательной информации. *In silico* подходы представляются экономичными и быстрыми способами первичного скрининга и предварительного отбора кандидатов из крупных библиотек пептидов и результатов высокопроизводительного секвенирования для последующей экспериментальной проверки пептидов [20].

Проведена идентификация пептидомиметика CD-17 по базе данных пептидов и белков PeptideAtlas. Результаты исследований представлены на рисунке 1.

99

В индексе не найдено совпадений по вашей строке поиска

Рис. 1. Результаты исследований уникальности пептида CD-17 по базе данных пептидов PeptideAtlas

Установлено, что совпадений аминокислотной последовательности CD-17 с известными пептидами и пептидомиметиками нет, что свидетельствует об уникальности созданного пептидомиметика.

Спрогнозированы физико-химические свойства и структура пептидомиметика. Согласно базе APD общий чистый заряд CD-17 равен -1 , гидрофобность пептида по методу Уимли – Уайта (то есть сумма энергии переноса пептида без целого остатка из воды на поверхность раздела РОРС) равна $0,86$ ед., молекулярная масса – на уровне $1688,97$ Да, молекулярная формула пептида – $C_{73}H_{109}N_{17}O_{23}S_3$, белковосвязывающий потенциал (индекс Бомана) – на уровне $0,41$ ккал/моль.

Прогнозируемая третичная структура пептида CD-17 представлена на рисунке 2.

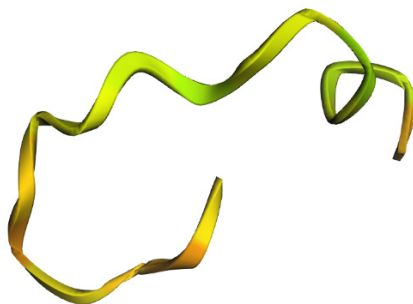


Рис. 2. Прогнозируемая третичная структура пептида CD-17



Полученные прогнозируемые характеристики пептида позволили нам в дальнейшем принять решение о возможности его синтеза и наличия биологически активных свойств.

Биологическая активность CD-17 подтверждена результатами предсказания по предсказателю активности пептидов PeptideRanker (рис. 3).

PeptideRanker

Your query (ID 177045341645760) has been processed

Response:

0.72533 CTSIGGAGTCPPICFFD

Рис. 3. Результаты прогнозирования биологической активности пептидомиметика CD-17

PeptideRanker был обучен с порогом 0,5, то есть исследуемый пептид, значение которого превышает порог 0,5, можно считать биологически активным. Следовательно, CD-17 является таковым.

В таблице представлены результаты прогнозирования свойств пептидомиметика CD-17 на платформе ADMET.

Результаты прогнозирования свойств пептидомиметика CD-17 на платформе ADMET

Показатель	Норма	Фактическое значение
hERG-блокаторы, ед.	0–0,3	0,001
DILI, ед.	0–0,3	0,18
Острая токсичность при пероральном применении крысам, ед.	0–0,3 – не токсичен (>500 мг/кг)	0,09
Цитотоксичность Hek293, ед.	0–0,3	0,001
$\log D_{7,dr}$, логарифмические моль/л	0,5–3,0	0,863
VD _{ss} , л/кг	0,04–20	0,879
Fu, %	≥20	89,24
CL _{плазм} , мл/мин/кг	0–5 – отлично; 5–15 – средне; >15 – плохо	0,93
T _{1/2} , ч	4–8 средне	6,2

В последнее время все больше внимания уделяется тому, как биологически активные вещества (далее – БАВ) влияют на работу сердца, ионных каналов, электролитный гомеостаз и метаболизм, могут ли они являться hERG-блокаторами и вызвать синдром удлиненного интервала QT. При лечении последнего это особенно актуально, поскольку пациентам следует избегать факторов, провоцирующих аритмию. Хотя замедление реполяризации желудочков при синдроме удлиненного интервала QT в основном обусловлено патогенными вариантами, вли-



яющими на ионные каналы сердца, его выраженность и риск развития аритмии могут зависеть от внешних факторов, в том числе от приема БАВ и лекарственных препаратов, нарушений электролитного баланса и вегетативных колебаний. БАВ для применения внутрь могут влиять на реполяризацию сердца несколькими способами, в том числе через ингибирование ионных каналов, нарушение электролитного баланса, модуляцию вегетативного тонуса и изменение метаболизма. Такие эффекты усиливаются у пациентов со сниженным резервом реполяризации — у тех, чей миокард не может противостоять дополнительным стрессовым факторам. В таких условиях даже незначительное изменение рациона питания может спровоцировать развитие синдрома удлиненного интервала QT [21].

При прогнозировании биологических свойств пептидомиметика установлено, что он не является hERG-блокатором и не вызывает синдромом удлиненного интервала QT, то есть он безопасен для сердечно-сосудистой системы.

Большинство разрабатываемых препаратов, в том числе, пептидомиметиков терпят неудачу либо из-за недостаточной эффективности, либо из-за проблем с безопасностью. Из-за своей специфической природы идиосинкразические реакции на лекарственные препараты обычно обнаруживаются на поздних этапах разработки, часто после длительного лечения тысяч пациентов. К этому моменту в создание препарата уже вложены значительные средства, поэтому его провал обходится очень дорого. Идиосинкразические реакции на лекарственные препараты могут затрагивать любой орган, но наибольшую проблему представляет идиосинкразическое лекарственно-индуцированное поражение печени (далее — ИДИП). К недавним примерам препаратов-кандидатов, неудачно прошедших клинические испытания из-за ИДИП относятся TAK994 и атабецестат [22]. В некоторых случаях ИДИП могут даже привести к отмене препарата [23]. Кроме того, попытки предсказать такие побочные реакции также замедляют разработку лекарств, что увеличивает их стоимость. В целом подобные исследования, вероятно, обошлись фармацевтической промышленности в миллиарды долларов. Если бы удалось найти более точные биомаркеры риска, это существенно повлияло бы на разработку лекарств. Одним из точных прогнозов гепатоксичности новых биологически активных веществ служит предсказание по показателю DILI. Вещества, вызывающие ИДИП, называют DILI-положительными. Установлено, что CD-17 относится к DILI-отрицательным, то есть безопасен для печени.

Для того чтобы лекарственный препарат или биологически активное вещество было допущено к клиническому применению, крайне важны предсказание токсичности и последующие доклинические исследования. В ходе них должны использоваться проверенные методы прогнозирования и анализа, предлагаемые модели должны пройти испытания на лабораторных животных. Конечная цель прогнозирования и исследования токсичности — сопоставить реакции животных с реакциями человека. В рамках определения токсичности исследуемое химическое вещество распределяется по классам в зависимости от установленных пороговых значений LD₅₀ [24]. При прогнозировании острой токсич-



ности CD-17 при пероральном применении крысами установлено, что пептидомиметик не обладает острой токсичностью (не токсичен в дозах > 500 мг/кг). Прогнозирование цитотоксичности CD-17 проводили на клетках НЕК 293. В результате исследований установлено, что пептидомиметик не вызывает гибель исследуемых клеток.

Коэффициент распределения $\log D_{7.4}$ – важный параметр для количественной оценки липофильности / гидрофильности, поскольку он учитывает ионизацию, что делает его более актуальным для исследований лекарственных препаратов, поскольку большинство из них содержат ионизируемые группы. Липофильность влияет на ключевые физико-химические свойства лекарственных препаратов, в том числе на абсорбцию, распределение, метаболизм и токсичность. Чрезмерная липофильность может повысить риск токсичности, а низкая липофильность – ограничить абсорбцию и метаболизм. Точное определение показателя $\log D_{7.4}$ имеет решающее значение для оценки фармакокинетических свойств и безопасности потенциальных лекарственных препаратов. По показателю $\log D_{7.4}$ пептидомиметик имеет оптимальное значение, что свидетельствует о его возможности безопасного использования в качестве биологически активного вещества.

Механизм действия соединения, особенно на уровне организма, зависит не только от его биологической активности, но и от воздействия [25], которое может определяться такими факторами, как биодоступность препарата, объем распределения, клиренс и др. [26].

К наиболее часто измеряемым фармакокинетическим параметрам у человека относятся равновесный объем распределения (VD_{ss}), клиренс (CL), период полувыведения ($T_{1/2}$) и несвязанная фракция в плазме (F_u). VD_{ss} отражает распределение соединения между тканями и плазмой, то есть зависит как от связывания с белками крови, так и от связывания с белками тканей, и считается одним из наименее искаженных и наиболее надежных показателей степени распределения [27]. CL показывает скорость, с которой препарат выводится из плазмы [28]. Механизмы VD_{ss} основаны на связывании лекарственного вещества с компонентами тканей, в то время как в CL задействованы сложные механизмы, такие как метаболизм и выведение через различные пути. $T_{1/2}$ – это время, за которое концентрация лекарственного вещества в плазме снижается вдвое по сравнению с начальной концентрацией [29]. При прогнозировании вышеуказанных показателей у пептидомиметика установлено, что VD_{ss} составляет 0,879 при оптимальном 0,04 – 20.

F_u находится на уровне 89,24 % при оптимальном ≥ 20 . CD-17 имеет отличный CL и средний период полувыведения.

Следовательно, полученные результаты прогнозирования физико-химических свойств, токсичности и фармакокинетических характеристик позволяют считать пептидомиметик CD-17 безопасным, пригодным и эффективным для применения *per os*.

Проведен синтез пептидомиметика CD-17, хроматограмма и масс-спектр которого представлены на рисунках 4 и 5.

Приведенные хроматограмма и масс-спектр CD-17 подтверждают состав и последовательность аминокислотных остатков.

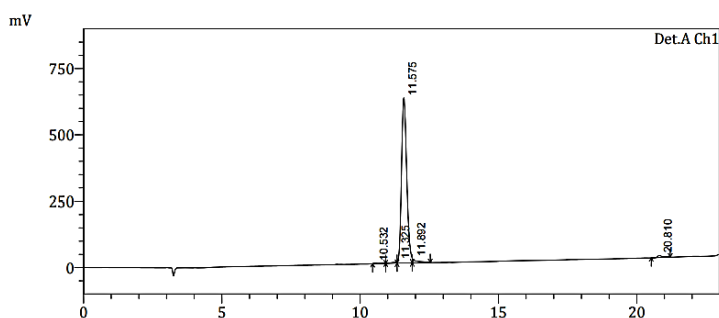


Рис. 4. Хроматограмма пептидомиметика CD-17

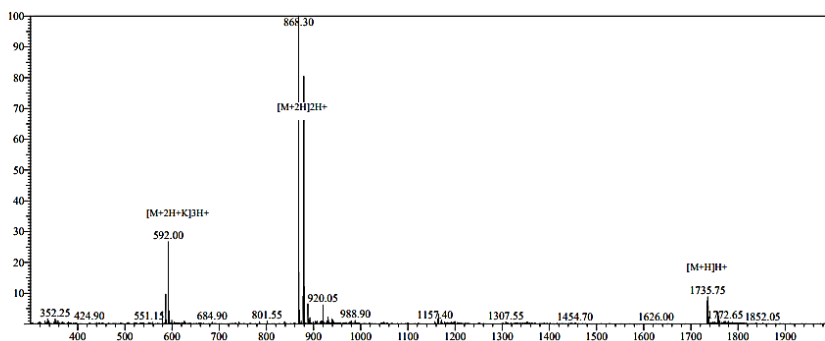


Рис. 5. Масс-спектр пептидомиметика CD-17

Особенно актуальны исследования по изучению влияния биологически активных веществ иммуномодулирующего действия на дендритные клетки (далее — ДК) [30]. При обнаружении сигнала опасности они запускают «программу созревания», которая стимулирует их быструю миграцию в лимфатические узлы для презентации собранных антигенов Т-лимфоцитам. Важно отметить, что все процессы, необходимые для выполнения ДК своей функции иммунного контроля — миграция клеток, поглощение антигенов, созревание клеток и презентация антигенов, — зависят не только от природы самих антигенов, но и от воспалительного процесса и физических свойств тканей, а также определяют тип Т-клеточного ответа [31].

Проведены исследования по влиянию CD-17 на пролиферацию ДК. Установлено, что через трое суток культивирования с пептидомиметиком количество ДК было выше на 23,07 % ($p < 0,05$) по сравнению с негативным контролем.

Заключение

Разработан и синтезирован пептидомиметик с неспецифическим иммуномодулирующим действием с условным названием CD-17, спрогнозированы его структура, биодоступность, физико-химические, фармакокинетические свойства. Доказано биологическое неспецифическое иммуномодулирующее действие CD-17 в эксперименте *in vitro*.

Список литературы

1. Wang L., Wang N., Zhang W. et al. Therapeutic peptides: Current applications and future directions // *Signal Transduct. Target. Ther.* 2022. Vol. 7. P. 48. doi: 10.1038/s41392-022-00904-4.
2. Nada H., Choi Y., Kim S. et al. New insights into protein–protein interaction modulators in drug discovery and therapeutic advance // *Signal Transduct. Target. Ther.* 2024. Vol. 9. P. 341. doi: 10.1038/s41392-024-02036-3.
3. deGruyter J.N., Malins L.R., Baran P.S. Residue-Specific Peptide Modification: A Chemist's Guide // *Biochemistry.* 2017. Vol. 56. P. 3863–3873. doi: 10.1021/acs.biochem.7b00536.
4. Asmani A.Z.A., Zainuddin A.F.F., Azmi Murad N.A. et al. Immunogenicity of monoclonal antibody: Causes, consequences, and control strategies // *Pathol. Res. Pract.* 2024. Vol. 263. P. 155627. doi: 10.1016/j.prp.2024.155627.
5. Haggag Y.A., Donia A.A., Osman M.A., El-Gizawy S.A. Peptides as drug candidates: Limitations and recent development perspectives // *Biomed. J. Sci. Tech. Res.* 2018. Vol. 8. P. 1–4. doi: 10.26717/BJSTR.2018.08.001694.
6. Bellmann-Sickert K., Beck-Sickinger A.G. Peptide drugs to target G protein-coupled receptors // *Trends Pharmacol. Sci.* 2010. Vol. 31. P. 434–441. doi: 10.1016/j.tips.2010.06.003.
7. Lau J.L., Dunn M.K. Therapeutic peptides: Historical perspectives, current development trends, and future directions // *Bioorg. Med. Chem.* 2018. Vol. 26. P. 2700–2707. doi: 10.1016/j.bmc.2017.06.052.
8. Cao S., Lv Z., Guo S. et al. An update – prolonging the action of protein and peptide drugs // *J. Drug Deliv. Sci. Technol.* 2021. Vol. 61. P. 102124. doi: 10.1016/j.jddst.2020.102124.
9. Binder U., Skerra A. Strategies for extending the half-life of biotherapeutics: Successes and complications // *Expert Opin. Biol. Ther.* 2024. Vol. 25. P. 93–118. doi: 10.1080/14712598.2024.2436094.
10. Zheng B., Wang X., Guo M., Tzeng C.-M. Therapeutic Peptides: Recent Advances in Discovery, Synthesis, and Clinical Translation // *Int. J. Mol. Sci.* 2025. Vol. 26. P. 5131. doi: 10.3390/ijms26115131.
11. Тихонов С.Л., Бабич О.О., Тихонова Н.В., Сухих С.В. Пептидомиметики для пролиферации дендритных клеток // *АПК России.* 2025. Т. 32, №3. С. 435–441. doi: 10.55934/2587-8824-2025-32-3-435-441.
12. Wen C., Xu L., Xu X. et al. Insulin-like growth factor-1 in articular cartilage repair for osteoarthritis treatment // *Arthritis Res Ther.* 2021. Vol. 23, №1. P. 277. doi: 10.1186/s13075-021-02662-0.
13. Ginhoux F., Liu K., Helft J. et al. The origin and development of nonlymphoid tissue CD103+ DCs // *J Exp Med.* 2009. Vol. 206. P. 3115–3130. doi: 10.1084/jem.20091756.
14. Liu Z., Wang H., Li Z. et al. Dendritic cell type 3 arises from Ly6C+ monocyte-dendritic cell progenitors // *Immunity.* 2023. Vol. 56. P. 1761–1777.e6. doi: 10.1016/j.immuni.2023.07.001.
15. Cytlak U., Resteu A., Pagan S. et al. Differential IRF8 transcription factor requirement defines two pathways of dendritic cell development in humans // *Immunity.* 2020. Vol. 53. P. 353–370.e8. doi: 10.1016/j.immuni.2020.07.003.
16. Bourdely P., Anselmi G., Vaivode K. et al. Transcriptional and functional analysis of CD1c+ human dendritic cells identifies a CD163+ subset priming CD8+CD103+ T cells // *Immunity.* 2020. Vol. 53. P. 335–352.e8. doi: 10.1016/j.immuni.2020.06.002.
17. Arroyo Hornero R., Idoyaga J. Plasmacytoid dendritic cells: a dendritic cell in disguise // *Mol Immunol.* 2023. Vol. 159. P. 38–45. doi: 10.1016/j.molimm.2023.05.007.



18. Brewitz A., Eickhoff S., Dahling S. et al. CD8+ T cells orchestrate pDC-XCR1+ dendritic cell spatial and functional cooperativity to optimize priming // *Immunity*. 2017. Vol. 46. P. 205–219. doi: 10.1016/j.immuni.2017.01.003.
19. De Giovanni M., Iannacone M. In vivo imaging of adaptive immune responses to viruses // *Curr Opin Virol*. 2018. Vol. 28. P. 102–107. doi: 10.1016/j.coviro.2017.12.002.
20. Iglesias V., Bárcenas O., Pintado-Grima C. et al. Structural information in therapeutic peptides: Emerging applications in biomedicine // *FEBS Open Bio*. 2025. Vol. 15, №2. P. 254–268. doi: 10.1002/2211-5463.13847.
21. Woosley R. L. Arrhythmogenic foods – A growing medical problem // *Trends Cardiovasc. Med*. 2020. Vol. 30. P. 310–312. doi: 10.1016/j.tcm.2019.08.007.
22. Novak G., Streffer J. R., Timmers M. et al. Long-term safety and tolerability of atabecestat (JNJ-54861911), an oral BACE1 inhibitor, in early Alzheimer's disease spectrum patients: a randomized, double-blind, placebo-controlled study and a two-period extension study // *Alz Res Ther*. 2020. Vol. 12, №1. P. 58. doi: 10.1186/s13195-020-00614-54.
23. Senior J. R. Evolution of the food and drug administration approach to liver safety assessment for new drugs: current status and challenges // *Drug Saf*. 2014. Vol. 37, suppl. S1. P. 9–17. doi: 10.1007/s40264-014-0182-7
24. Gothe S., Pawade U., Nikam A., Anjankar M. OECD guidelines for acute oral toxicity studies: an overview // *Int. J. Res. Ayurveda Pharm*. 2023. Vol. 14. P. 137–140. doi: 10.7897/2277-4343.1404130.
25. Goyal N. The role of drug exposure in clinical development: to what extent is pharmacokinetic assessment needed in a drug development programme? // *Clin Pharmacokinet*. 2015. Vol. 54. P. 985–987. doi: 10.1007/s40262-015-0287-x.
26. Ward R. M., Kern S. E. Principles of pharmacokinetics // *Fetal neonatal physiology*. 2017. P. 201–207. doi: 10.1016/B978-0-323-35214-7.00019-6.
27. Greenblatt D. J., Abernethy D. R., Divoll M. Is volume of distribution at steady state a meaningful kinetic variable? // *J Clin Pharmacol*. 1983. Vol. 23. P. 391–400. doi: 10.1002/j.1552-4604.1983.tb02753.x.
28. Smith D. A., Beaumont K., Maurer T. S., Di L. Clearance in drug design // *J Med*. 2019. Vol. 62, №5. P. 2245–2255. doi: 10.1021/acs.jmedchem.8b01263.
29. Grabowski T., Jaroszewski J. J., Gad S. C., Feder M. Correlation between in silico physicochemical characteristics of drugs and their mean residence time in human and dog // *Int J Toxicol*. 2012. Vol. 31. P. 25–33. doi: 10.1177/1091581811429865.
30. Merad M., Sathe P., Helft J. et al. The Dendritic Cell Lineage: Ontogeny and Function of Dendritic Cells and Their Subsets in the Steady State and the Inflamed Setting // *Annual Review of Immunology*. 2013. Vol. 31. P. 563–604. doi: 10.1146/annurev-immunol-020711-074950.
31. Cabeza-Cabrero A., Cardoso C., Minutti M., Pereira Da Costa M. et al. Dendritic Cells Revisited // *Annual Review of Immunology*. Vol. 2021, №39. P. 131–116. doi: 10.1146/annurev-immunol-061020-053707.

Об авторах

Сергей Леонидович Тихонов – д-р техн. наук, проф., Уральский государственный аграрный университет, Россия; Уральский государственный лесотехнический университет; докторант, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук, Россия.

ORCID: 0000-0003-4863-9834

E-mail: tihonov75@bk.ru

SPIN-код: 4649-8616



Наталья Валерьевна Тихонова — д-р техн. наук, проф., Уральский государственный аграрный университет, Россия.

ORCID: 0000-0001-5841-1791

E-mail: tihonov75@bk.ru

SPIN-код: 1303-8180

Мария Сергеевна Тимофеева — ассистент, Уральский государственный аграрный университет, Россия.

ORCID: 0000-0001-7760-1427

E-mail: maria_tih13.02@icloud.com

106

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

ORCID: 0000-0002-9236-7154

E-mail: sershih@rambler.ru

SPIN-код: 2080-2963

*S. L. Tikhonov^{1,2,3}, N. V. Tikhonova¹, M. S. Timofeeva¹
S. V. Shikhalev⁴*

DEVELOPMENT AND SYNTHESIS OF A NON-SPECIFIC IMMUNOMODULATING PEPTIDOMIMETIC

¹ Ural State Agrarian University, Russia

² Ural State Forestry University, Russia

³ V. M. Gorbатов Federal Scientific Center of Food Systems
of the Russian Academy of Sciences, Russia

⁴ Ural State University of Economics, Russia

Received 12 February 2026

Accepted 25 March 2026

doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-6

To cite this article: Tikhonov S. L., Tikhonov N. V., Timofeeva M. S., Shikhalev S. V., 2026, Development and synthesis of a non-specific immunomodulating peptidomimetic, *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural Sciences*, №2. P. 95–107. doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-6.

The use of peptides is associated with certain challenges. Due to proteolytic instability and a short plasma half-life, peptides require the development and application of specialized delivery systems, which often limits their use to parenteral administration routes. Low bioavailability following oral administration further complicates the clinical use of peptides, especially in chronic diseases requiring patient-friendly treatment regimens. The aim of the study was to develop, synthesize, and characterize a peptidomimetic for oral administration with nonspecific immunomodulatory activity, as well as to assess its cytotoxicity and effect on DC proliferation. The object of the study was a peptidomimetic designated CD-17 with the following amino acid sequence: CTSIGGAGTCPPICFFD. It was established that there are no matches between the amino acid sequence of CD-17 and known peptides or peptidomimetics, which indicates the



uniqueness of the developed peptidomimetic. The physicochemical properties and structure of the peptidomimetic were predicted. According to the APD database, the total net charge of CD-17 is -1 , the peptide hydrophobicity according to the Wimley–White method (i. e., the sum of the transfer energy of the peptide without the whole residue from water to the POPC interface) is 0.86 units, the molecular weight is 1688.97 Da, the molecular formula of the peptide is $C_{73}H_{109}N_{17}O_{23}S_3$, and the protein-binding potential (Boman index) is 0.41 kcal/mol. It was established that CD-17 is a biologically active peptidomimetic and belongs to the DILI-negative category, i. e., it is safe for the liver. Prediction of the acute oral toxicity of CD-17 in rats demonstrated that the peptidomimetic does not exhibit acute toxicity (non-toxic at doses >500 mg/kg). The VD_{ss} of CD-17 is 0.879 with an optimal range of 0.04 – 20, while F_u is 89.24 % with an optimal value of ≥ 20 . CD-17 demonstrates excellent CL and a moderate half-life. It was established that after three days of cultivation with the peptidomimetic, the number of DCs was 23.07 % higher ($p < 0.05$) compared with the negative control.

Keywords: peptidomimetic, immunomodulatory effect, dendritic cells, toxicity, biological activity, pharmacokinetic properties

The authors

Prof. Sergey L. Tikhonov, Ural State Agrarian University, Russia; Ural State Forestry University; Russia; V. M. Gorbatov Federal Research Center of Food Systems of the Russian Academy of Sciences, Russia.

ORCID: 0000-0003-4863-9834

E-mail: tihonov75@bk.ru

SPIN-code: 4649-8616

Prof. Natalia V. Tikhonova, Ural State Agrarian University, Russia.

ORCID: 0000-0001-5841-1791

E-mail: tihonov75@bk.ru

SPIN-code: 1303-8180

Maria S. Timofeeva, Assistant Professor, Ural State Agrarian University, Russia.

ORCID: 0000-0001-7760-1427

E-mail: maria_tih13.02@icloud.com:

Dr Sergey V. Shikhalev, Associate Professor, Ural Federal University, Russia.

ORCID: 0000-0002-9236-7154

E-mail: sershih@rambler.ru

SPIN-code: 2080-2963

М. Р. Зинуров¹, Е. Е. Зинурова², Ш. З. Валидов³, М. Д. Фролов³
М. А. Сысоева¹, Т. В. Багаева⁴

СИНТЕЗ ЛЕКТИНОВ МИКРОМИЦЕТАМИ
РОДА *ALTERNARIA*

108

¹ Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

² ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Россия

³ ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

⁴ Казанский федеральный университет, Казань, Россия

Поступила в редакцию 02.09.2025 г.

Принята к публикации 19.01.2026 г.

doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-7

Для цитирования: Зинуров М. Р., Зинурова Е. Е., Валидов Ш. З., Фролов М. Д., Сысоева М. А., Багаева Т. В. Синтез лектинов микромицетами рода *Alternaria* // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2026. №2. С. 108–118. doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-7.

На примере 10 штаммов микромицетов, включая музейные штаммы *Alternaria alternata*, *Alternaria solani* и *Alternaria infectoria*, а также изолятов, выделенных из природных образцов (почва, клубни картофеля, семена пшеницы), была установлена способность микромицетов рода *Alternaria* к синтезу эндогенных и экзогенных лектинов. Микромицеты рода *Alternaria* способны синтезировать экзогенные и эндогенные лектины. Установлено, что активность лектинов микромицетов рода *Alternaria* исследованных штаммов значительно ниже, чем у микромицетов рода *Fusarium*. Тем не менее увеличить титр активности лектинов микромицетов рода *Alternaria* (в 2–8 раз) удалось при обработке поверхности эритроцитов нейроминидазой. Среди новых изолятов, микромицетов рода *Alternaria*, был отобран штамм *Alternaria alternata* 4 (зерно), синтезирующий лектины с наибольшим титром активности (512 ед.). Для подтверждения его принадлежности к роду *Alternaria* был проведен молекулярно-генетический анализ, который показал, что полученный штамм принадлежит к отряду Ascomycota, классу Ascomycetes, подклассу Dothideomycetidae, порядку Pleosporales, семейству Pleosporaceae, виду *Alternaria alternata*. Сравнение титра активности экзогенных и эндогенных лектинов показало преимущество синтеза внутриклеточных форм лектинов, что делает их наиболее перспективными для дальнейших исследованиях.

Ключевые слова: *Alternaria*, лектины, микромицеты, синтез, идентификация



Введение

Способность к образованию лектинов, как эндогенных так и экзогенных, является важной характеристикой микромицетов. Так, показано, что лектины синтезируют различные виды микромицетов рода *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Fusarium*, *Rhizoctonia* [1–3]. Однако в литературе недостаточно данных о лектинах микромицетов рода *Alternaria*.

Тем не менее экологическое и практическое значение грибов рода *Alternaria* очень велико. Многие его виды являются сапротрофами и развиваются на разнообразных органических субстратах, наряду с другими микроорганизмами принимают участие в разложении и минерализации растительных остатков. Другие грибы этого рода поражают листья, семена и плоды [4]. Существуют виды, которые обладают способностью паразитировать на муравьях, а некоторые представители данных грибов могут оказывать негативное действие и на здоровье человека, например, усугубляя развитие болезни у людей, страдающих бронхиальной астмой [5].

Установлено, что грибы рода *Alternaria* способны синтезировать широкий набор биологически активных соединений [6; 7], которые могут быть использованы как «прообразы» лекарственных средств и пестицидов [8], однако потенциал грибов этого рода в качестве продуцентов лектинов остается мало изученным.

Функции лектинов микромицетов разнообразны, например, они принимают участие в межклеточном взаимодействии, обладают антимикробным, противовирусным, иммуномодулирующим и противоопухолевым действием, а также другими положительными функциями. На этом основании их можно рассматривать как одну из наиболее активных групп биологически активных соединений, широко используемых в биологии и медицине [9–12]. Кроме того, получены данные, что лектины микромицетов могут принимать участие во взаимодействии фитопатогена с клетками растений [13]. Предполагается, что первичное инфицирование растений фитопатогенами рода *Alternaria* также осуществляется за счет способности грибов к синтезу лектинов, обеспечивающих адгезию микромицета на поверхности растительной клетки.

Цель настоящей работы — определение способности микромицетов рода *Alternaria* синтезировать эндогенные и экзогенные лектины и выявление наиболее эффективных изолятов, способных к синтезу активных лектинов.

Материалы и методы

В работе использовали штаммы микромицетов Всероссийской коллекции микроорганизмов *Alternaria alternata* F-1120 и *Fusarium oxysporum* F-137, а также штаммы микромицетов *Alternaria alternata* 7.2/8, *Alternaria solani* 7.3/4 и *Alternaria infectoria* 7.3/2 музея культур кафедры Биотехнологии Первого государственного медицинского университета им. И. М. Сеченова и изоляты четырех штаммов микромицетов рода *Alternaria*, выделенных из почвы, с клубней картофеля и зерна пшеницы. Для сравнения способности к синтезу лектинов, в качестве положительного контроля в опытах использовали штаммы микромицетов *Fusarium oxysporum* ВКМ F-137 и *Fusarium solani* 6 музея культур кафедры биохимии, биотехнологии и фармакологии Института фундаментальной медицины и биологии Казанского федерального университета.



Культивирование микромицетов проводили на картофельно-глюкозной среде при температуре 28 °С в течение 6 суток. Рост и накопление биомассы контролировали на электронных весах «MERTECH» модели M-EX 126CEJR.

Активность эндогенных и экзогенных лектинов определялась на 6-е сутки культивирования продуцента.

С этой целью биомассу мицелия гриба отделяли от культуральной жидкости путем фильтрации с помощью промышленной ткани, маркировки (полиэтилентерефталат) фирмы «АкваАналитикс Техника». Полученную культуральную жидкость использовали для установления наличия экзогенных лектинов.

Мицелий гриба многократно промывали 20 мМ Tris-HCl буферным раствором (рН 7,2). Извлечение эндогенных, мицелиальных лектинов проводили с помощью гомогенизации мицелия в 20 мМ Tris-HCl буферном растворе (рН 7,2) в соотношении 1:1 (масса/объем). Гомогенизацию производили на размольной гарнитуре ESSA B800 («АМТЕХ»). Полученную однородную массу оставляли при перемешивании в течение 5–6 ч при 4 °С. Удаление осадка проводили центрифугированием при 5000 g в течение 10 мин. Полученный супернатант проверяли на наличие эндогенных лектинов.

Активность лектинов определяли реакцией прямой гемагглютинации (далее – РПГА) с нативными эритроцитами человека группы крови 0 (I). Анализ осуществляли в U-образных планшетах для иммунологических реакций [14]. Для этого в лунках планшета 25 мкл белкового экстракта последовательно двукратно разводили раствором буфера с последующим добавлением в каждую лунку 2%-ной суспензии эритроцитов человека. Инкубацию смеси вели в течение 60 мин при комнатной температуре. Титр гемагглютинации выражали как максимальное разведение или минимальную концентрацию лектина в растворе, при которой наблюдается видимая реакция гемагглютинации эритроцитов.

Эритроциты для РПГА получали по методу, предложенному Луциком с соавторами [15]. Модификацию поверхности эритроцитов производили в трех вариантах путем добавления к осадку из эритроцитов 1 группы крови человека раствора нейраминидазы (0,2 ед./мл), трипсина и протеазы (1 мг/мл). Соотношение эритроцитов и раствора ферментов 1:2 [16]. Инкубацию вели в течение 30 мин при 37 °С, затем эритроциты трехкратно отмывали в десятикратном объеме Tris-HCl буфера (рН 7,2), центрифугируя смесь при 3000 об./мин в течение 10 мин.

Выделение и очистку ДНК из мицелия исследуемых изолятов осуществляли методом фенол-хлороформной экстракции [17]. Амплификацию вариабельного участка ITS и гена *tub2* проводили при помощи ПЦР. Последовательность праймеров участка ITS и гена *tub2* приведена в работе Рая и Брази с соавторами [18; 19]. Условия реакции: 95 °С – 3 мин, 95 °С – 30 сек, 54 °С – 30 сек, 72 °С – 40 сек, 72 °С – 3 мин, 34 цикла.

ПЦР продукт разделяли при помощи горизонтального электрофореза в 1%-ном агарозном геле. Выделение ДНК из геля производилось с использованием набора Cleanup mini (ЗАО «Евроген», Москва, Россия). Секвенирование образцов по Сэнгеру проводилось компанией «Евроген». При помощи программы Snapgene по полученным хроматограммам была



определена консенсусная последовательность участков ДНК, которая затем была сопоставлена с известными последовательностями посредством сервиса NCBI BLAST (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>).

Результаты исследований

Способность к синтезу эндогенных и экзогенных лектинов представителями рода *Alternaria* была исследована на музейных штаммах и изолятах, выделенных из природных источников (табл. 1). В качестве контроля в работе использовали изоляты микромицетов рода *Fusarium*, обладающих лектиновой активностью.

Таблица 1

111

Определение титра активности лектинов исследованных штаммов микромицетов на 6-й день культивирования

Объекты исследований	Биомасса, г/л	Титр активности лектинов	
		Клеточный экстракт	Культуральная жидкость
<i>A. alternata</i> ВКМ F-1120	30,42±1,94	128	8
<i>A. alternata</i> (коллекция, 7.2/8)	27,64±0,90	256	16
<i>A. alternata</i> 1 (почва)	26,54±1,60	16	2
<i>A. alternata</i> 2 (почва)	28,40±0,90	16	2
<i>A. alternata</i> 3(зерно)	26,82±0,89	32	16
<i>A. alternata</i> 4 (зерно)	32,80±1,20	512	8
<i>A. solani</i> (коллекция, 7.3/4)	30,66±0,86	128	4
<i>A. solani</i> 1 (картофель)	33,50±0,98	32	2
<i>A. solani</i> 2 (почва)	26,84±0,80	64	4
<i>A. infectoria</i> (коллекция, 7.4/2)	24,90±1,62	32	8
<i>Fusarium oxysporum</i> ВКМ F-137	34,83±1,82	1024	16
<i>Fusarium solani</i> (коллекция, 6)	33,64±1,62	2048	32

Все изучаемые микромицеты на 6 день культивирования на картофельно-глюкозной среде накапливали биомассу в пределах от 24,90±1,62 до 34,83±1,82 г/л, что свидетельствует о нормальных условиях роста для данных грибов.

Исследование культуральной жидкости на присутствие экзогенных лектинов показало, что у большинства представителей микромицетов рода *Alternaria* при реакции гемагглютинации с эритроцитами 1 группы крови человека наблюдалось присутствие лектинов с невысоким титром активности (2–16 ед.). Способность к синтезу экзогенных и поверхностных лектинов была установлена и у микромицетов, например, родов *Sclerotium*, *Trichoderma*, *Rhizoctonia*, *Phytophthora* [13].

Титр активности эндогенных лектинов, полученных из мицелия грибов, был на один-два порядка выше, чем титр активности экзогенных лектинов. Наибольший титр активности лектинов был выявлен у изолята *Alternaria alternata* 4 (512 ед.) и *Alternaria alternata* 7.2/8 (256 ед.). Несколько меньшую активность проявляли лектины изолятов музейных штаммов — *Alternaria alternata* ВКМ F-1120 и *Alternaria solani* 7.3/4 (128 ед.).

Данные показатели гемагглютинации рода *Alternaria* были значительно ниже по сравнению с титром активности эндогенных лектинов рода *Fusarium* (табл. 1). Более высокий титр активности мицелиальных лектинов родов *Fusarium*, *Risocetonia*, *Aspergillus* был установлен и в других работах [1–4].

Для увеличения чувствительности метода гемагглютинации при определении титра активности лектинов микромицетов рода *Alternaria* с эритроцитами было решено провести модификацию поверхности последних с помощью ферментов: трипсина, нейроминидазы и протеазы, рекомендованных в работе Бхари с соавторами для определения титра активности лектинов рода *Fusarium* [16].

Результаты проведенных нами исследований показали, что модификация поверхности эритроцитов крови 1 группы человека данными ферментами приводила к повышению гемагглютинирующей активности эндогенных лектинов микромицетов рода *Alternaria* (рис.).

112

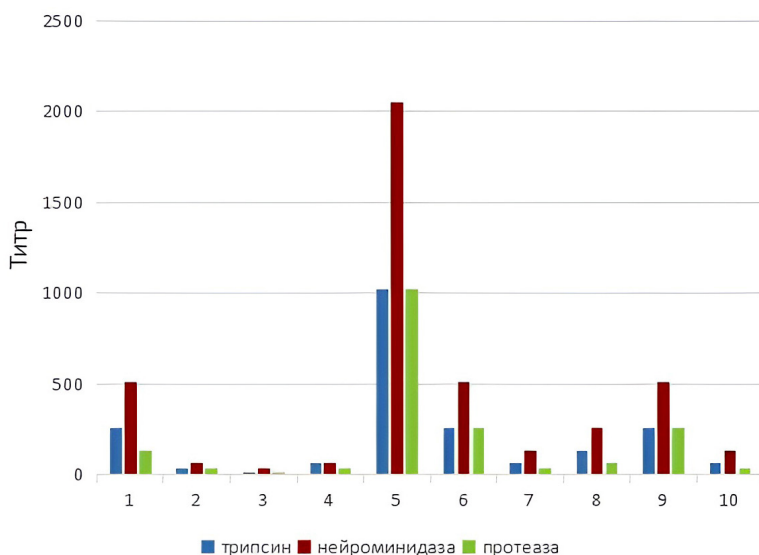


Рис. Эффективность модификации эритроцитов 1 группы крови человека ферментами: трипсином, нейроминидазой, протеазой — для повышения чувствительности реакции гемагглютинации по определению титра активности лектинов микромицетов рода *Alternaria*. Изоляты микромицетов: 1 — *A. alternata* ВКМ F-1120; 2 — *A. alternata* 1 (почва); 3 — *A. alternata* 2 (почва); 4 — *A. alternata* 3 (зерно); 5 — *A. alternata* 4 (зерно); 6 — *A. solani* (коллекция, 7.3/4); 7 — *A. solani* 1 (картофель); 8 — *A. solani* 2 (почва); 9 — *A. alternata* (коллекция, 7.2/8); 10 — *A. infectoria* (коллекция, 7.4/2)

Трипсинизация эритроцитов повышала гемагглютинирующую активность эндогенных лектинов микромицетов рода *Alternaria* в 2–4 раза. Наибольшее увеличение гемагглютинирующей активности было определено для природных штаммов *A. alternata* 2, *A. alternata* 3, *A. solani* 2, у которых она была невысока при взаимодействии с нативными эритроцитами. Для лектинов других микромицетов титр активности лекти-



нов повышался в 2 раза. Гемагглютинирующая активность *A. alternata* 4 повышалась в 2 раза, но показания титра активности лектинов данного изолята оставались выше других изучаемых микромицетов.

Модификация поверхности эритроцитов нейраминидазой позволила повысить чувствительность реакции гемагглютинации лектинов еще более значительно (в 2–8 раз). Обработка эритроцитов данным ферментом повышала активность мицелиальных лектинов всех изучаемых штаммов. Особенно значительно ферментативная обработка эритроцитов нейраминидазой позволила увеличить агглютинирующую активность мицелиальных лектинов природных изолятов *A. alternata* 2, *A. alternata* 3 — в 8 раз. Гемагглютинирующая активность *A. alternata* 4 повышалась в 4 раза, но оставалась на порядок выше других изолятов (2048 ед.), как и в случае с обработкой эритроцитов трипсином.

Менее эффективное повышение чувствительности реакции гемагглютинации наблюдалось при обработке эритроцитов протеазой. В данном варианте опыта лишь незначительное число изолятов, увеличивало титр активности в 2 раза. Среди них *A. alternata* 1, *A. alternata* 2, *A. alternata* 3, *A. solani* 7.3/4. Гемагглютинирующая активность изолята *A. alternata* 4 оставалась на уровне контроля (512 ед.).

Скрининг изолятов показал, что из исследованных микромицетов рода *Alternaria* наиболее активный штамм, способный к синтезу лектинов, — изолят, полученный с зерна пшеницы (*Alternaria alternata* 4). Он был исследован нами с помощью молекулярно-генетического анализа.

Для установления видовой принадлежности изучаемого изолята, мы определили структуру его нуклеотидной последовательности района ITS и гена *tub2* (табл. 2).

Таблица 2

Нуклеотидная последовательность продукта ПЦР амплификации района ITS и гена *tub2* у изолята *Alternaria alternata* 4

Продукт амплификации	Нуклеотидные последовательности	Сходство с референсной последовательностью, %	Референсная последовательность (Ac. N. GenBank)
ITS1	TCTTGGTCATTTAGAGGAAGTA AAAGTCGTAACAAGTCTCCGT AGGTGAACCTGCGGAGGGATC ATTACASAAATATGAAGGCGG GCTGGAACCTCTCGGGGTACA GCCTTGCTGAATTATCACCCCTT GTCTTTGCGTACTTCTTGTTTCC TTGGTGGGTTCGCCACCACTA GGACAAACATAAACCTTTTGTA ATTGCAATCAGCGTCAGTAACA AATTAATAATTACAACCTTTCAA CAACGGATCTCTTGGTTCTGGC ATCGATGAAGAACGCAGCAA	100	Фрагмент гена ITS1 Ac.N. MZ577141.1 <i>Alternaria alternata</i> Aa14



Продукт амплификации	Нуклеотидные последовательности	Сходство с референсной последовательностью, %	Референсная последовательность (Ac. N. GenBank)
Фрагмент гена <i>b</i> -тубулина (<i>tub2</i>)	TGTGACACCTTCCGACCGGCCA GTGCGTAAGCTCTTCTCCTCA AACATCCAGACGACAGCTAAT AGTGTTTTTCAGGGTAACCAAAT CGGTGCTGCCTTTTGGCAGACC ATCTCCGGCGAGCATGGCCTCG ACGGCTCTGGTGTCTACAACGG SACTTCAGACCTCCAGTTGGAG CGCATGAACGTCTACTTCAACG AAGTACGTCACTCGATATTCCA TACGGCAGATAAAAAGGCCAAT ACTGATCTATAGCAGGCGTCCA ACAACAAGTTCGTGCCCCGTGC CGTCCTCGTCGATCTCGAGCCC GGTACCATGGACGCCGTCCGCG CTGGTCCCTTCGGCCAGCTGTTC CGCCCTGACAACCTTCGTCTTGG CCAAATCCGGA	100	Фрагмент гена <i>b</i> -тубулина (<i>tub2</i>) Ac.N. MK412870.1 <i>Alternaria alternata</i> MFLUCC 18-1558

Анализ нуклеотидной последовательности района ITS и гена *tub2* с учетом морфологической характеристики исследуемого изолята позволил установить, что штамм принадлежит к отделу Ascomycota, классу Ascomycetes, подклассу Dothideomycetidae, порядку Pleosporales, семейству Pleosporaceae, виду *Alternaria alternata*.

Заключение

Проведенные исследования показали, что род *Alternaria* способен синтезировать как экзогенные, так и эндогенные лектины. Титр активности эндогенных лектинов на порядок выше экзогенных, как и у ряда других микромицетов.

Исследованные изоляты новых и музейных штаммов микромицетов рода *Alternaria* показали разный титр активности лектинов. Повысить чувствительность метода гемагглютинирующей реакции и титр активности лектинов удалось с помощью ферментов. В нашем случае лучшие результаты были получены при обработке эритроцитов нейроминидазой, как и в случае с определением активности мицелиальных лектинов рода *Fusarium*.

Скрининг изолятов на способность к синтезу активных лектинов выявил изолят *Alternaria alternata* 4 (*зерно*), который был способен к образованию лектинов с наибольшим титром активности (512 ед.). Для подтверждения его принадлежности к роду *Alternaria* и дальнейшей передачи нового изолята в GenBank был проведен молекулярно-генети-



ческий анализ. Результаты исследований показали, что выделенный изолят принадлежит к отделу Ascomycota, классу Ascomycetes, подклассу Dothideomycetidae, порядку Pleosporales, семейству Pleosporaceae, виду *Alternaria alternata*. Данный изолят, синтезирующий активные лектины, может быть использован в дальнейшем в качестве продуцента не только лектинов, но и других биологически активных веществ.

Проведенные нами исследований способности различных видов рода *Alternaria* позволяют расширить знания в области лектинологии микромицетов и открывают возможность их использования в биологии, а в дальнейшем и в медицине.

Список литературы

115

1. El-Maradny Y. A., El-Fakharany E. M., Abu-Serie M. M. et al. Lectins purified from medicinal and edible mushrooms: Insights into their antiviral activity against pathogenic viruses // J. Biol. Macromol. 2021. Vol. 179. P. 239–258. doi: 10.1016/j.jbimac.2021.03.015.

2. Santos M., Silvia T., Napoleao P. et al. Lectins: Function, structure, biological properties and potential applications // Research Trends. Current Topics in Peptide & Protein Research. 2014. Vol. 15. P. 41–62.

3. Багаева Т. В., Мухаммадиев Рин. С., Мухаммадиев Рин. С., Алимова Ф. К. Скрининг микромицетов по способности к синтезу лектинов // Микология и фитопатология. 2014. Т. 48, №2. С. 107–111. EDN: RYLIQX.

4. Ганнибал Ф. Б. Мониторинг альтернариозов сельскохозяйственных культур и идентификация грибов рода *Alternaria* // Российская академия сельскохозяйственных наук ВИЗР. СПб., 2011. EDN: UBBHJV.

5. Fung F., Tappen D., Wood J. *Alternaria*-associated asthma // Appl. Occup. Environ. Hygiene. 2000. P. 924–927. doi: 10.1080/104732200750051157.

6. Далинова А. А., Салимова Д. П., Берестецкий А. О. Грибы рода *Alternaria* как продуценты биологически активных соединений и биогербицидов // Прикладная биохимия и микробиология. 2020. Т. 56, № 3. С. 223–241. doi: 10.31857/S0555109920030022. EDN: EZMZUB.

7. Берестецкий А. О., Далинова А. А., Волосатова Н. С. Профили метаболитов и биологическая активность экстрактов из культуры гриба *Alternaria sonchi* S-102 при различных способах его культивирования // Прикладная биохимия и микробиология. 2019. Т. 55, №3. С. 271–281. doi: 10.1134/S0555109919030048. EDN: ZADCDJ.

8. Duke S. O., Owens D. K., Dayan F. E. Control: Sustainability, Hazards, and Risks in Cropping Systems Worldwide / eds. N. E. Korres, N. R. Burgos, S. O. Duke. Boca Raton, 2019. doi: 10.1201/9781315155913-8

9. Hugo F. J., Evandro A. M., Wildson S. M. B. et al. Molecular mechanisms involved in the antitumor activity of isolated lectins from marine organisms: A systematic review // Current Drug Targets. 2020. Vol. 21, №6. P. 616–625. doi: 10.2174/1389450120666191122113850.

10. Yu H., Shu J., Li Zh. Lectin microarrays for glycoproteomics: an overview of their use and potential // Exp. Rev. Proteomics. 2020. Vol. 17, №1. P. 27–39. doi: 10.1080/14789450.2020.1720512.



11. Lastovickova M., Strouhalova D., Bobalova J. Use of lectin-based affinity techniques in breast cancer glycoproteomics // *J. Proteome Res.* 2020. Vol. 19, №5. P. 1885–1899. doi: 10.1021/acs.jproteome.9b00818.
12. Fujii Y. Methods in molecular biology. Purification and functional characterization of the effects on cell signaling of Mytillectin // *Lectin Purific. & Anal. Chap.* 21. 2020. P. 201–213. doi: 10.1007/978-1-0716-0430-4_21.
13. Larroque M., Barriot R., Bottin A. et al. The unique architecture and function of cellulose-interacting proteins in oomycetes revealed by genomic and structural analyses // *BMC Genomics.* 2012. Vol. 13. P. 605–609. doi: 10.1186/1471-2164-13-605.
14. Мухаммадиев Рин. С., Мухаммадиев Рин. С., Скворцов Е. В. и др. Выделение, очистка и характеристика лектина *Fusarium solani* 4 // *Прикладная биохимия и микробиология.* 2021. Т. 57, №2. С. 145–151. doi: 10.31857/S0555109921020094. EDN: BDVBAD.
15. Луцук М. Д., Панасюк Е. Н., Луцук А. Д. ЛЕКТИНЫ. Львов, 1981.
16. Bhari R., Kaur B., Singh R. S. Lectin activity in mycelial extracts of *Fusarium* species // *Brazilian journal of microbiology.* 2016. P. 775–780. doi: 10.1016/j.bjm.2016.04.024.
17. Sambrook J., Russel D. W. Molecular cloning: a laboratory manual // Cold Spring Harbor Laboratory Press. 2001.
18. Raja H. A., Miller A. N., Pearce C. J., Oberlies N. H. Fungal Identification Using Molecular Tools: A Primer for the Natural Products Research Community // *J. Nat. Prod.* 2017. Vol. 80. P. 765–770. doi: 10.1021/acs.jnatprod.6b01085.
19. Brazee N. J., Hulvey J. P., Wick R. L. Evaluation of partial *tef1*, *rpb2*, and *nLSU* sequences for identification of isolates representing *Armillaria calveacens* and *Armillaria gallica* from northeastern North America // *Fungal Biol.* 2011. Vol. 115, №8. P. 741–749. doi: 10.1016/j.funbio.2011.05.008.

Об авторах

Михаил Рамисович Зинуров — соискатель ученой степени Казанский национальный исследовательский технологический университет, Россия.

E-mail: mihazinurov@gmail.com

SPIN-код: 7998-9647

Елена Евгеньевна Зинурова — канд. биол. наук, доц., МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России, Россия.

ORCID: 0000-0002-6639-2524

E-mail: lenazinurva@yandex.ru

SPIN-код: 3829-4775

Шамиль Завдатович Валидов — д-р биол. наук, зав. лабораторией, ФИЦ Казанский научный центр РАН, Россия.

E-mail: sh.validov@knc.ru

SPIN-код: 2226-1201

Михаил Дмитриевич Фролов — лаборант-исследователь, ФИЦ Казанский научный центр РАН, Россия.

E-mail: m.frolov@knc.ru

SPIN-код: 1992-8035



Мария Александровна Сысоева — д-р хим. наук, проф., Казанский национальный исследовательский технологический университет, Россия.

ORCID: 0000-0003-1535-8497

E-mail: SysoevaMA@corp.knrtu.ru

SPIN-код: 9378-3623

Татьяна Вадимовна Багаева — д-р биол. наук, проф., Казанский Федеральный Университет, Россия.

ORCID: 0000-0002-1672-5052

E-mail: tatbag@rambler.ru

SPIN-код: 4361-8670

*M. R. Zinurov¹, E. E. Zinurova², Sh. Z. Validov³, M. D. Frolov³,
M. A. Sysoeva¹, T. V. Bagaeva⁴*

SYNTHESIS OF LECTINS BY MICROMYCETES OF THE GENUS *ALTERNARIA*

¹ Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

² FSAEI HE I. M. Sechenov First MSMU of MOH of Russia
(Sechenovskiy University), Moscow, Russia

³ FIC KazNC RAS, Kazan, Russia

⁴ Kazan Federal University, Kazan, Russia

Received 02 September 2025

Accepted 19 January 2026

doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-7

To cite this article: Zinurov M. R., Zinurova E. E., Validov Sh. Z., Frolov M. D., Sysoeva M. A., Bagaeva T. V., 2026, Synthesis of lectins by micromycetes of the genus *Alternaria*, *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural Sciences*, №2. P. 108–118. doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-7.

Using the example of 10 micromycete strains, including museum strains of Alternaria alternata, Alternaria solani and Alternaria infectoria, as well as isolates obtained from natural samples (soil, potato tubers, and wheat seeds), the ability of micromycetes of the genus Alternaria to synthesize endogenous and exogenous lectins was established. Micromycetes of the genus Alternaria are capable of synthesizing both exogenous and endogenous lectins. It was established that the lectin activity of the studied Alternaria micromycete strains is significantly lower than that of micromycetes of the genus Fusarium. Nevertheless, it was possible to increase the lectin activity titer of Alternaria micromycetes by 2–8 times through treatment of the erythrocyte surface with neuraminidase. Among the new isolates of Alternaria micromycetes, the strain Alternaria alternata 4 (grain) synthesizing lectins with the highest activity titer (512 units) was selected. To confirm its belonging to the genus Alternaria, a molecular genetic analysis was performed, which demonstrated that the obtained strain belongs to the phylum Ascomycota, class Ascomycetes, subclass Dothideomycetidae, order Ple-



osporales, family Pleosporaceae, species *Alternaria alternata*. Comparison of the activity titers of exogenous and endogenous lectins demonstrated the predominance of intracellular lectin synthesis, making these forms the most promising for further research.

Keywords: Alternaria, lectins, micromycetes, synthesis, identification

The authors

Mikhail R. Zinurov, PhD applicant, Kazan National Research Technological University, Russia.

E-mail: mihazinurov@gmail.com

SPIN-code: 7998-9647

Dr Elena E. Zinurova, Associate Professor, I. M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), Russia.

ORCID: 0000-0002-6639-2524

E-mail: lenazinurva@yandex.ru

SPIN-code: 3829-4775

Prof. Shamil Z. Validov, Head of the Laboratory, Federal Research Center of the Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Russia.

E-mail: sh.validov@knc.ru

SPIN-code: 2226-1201

Mikhail D. Frolov, Research Assistant, Federal Research Center of the Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Russia.

E-mail: m.frolov@knc.ru

SPIN-code: 1992-8035

Prof. Maria A. Sysoeva, Kazan National Research Technological University, Russia.

ORCID: 0000-0003-1535-8497

E-mail: SysoevaMA@corp.knrntu.ru

SPIN-code: 9378-3623

Prof. Tatiana V. Bagaeva, Institute of Fundamental Medicine and Biology, Kazan Federal University, Russia.

ORCID: 0000-0002-1672-5052

E-mail address: tatbag@rambler.ru

SPIN-code: 4361-8670

О. В. Чагарова, О. А. Косицына

**ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ
ИЗ ИСТОЧНИКОВ НЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО
ВОДОСНАБЖЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ
АГРАРНОЙ ЗОНЫ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ**

Благовещенский государственный педагогический университет,
Благовещенск, Россия

Поступила в редакцию 12.01.2026 г.

Принята к публикации 28.03.2026 г.

doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-8

119

Для цитирования: Чагарова О. В., Косицына О. А. Оценка качества воды из источников нецентрализованного водоснабжения населенных пунктов аграрной зоны Амурской области // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2026. № 2. С. 119–128. doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-8.

Амурская область – крупный сельскохозяйственный регион Дальнего Востока с высокой численностью сельского населения. В большинстве случаев для питьевых, хозяйственных и бытовых целей используется вода из нецентрализованных источников. В научной литературе отсутствуют данные о современном состоянии подземных вод наиболее эксплуатируемой части региона Амуро-Зейской равнины. Оценено качество питьевой воды из источников нецентрализованного водоснабжения аграрных округов (Тамбовский, Константиновский и Архаринский) Амурской области. Отбор проб проводили по ГОСТ Р 59024-2020 в период март – май 2025 г. Глубина скважин составляла 90 – 250 м. Исследованные источники относятся к глубоким трубчатым колодцам, находящимся в индивидуальном пользовании. Изучение состава подземной воды выполняли в эколого-химической лаборатории Благовещенского государственного педагогического университета методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель 205», катионный состав по ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000, анионный состав по ПНД Ф 14.1:2:3:4.282-18, водородный показатель по РД 52.24.495-2017. Полученные результаты сравнивали с СанПиН 1.2.3685-21. В воде населенных пунктов Куропатино и Архара выявлено превышение ПДК по нитритам, в воде из Лозового и Куропатино – по литию и калию соответственно. В пробах воды из населенных пунктов Косицино и Отважное обнаружено повышенное содержание нитрит-ионов и ионов бария. Вода, отобранная из скважин Новопетровки содержит высокие концентрации катионов лития и бария. Вода из нецентрализованных источников водоснабжения с. Садового по 6 показателям не соответствует нормативам. Выявлено превышение содержания нитрит- и нитрат-ионов, фтора, калия, фосфатов



и бария. В целом необходимо отметить, что в Тамбовском, Константиновском и Архаринском муниципальных округах выявлено повышенное содержание катиона бария и нитрит-ионов.

Ключевые слова: питьевая вода, нецентрализованное водоснабжение, катионы, анионы

Введение

Амурская область является аграрным регионом. Население, проживающее в сельской местности, в большинстве случаев использует воду для питьевых и хозяйственно-бытовых целей из нецентрализованных источников водоснабжения. Наиболее интенсивная эксплуатация подземных вод в Амурской области осуществляется на территории Амура-Зейского артезианского бассейна. По химическому составу подземные воды Амурской области гидрокарбонатные смешанного катионного состава, ультрапресные с минерализацией 0,06–0,1 г/л; очень мягкие, кислотность составляет 6,2–7,0; залегают в аллювиальном водоносном горизонте.

Авторами [1] изучен химический состав подземных вод и установлены концентрации ионов Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , F^- , NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ba^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Al^{3+} , Mn^{2+} , HCO_3^- , определена кислотность и жесткость природной воды. Выявлено превышение концентрации SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , Mn^{2+} , Ba^{2+} .

В малых населенных пунктах не проводится мониторинг качества питьевой воды, особенно на территории частных домохозяйств. В литературе отсутствуют сведения о современном химическом составе питьевой подземной воды в поселениях аграрной части региона – Тамбовский, Константиновский и Архаринский округа.

Цель исследования: оценка качества питьевой воды из источников нецентрализованного водоснабжения аграрных округов (Тамбовский, Константиновский и Архаринский) Амурской области.

Обсуждение и результаты

Материалы и объекты

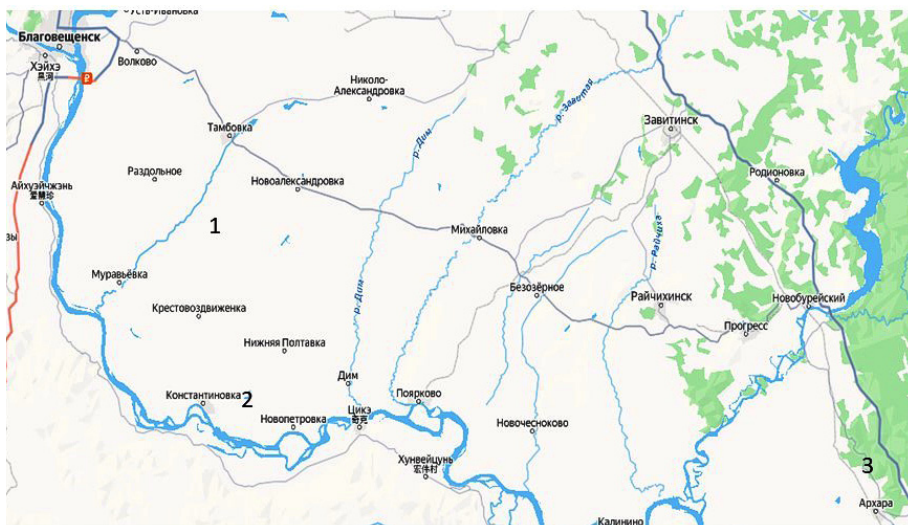
Отбор проб подземной питьевой воды из системы нецентрализованного водоснабжения проводился по ГОСТу Р 59024-2020 в период март – май 2025 г. В течение всего периода отобрано девять проб в трехкратной повторности. Все скважины располагаются на территории частных домовладений Тамбовского, Константиновского и Архаринского округов Амурской области и имеют глубину 90–250 м. Изученные источники относятся к глубоким трубчатым колодцам, находящимся в индивидуальном пользовании.

Исследование состава подземной питьевой воды выполняли в эколого-химической лаборатории Благовещенского государственного педагогического университета методом капиллярного электрофореза с использованием системы «Капель 205», катионный состав по



ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000, анионный состав по ПНД Ф 14.1:2:3:4.282-18; водородный показатель по РД 52.24.495-2017. Полученные результаты сравнивали с СанПиН 1.2.3685-21.

Схема расположения точек пробоотбора представлена на рисунке. Выбор точек пробоотбора определялся доступностью источников и согласием респондентов.



121

Рис. Места отбора проб воды из нецентрализованных источников водоснабжения: 1 – Тамбовский округ; 2 – Константиновский округ; 3 – Архаринский округ (масштаб 1:500000)

Амурская область занимает трансграничное положение и граничит через реку Амур с Китайской народной республикой [2]. Тамбовский муниципальный округ расположен в центральной части Амурской области, юго-восточнее Благовещенска. Граничит с соседними муниципальными округами области; рельеф равнинный со слабо выраженными возвышенностями. Аграрный комплекс определяет нагрузку на почвенные и водные ресурсы. Константиновский округ находится в центральной части Амурской области, восточнее Благовещенска. Граничит с соседними муниципалитетами области; территория преимущественно равнинная, с плодородными лугово-черноземовидными и аллювиальными почвами. Архаринский округ расположен в западной части Амурской области, южнее Зейско-Бурейской равнины, на левобережье реки Архара и рядом с Амуром; граничит с другими муниципалитетами области, с ЕАО и Хабаровским краем [3]. Территория включает равнинные участки, речные долины и поймы, почвы аллювиальные и дерново-подзолистые. Речные системы обеспечивают водные ресурсы, возможны весенние паводки.

В отобранных пробах воды определены качественные и количественные показатели содержания анионов, катионов и pH. Результаты представлены в таблице.

Содержание химических элементов в пробах воды источников нецентрализованного водоснабжения, мг/дм³

Определяемый параметр	Тамбовский округ						Константиновский округ			Архаринский округ		ПДК
	Куропатино		Косицино	Садовое	Лозовое	Муравьевка	Верхняя Полтавка	Новопетровка	Архара	Отважное		
	Куропатино	Косицино	Садовое	Лозовое	Муравьевка							
<i>Анионы, мг/дм³</i>												
Cl ⁻	12,03	58,02	26,11	2,22	2,22	3,51	20,93	0,41	28,93	57,17	350	
NO ₂ ⁻	96,98	141,00	8,30	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	44,14	54,02	0,08	
SO ₄ ²⁻	9,73	99,31	38,15	0,91	0,91	17,99	24,50	3,61	31,67	32,99	500	
NO ₃ ⁻	0,01	0,33	62,03	<0,2	<0,2	21,15	2,52	0,03	0,81	1,49	45	
F ⁻	0,05	0,12	8,27	<0,1	<0,1	<0,1	0,16	<0,1	0,07	<0,1	1,5	
PO ₄ ³⁻	0,89	1,79	21,08	<0,25	<0,25	<0,25	0,33	<0,25	0,61	1,20	3,5	
<i>Катионы, мг/дм³</i>												
NH ₄ ⁺	0,71	0,34	1,99	0,24	0,24	<0,5	<0,5	<0,5	0,18	<0,5	2	
K ⁺	0,63	3,37	257,85	0,51	0,51	143,30	<0,5	1,88	2,36	4,79	20	
Na ⁺	21,03	25,73	0,31	156,35	0,31	80,60	85,38	101,75	30,04	34,63	200	
Li ⁺	<0,015	<0,015	<0,015	0,67	0,67	<0,015	43,69	0,09	<0,015	<0,015	0,03	
Mg ²⁺	9,75	18,73	5,98	0,54	0,54	9,62	<0,25	2,82	23,08	19,09	50	
Sr ²⁺	0,09	0,61	0,32	<0,25	<0,25	0,27	43,69	0,48	0,32	0,47	7	
Ba ²⁺	<0,05	0,92	0,14	<0,05	<0,05	<0,05	0,22	0,21	<0,05	0,16	0,1	
Ca ²⁺	30,14	55,05	24,62	5,35	5,35	35,20	25,60	24,16	32,50	38,99	180	
pH	6,9	6,65	6,03	7,7	7,7	6,44	5,5	7,09	6,1	5,6	6-9	





Для оценки качества питьевой воды определяют концентрацию хлорид-ионов в ней. Хлориды являются соединениями четвертого класса опасности, способны раздражать слизистые оболочки глаз, кожные покровы, дыхательные пути, нарушать водно-солевой баланс [4]. Во всех изученных образцах воды из нецентрализованных источников водоснабжения обнаружены хлорид-ионы. Так, в образцах воды из Тамбовского округа концентрация хлоридов изменяется в пределах 2,22 мг/дм³ (с. Лозовое) – 58,02 мг/дм³ (с. Косицино), Константиновского округа – длина 0,41–20,93 мг/дм³, в образцах воды из скважин Архаринского округа концентрация хлоридов варьирует в пределах длины 28,93–57,17 мг/дм³.

Нитрит-ионы относятся ко второму классу опасности [5]. Согласно нормам СанПиН, в питьевой воде ПДК нитритов не должна быть выше 0,08 мг/дм³. Концентрация NO₂⁻ в изученных образцах значительно превышает ПДК, за исключением проб воды из скважин села Лозовое, Муравьевка и Нижняя Полтавка. Вода из источников нецентрализованного водоснабжения населенных пунктов Куропатино и Косицино характеризуется высокой концентрацией нитрит-ионов 96,98 и 141,00 мг/дм³ соответственно. В пробах воды пгт Архара и с. Отважное концентрация нитрит-ионов составляет 44,14–54,02 мг/дм³. Наименьшее содержание нитрит-ионов содержится в воде из источников нецентрализованного водоснабжения зафиксировано в с. Садовое (8,30 мг/дм³) [6].

Сульфат-ионы являются соединениями четвертого класса опасности, малотоксичны [7; 8]. Использование воды с высокой концентрацией SO₄²⁻ снижает вкусовые характеристики воды, может привести к расстройству ЖКТ. Концентрация сульфат-ионов во всех исследуемых пробах воды не превышает значение ПДК. Наименьшее содержание сульфат-ионов выявлено в пробах воды с. Лозовое, Новопетровка. В остальных пробах концентрация сульфат-ионов колеблется от 17,99 мг/дм³ в источниках нецентрализованного водоснабжения с. Муравьевка до 99,31 мг/дм³ в пробах воды с. Косицино.

В соответствии с требованиями СанПиН концентрация нитратов не должна превышать 45 мг/дм³. Нитрат-ионы относятся к группе веществ третьего класса опасности, влияют на обмен веществ и в целом на здоровье. Нитраты, попадая в организм, разрушают гемоглобин крови, что нарушает дыхание клеток. В организме человека накапливается молочная кислота, холестерин и снижается количество белка [9].

В образцах воды из источников нецентрализованного водоснабжения с. Садовое концентрация нитрат-ионов составляет 62,03 мг/дм³, что в 1,4 раза превышает значение ПДК. Минимальное количество нитрат-ионов выявлено в пробах воды с. Куропатино и Новопетровка: 0,01 и 0,03 мг/дм³ соответственно. Нитраты не обнаружены в пробах воды с. Лозовое.

Фториды – соединения второго класса опасности. На территории региона нет достоверных данных о содержании фторидов в подземных водах. Высокое содержание фтора в воде может привести к поражениям зубов, деформации костей и нарушению обмена веществ [10–12]. В исследованных образцах воды отмечено превышение ПДК по фторидам



только в с. Садовое в среднем в 5,5 раза (8,27 мг/дм³). В остальных пробах ионы фтора не были обнаружены или содержатся в малых концентрациях.

По СанПиН 1.2.3685-21 фосфаты в воде относятся к третьему классу опасности (опасны по органолептическому признаку) [13]. Превышение ПДК по фосфат-иону в 6 раз обнаружено в пробах воды из с. Садовое. Фосфаты отсутствуют в образцах, отобранных в с. Лозовое, Муравьевка и Новопетровка. В остальных пробах воды из источников нецентрализованного водоснабжения концентрация фосфатов ниже значений ПДК.

Анализ электрофореграмм образцов воды из нецентрализованных источников водоснабжения показал присутствие следующих катионов: NH₄⁺, K⁺, Na⁺, Li⁺, Mg²⁺, Sr²⁺, Ba²⁺, Ca²⁺ (см.: табл. с. 122).

Согласно СанПиН 2.1.4.1074-01 содержание аммония в воде не должно превышать предельно допустимых концентраций — 2,0 мг/дм³ для питьевых вод. В анализируемых пробах воды обнаружены ионы аммония, но они не превышают значение ПДК. В образцах из населенных пунктов Муравьевка, Верхняя Полтавка, Новопетровка и Отважное ионы аммония не выявлены.

Катионы калия относятся к четвертому классу опасности. ПДК калия в питьевой воде по российским стандартам — 20 мг/дм³, по европейским — 12 мг/дм³. В образцах воды с. Садовое и Муравьевка отмечено превышение ПДК по катиону калия в 7,0–12,9 раз. Употребление воды с высоким содержанием калия может привести к почечной и сердечной недостаточности [14].

Ионы натрия относятся ко второму классу опасности, ПДК натрия в питьевой воде составляет 200 мг/дм³. Во всех изученных образцах питьевой воды из нецентрализованных источников водоснабжения не наблюдается превышение ПДК по катиону натрия. Максимальная концентрация (156,35 и 101,75 мг/дм³) выявлена в пробах воды с. Лозовое и Новопетровка. В пробах воды из населенных пунктов Муравьевка и Верхняя Полтавка содержание катиона натрия составляет 80,6 и 85,38 мг/дм³ соответственно. Минимальное содержание катиона натрия (0,31 мг/дм³) зафиксировано в воде с. Садовое.

Повышенная концентрация магния в воде увеличивает риски развития синдрома дыхательного паралича и сердечной блокады, вызывает раздражение ЖКТ, а недостаток приводит к тахикардии и фибрилляции сердечной мышцы. Норма магния в воде не должна превышать 5–50 мг/дм³ [15]. Его содержание в воде из источников нецентрализованного водоснабжения колеблется от 0,54 мг/дм³ в пробах воды с. Лозовое до 23,08 мг/дм³ в воде, отобранной в пгт Архара. В образцах воды с. Верхняя Полтавка содержание магния менее предела обнаружения. Вода в Верхней Полтавке, вероятно, относится к натриевому типу с низким содержанием щелочноземельных элементов, поэтому содержание натрия высокое, а калия и магния — ниже предела обнаружения.

Ионы лития обнаружены в пробах воды с. Лозовое, Верхняя Полтавка и Новопетровка. Концентрация их в воде превышает ПДК в 3 раза в пробах, отобранных в с. Новопетровка и в 1456 раз в пробах в с. Верхняя Полтавка.



Стронций в организме человека влияет на процессы костеобразования и укрепления эмали зубов. Вода, в которой концентрация стронция менее 7 мг/дм^3 , является безопасной. Для изучаемых образцов воды превышение ПДК по стронцию в 6 раз выявлено только в пробах воды с. Нижняя Полтавка. В пробах воды с. Лозовое стронций не обнаружен. В целом содержание стронция в отобранных пробах воды низкое и составляет от $0,09 \text{ мг/дм}^3$ до $0,61 \text{ мг/дм}^3$.

В соответствии со стандартом, содержание бария в питьевой воде не должно превышать $0,1 \text{ мг/дм}^3$. Его высокая концентрация может вызвать расстройство пищеварительной и нервной системы. В образцах воды населенных пунктов Куропатино, Лозовое, Муравьевка и Архара барий отсутствует. В остальных пробах воды установлено превышение концентрации катиона бария в 1,4–9,2 раза.

ПДК катионов кальция в воде не должна превышать 180 мг/дм^3 . При недостатке кальция происходит самопроизвольное сокращение мышечных клеток, судорожное сокращение сердца, нарушается свертывание крови и нормальное образование костей. При избытке он откладывается в виде солей в почках и мочевыводящих путях. В исследуемых пробах воды из нецентрализованного водоснабжения не отмечено превышение ПДК ионов кальция. Низкая концентрация катионов кальция выявлена в пробах воды с. Лозовое ($5,35 \text{ мг/дм}^3$), максимальная — в образцах, отобранных в с. Косицино. Кислотность ниже значений ПДК отмечена только в пробах воды с. Верхняя Полтавка.

Повышенное содержание в пробах воды нецентрализованного водоснабжения катионов Li^+ , Sr^{2+} , Ba^{2+} , и анионов F^- обусловлено геохимическим составом водовмещающих пород, характерных для Амурской области. Источниками водоснабжения являются воды кайнозойских, мезозойских отложений, базальты, содержащие вышеперечисленные ионы. Помимо этого, литий, стронций, барий и фтор — типичные спутники рудных месторождений, имеющиеся на территории региона. В Амурской области находятся термальные и углекислые природные минеральные воды, способные растворять горные породы и способствовать накоплению лития, стронция, бария и фтора [16]. Высокое содержание NO_2^- в пяти пробах воды говорит об активном процесс нитрификации или денитрификации. Источником нитритов выступает сельское хозяйство. Высокая концентрация нитритов, нитратов, фосфатов и калия в подземных водах с. Садовое объясняется расположением водонапорной станции в понижении рельефа в непосредственной близости от озера и на незначительном удалении от неэксплуатируемой животноводческой фермы.

Заключение

Таким образом, пробы воды из нецентрализованных источников водоснабжения не соответствуют критериям безопасности по следующим показателям: превышено содержание нитритов и нитратов, фтора, фосфатов, калия, лития, стронция и бария. Владельцам источников рекомендуется дополнительная очистка воды от вредных примесей и специальная водоподготовка.



Необходимо организовать систематическую проверку качества воды индивидуальных источников с выдачей рекомендаций по ее использованию.

Список литературы

1. Амурская область // Большая Российская энциклопедия. URL: <https://old.bigenc.ru/geography/text/5606742> (дата обращения: 28.10.2025).

2. Система земледелия Амурской области: производственно-практический справочник / под общ. ред. П. В. Тихончука. Благовещенск, 2016.

3. Сорокина А. Т., Попов А. А. Природный гидрохимический фон питьевых подземных вод южных районов Амурской области // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2007. №25. С. 97–98. EDN: RODAKF.

4. СанПиН 2.1.4.1116-02. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества : утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 07.04.2002 г. №10. М., 2002.

5. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Дальневосточного федерального округа за 2021 г. «Дальневосточный региональный центр государственного мониторинга состояния недр» / под ред. С. А. Козлова. Хабаровск, 2022.

6. Прибылова В. Н. Проблемы и пути совершенствования нормирования показателей качества питьевых вод // Вестник Харьковского национального университета. Сер.: Геология. География. Экология. 2014. №41. С. 57–62.

7. Гончарук В. В., Зуй О. В., Мельник Л. А. и др. Оценка физиологической полноценности питьевой воды методом биотестирования // Химия в интересах устойчивого развития. 2021. Т. 29, №1. С. 35–41. doi: 10.15372/KhUR2021275. EDN: SXLLON.

8. Игнатьева Л. П., Потапова М. О. Гигиена питьевого водоснабжения : учеб. пособие. Иркутск, 2015.

9. Щучинов Л. В., Кац В. Е., Савенко К. С. и др. Содержание азотсодержащих соединений в подземных водах Республики Алтай // Медицина труда и экология человека. 2025. №3. С. 135–149. doi: 10.24412/2411-3794-2025-10309. EDN: GKQQVH.

10. Рождественская Т. А., Пузанов А. В., Горбачев И. В. Нитраты и нитриты в поверхностных и подземных водах Алтая // МНКО. 2008. №2. С. 19–22. EDN: IQWSVJ.

11. Аверина Е. А., Андаякова И. А., Зарецкая С. В., Ковалева Ю. В. Нитраты в колодезной воде Владивостока // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2013. №2-3 (52). С. 28–29. EDN: RCLVGR.

12. Венгловский В. В., Жакенова С. Р. Интенсивность заболевания кариесом и флюорозом в регионах с высоким содержанием фтора в питьевой воде: обзор литературы // West Kazakhstan Medical Journal. 2021. №2 (63). С. 50–55. doi: 10.24412/2707-6180-2021-63-50-55. EDN: TCICQV

13. Шабарин А. А., Водяков В. Н., Котин А. В. и др. Очистка питьевой воды от фторидов методом обратного осмоса // Вестник Мордовского университета. 2018. №1. С. 36–47. doi: 10.15507/0236-2910.028.201801.036-047.



14. Беляев В. В., Гаврилова О. А., Беляев И. В. и др. Распространенность зубочелюстных аномалий в условиях продолжительного поступления вариативных концентраций системных фторидов: обзор литературы // *Acta Biomedica Scientifica*. 2023. № 1. С. 158 – 169. doi: 10.29413/ABS.2023-8.1.18.

15. Ямпольская Т. Д., Дубровская Н. Ю. Оценка качества питьевой воды источников индивидуального водопользования дачных участков сургутского района // *МНИЖ*. 2024. № 4 (142). С. 1 – 7. doi: 10.23670/IRJ.2024.142.39. EDN: PINKXV.

16. *Гидрогеология СССР*. Том XXIII. Хабаровский край и Амурская область. Дальневосточное территориальное геологическое управление / под ред. Н. А. Маринова. М., 1971.

Об авторах

127

Ольга Викторовна Чагарова — канд. хим. наук, доц., Благовещенский государственный педагогический университет, Россия.

ORCID: 0009-0006-2253-470X

E-mail: olga_chagarova.bgpu@mail.ru

SPIN-код: 9334-1573

Ольга Александровна Косицына — канд. с.-х. наук, доц., Благовещенский государственный педагогический университет, Россия.

ORCID: 0009-0000-9712-3231

E-mail: ivanolga2005@mail.ru

SPIN-код: 1878-6770

O. V. Chagarova, O. A. Kositsyna

ASSESSMENT OF WATER QUALITY FROM UNCENTRALIZED WATER SUPPLY SOURCES IN RURAL AREAS OF THE AMUR REGION

Blagoveshchensk State Pedagogical University, Blagoveshchensk, Russia

Received 12 January 2026

Accepted 28 March 2026

doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-8

To cite this article: Chagarova O. V., Kositsyna O. A., 2026, Assessment of Water Quality from Uncentralized Water Supply Sources in Rural Areas of the Amur Region, *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural Sciences*, № 2. P. 119 – 128. doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-8.

The Amur Region is a major agricultural area of the Russian Far East with a high rural population density. In most cases, water from decentralized sources is used for drinking, household, and domestic purposes. The scientific literature lacks data on the current state of groundwater in the most intensively exploited part of the region, the Amur-Zeya Plain. The quality of drinking water from decentralized water supply sources in the agricultural districts (Tambovsky, Konstantinovsky, and Arkharinsky) of the Amur Region was assessed. Water samples were collected in accordance with GOST R 59024-2020 during the period from March to May



2025. The depth of the wells ranged from 90 to 250 m. The investigated sources were deep tubular wells used for individual purposes. The study of groundwater composition was carried out in the environmental chemistry laboratory of Благовещенский State Pedagogical University using the capillary electrophoresis method with the "Kapel 205" capillary electrophoresis system; cation composition was determined according to FERD 14.1:2:4.167-2000 (Federal Environmental Regulatory Documents), anion composition according to FERD 14.1:2:3:4.282-18, and pH according to RD 52.24.495-2017. The obtained results were compared with SanPiN 1.2.3685-21 standards. In the water of the settlements of Kuropatino and Arkhara, MPC exceedances for nitrites were identified, while water from Lozovoye and Kuropatino showed exceedances for lithium and potassium, respectively. Water samples from the settlements of Kositsino and Otvazhnoye contained elevated concentrations of nitrite ions and barium ions. Water collected from wells in Novopetrovka contained high concentrations of lithium and barium cations. Water from decentralized water supply sources in the village of Sadovoye did not comply with standards for six indicators. Exceedances were identified for nitrite and nitrate ions, fluorine, potassium, phosphates, and barium. In general, it should be noted that elevated concentrations of barium cations and nitrite ions were identified in the Tambovsky, Konstantinovskiy, and Arkharinsky municipal districts.

Keywords: drinking water, decentralized water supply, cations, anions

The authors

Dr Olga V. Chagarova, Associate Professor, Blagoveshchensk State Pedagogical University, Russia.

ORCID: 0009-0006-2253-470X

E-mail: olga_chagarova.bgpu@mail.ru

SPIN-code: 9334-1573

Dr Olga A. Kositsyna, Associate Professor, Blagoveshchensk State Pedagogical University, Russia.

ORCID: 0009-0000-9712-3231

E-mail: ivanolga2005@mail.ru

SPIN-code: 1878-6770

Д. И. Гумеров

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ЛАБИЛЬНОСТЬ *VARROA DESTRUCTOR*
КАК ФАКТОР ЭПИЗОТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
В ПОПУЛЯЦИЯХ *APIS MELLIFERA CARPATICA*

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

Поступила в редакцию 15.02.2026 г.

Принята к публикации 30.03.2026 г.

doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-9

129

Для цитирования: Гумеров Д. И. Генетическая лабильность *Varroa Destructor* как фактор эпизоотического процесса в популяциях *Apis Mellifera Carpatica* // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2026. № 2. С. 127–138 doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-9.

Глобальное сокращение популяций медоносных пчел (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758) представляет серьезную угрозу для опыления сельскохозяйственных культур и продовольственной безопасности в целом. Среди множества факторов, вызывающих ослабление и гибель пчелиных семей, ключевое место занимает варроатоз – инвазионное заболевание, вызываемое эктопаразитическим клещом *Varroa destructor*. Несмотря на десятилетия исследований и применения различных методов борьбы, эффективность контроля над этим паразитом остается неполной. Проведен комплексный анализ генетической структуры популяций *V. destructor*, паразитирующих в семьях карпатской пчелы (*A. m. carpatica*) в условиях Республики Татарстан, в контексте концепции генетической лабильности паразита и его адаптационного потенциала. Проведено секвенирование фрагмента митохондриального гена *cox1* и филогенетический анализ методом ближайших соседей (*Neighbor-Joining*) с использованием 103 референтных последовательностей из базы GenBank. Установлено, что исследованные образцы принадлежат к корейскому (K) гаплотипу и кластеризуются с соответствующими изолятами. Выявленный однонуклеотидный полиморфизм (A/T-трансверсия) в двух образцах указывает на наличие внутрипопуляционной генетической дифференциации. Показано, что генетическая лабильность паразита, выражающаяся в существовании множественных геноваров в пределах одной колонии и их способности к быстрой смене доминирующих гаплогрупп под действием селективных факторов, является недооцененным фактором, снижающим эффективность акарицидных обработок и селекции устойчивых пород пчел. Обсуждаются поведенческие адаптации клеща, включая его способность модифицировать углеводородный профиль кутикулы хозяина и изменять трофические предпочтения в зависимости от плотности популяции. Полученные данные обосновывают необходимость регулярного молекулярно-генетического мониторинга структуры популяций *V. destructor* как обязательного элемента системы ветеринарно-санитарного надзора в пчеловодстве.

Ключевые слова: *Varroa destructor*, *Apis mellifera*, генетическая лабильность, геновар, филогения, митохондриальная ДНК, коадаптация



Введение

Современное пчеловодство переживает один из наиболее сложных периодов в своей истории. Накопленный за последние два десятилетия массив эмпирических данных неопровержимо свидетельствует о прогрессирующем сокращении популяций медоносных пчел в Северной Америке, Европе и Азии [1–3]. Учитывая, что на долю *A. mellifera* приходится около 80–90% опыления энтомофильных сельскохозяйственных культур, сложившаяся тенденция создает прямую угрозу глобальной продовольственной и пищевой безопасности [4–7]. Сокращение численности пчелиных семей имеет мультифакториальную природу, при этом различные факторы действуют синергетически, усиливая негативный эффект друг друга [7]. К числу основных причин исследователи относят интенсификацию мировой торговли пчелами и продуктами пчеловодства [4; 5; 7–9], что способствует интродукции неместных видов и патогенов в новые регионы; потерю и фрагментацию естественных кормовых угодий вследствие интенсификации сельского хозяйства и урбанизации [8; 10; 11]; загрязнение окружающей среды поллютантами [1; 12–14], пестицидами и агрохимикатами [15–18], оказывающими сублетальное воздействие на нервную систему и иммунитет насекомых; широкое распространение инфекционных и инвазионных болезней [19–22], среди которых варроатоз занимает лидирующее положение [23; 24].

Возбудителем варроатоза являются микроскопические клещи рода *Varroa* (Parasitiformes: Mesostigmata: Varroidae), специализированные эктопаразиты пчел рода *Apis*. Долгое время считалось, что глобальное распространение инвазии связано с видом *V. jacobsoni*, однако молекулярно-генетические исследования рубежа XX–XXI в. позволили пересмотреть таксономию и выделить вид *V. destructor*, который и оказался истинным виновником массовой гибели колоний *A. mellifera* [24]. *V. jacobsoni*, в отличие от *V. destructor*, сохраняет строгую специфичность к исходному хозяину – азиатской пчеле *A. cerana* и не способен эффективно размножаться на европейской пчеле. Жизненный цикл *V. destructor* тесно синхронизирован с развитием пчелиной семьи. Самка клеща проникает в ячейку с личинкой пчелы непосредственно перед ее запечатыванием. После запечатывания ячейки она откладывает яйца на развивающуюся куколку. Питание клещей осуществляется гемолимфой и клетками жирового тела – ключевого органа метаболизма и иммунитета насекомого. Вышедшие из яиц нимфы и имаго питаются на той же куколке, спариваются в ячейке, и после выхода молодой пчелы оплодотворенные самки покидают ячейку вместе с ней, начиная новый цикл на взрослых особях или проникая в новые ячейки с расплодом. Помимо прямого патогенного действия, связанного с изъятием питательных веществ и травмированием покровов, *V. destructor* выступает активным переносчиком вирусов, наиболее опасным из которых является вирус деформированного крыла (далее – DWV). Установлено, что именно клещ обеспечил глобальную пандемию DWV, превратив его из эндемичного, слабопатогенного агента в один из главных факторов гибели семей [25].



Первоначально считалось, что популяции *V. destructor* относительно однородны. Однако по мере накопления данных из разных географических регионов стало очевидно, что паразит обладает гораздо более сложной генетической структурой. В мировом масштабе выделяют два основных митохондриальных гаплотипа, патогенных для *A. mellifera*: японский (J-тип) и корейский (K-тип) [20; 23]. J-тип, вероятно, является исходным и первым совершил переход с *A. cerana* на *A. mellifera* в Японии после интродукции последней. Однако K-тип, возникший в Приморском крае России и в Корее, оказался более вирулентным и агрессивным. Он способен размножаться как на трутневом, так и на рабочем расплоде, что обеспечивает ему экспоненциальный рост численности и быстрое вытеснение J-типа на территориях, где они встречаются совместно, например, в Америке [24].

131

Россия обладает уникальным генофондом медоносных пчел, представленным аборигенными популяциями и породами: среднерусская (*A. m. mellifera*), серая горная кавказская (*A. m. caucasica*), карпатская (*A. m. carpatica*), башкирская и дальневосточные популяции, а также локальные типы, такие как татарский и бурзянская пчела. Считается, что дальневосточные популяции, длительное время контактировавшие с *A. cerana*, выработали определенные механизмы устойчивости, связанные с поведенческими реакциями. Однако в европейской части России, в том числе в Республике Татарстан, распространена карпатская порода, ценящаяся за продуктивность, миролюбие и низкую роильность. Ее устойчивость к варроатозу оценивается как невысокая, и регулярные вспышки заболевания фиксируются даже при систематических обработках [7]. Это позволяет предположить, что популяция паразита в регионе либо исходно обладает высокой вирулентностью, либо демонстрирует быструю адаптацию к применяемым акарицидам и к генетическим особенностям местных пчел. До настоящего времени систематических исследований генетической структуры *V. destructor* в Среднем Поволжье не проводилось.

Цель настоящей работы — анализ генетической структуры и оценка генетической лабильности популяций *V. destructor*, паразитирующих в семьях *A. m. carpatica* на пасеках Республики Татарстан. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: (1) провести сбор образцов клещей и выделение ДНК из семей карпатской пчелы; (2) выполнить секвенирование варибельного фрагмента митохондриального гена *cox1*; (3) провести филогенетический анализ с привлечением референтных последовательностей из GenBank для определения гаплотипической принадлежности; (4) выявить наличие внутрипопуляционного полиморфизма и оценить его значение в контексте генетической лабильности вида; (5) обсудить поведенческие и экологические аспекты взаимодействия в системе паразит-хозяин, влияющие на микроэволюционные процессы.

Материалы и методы

Характеристика района исследований и объекты сбора. Исследования проведены в 2023–2025 гг. на базе стационарных пасек личных подсобных хозяйств, расположенных в пригородной зоне Казани (Республика Татарстан, Российская Федерация). Районы характеризу-



ются умеренно-континентальным климатом и развитым сельским хозяйством, включающим как крупные агрохолдинги, так и множество мелких пасек, что создает мозаичную структуру размещения пчелиных семей. Объектом исследования являлись имагинальные самки клеща *V. destructor*, отобранные с трутневого и рабочего расплода, а также со взрослых пчел в семьях *A. m. carpatica*. Все исследуемые семьи содержались в типовых многокорпусных ульях, и за весь период наблюдения владельцы пасек применяли стандартные схемы противопаразитарных обработок на основе амитраза и флувалината [7].

Отбор проб, выделение ДНК, ПЦР-амплификация и секвенирование. Сбор клещей проводили в весенне-летний период (май – август), соответствующий пику численности паразита [24]. Для обнаружения клещей на взрослых пчелах использовали метод обсыпки сахарной пудрой с последующим стряхиванием на белый лист. Изъятие клещей из запечатанного расплода осуществляли после распечатывания ячеек препаровальной иглой под контролем стереомикроскопа. Отобранных клещей фиксировали в 96 % этаноле и транспортировали в лабораторию. Кроме того, для оценки тотального разнообразия паразитов в улье использовали метод анализа экзогенной ДНК из ульевого мусора, как описано ранее [7]. Этот метод позволяет выявлять ДНК патогенов без отлова пчел, что снижает стресс для семьи и повышает репрезентативность выборки. Выделение тотальной ДНК из индивидуальных клещей и из образцов ульевого сора проводили с использованием коммерческого набора «Синтол» согласно протоколу производителя. Качество и концентрацию выделенной ДНК оценивали методом электрофореза в 1,5%-ном агарозном геле и на флуориметре Qubit 4.

Для амплификации фрагмента митохондриального гена *cox1* использовали универсальные праймеры, ранее показавшие высокую эффективность для идентификации *V. destructor*: LCO1490 (5'-GGTCAAC AAATCATAAAGATATTGG-3') и HCO2198 (5'-TAAACTTCAGGGTGA CCAAAAATCA-3'). ПЦР проводили в 25 мкл реакционной смеси, содержащей 1× буфер, 2,5 mM MgCl₂, 0,2 mM каждого дНТФ, 0,5 мкМ каждого праймера, 1 ед. Taq-полимеразы и 50–100 нг геномной ДНК. Условия амплификации: начальная денатурация 95°C – 3 мин; 35 циклов: 95°C – 30 с, 52°C – 30 с, 72°C – 60 с; финальная элонгация 72°C – 7 мин. Продукты ПЦР разделяли электрофорезом в 1,7%-ном агарозном геле, визуализировали бромистым этидием [26]. Положительные образцы очищали и секвенировали по методу Сэнгера с использованием тех же праймеров [27].

Филогенетический анализ. Полученные нуклеотидные последовательности выравнивали с использованием алгоритма ClustalW с последующей визуальной коррекцией. Для филогенетического анализа в базу данных GenBank были загружены 103 референтные последовательности гена *cox1* *V. destructor* из различных географических регионов (Европа, Азия, Северная и Южная Америка, Новая Зеландия), охватывающие известное разнообразие гаплотипов. В качестве внешней группы использовали последовательность *V. jacobsoni*. Использовали NJ-метод согласно алгоритму Сайтоу и Нея [27]. Выбор NJ-метода обусловлен его эффективностью для анализа внутривидовой изменчивости и хорошей воспроиз-



водимостью результатов при работе с митохондриальными маркерами. Эволюционные дистанции вычисляли по методу Таджимы-Нея, который учитывает разницу в частотах нуклеотидов и эффективен при анализе близкородственных последовательностей [27]. Оценку достоверности топологии проводили с использованием бутстрэп-анализа (1000 псевдорепликаций). Из анализа исключали позиции, содержащие пропуски [30]. Финальный выровненный фрагмент составил 719 пар оснований.

Результаты и обсуждение

Таксономическая идентификация и филогенетическое положение изолятов. В результате проведенного филогенетического анализа все исследованные образцы *V. destructor* из Республики Татарстан с высокой достоверностью (бутстрэп-поддержка 99 %) вошли в состав крупного кластера, соответствующего корейскому (K) гаплотипу (рис.). Ни один из образцов не проявил сродства к японской (J) гаплогруппе. Это согласуется с общемировой тенденцией доминирования K-типа в популяциях *A. mellifera* за пределами первичного ареала J-типа. Внутри кластера K-типа исследуемые образцы образовали компактную евразийскую субкладу. Такое широкое географическое распространение практически идентичных последовательностей указывает на недавнее и быстрое расселение ограниченного числа митохондриальных линий *V. destructor* по миру, вероятно, связанное с антропогенным переносом (торговля пчелопакетами и матками).

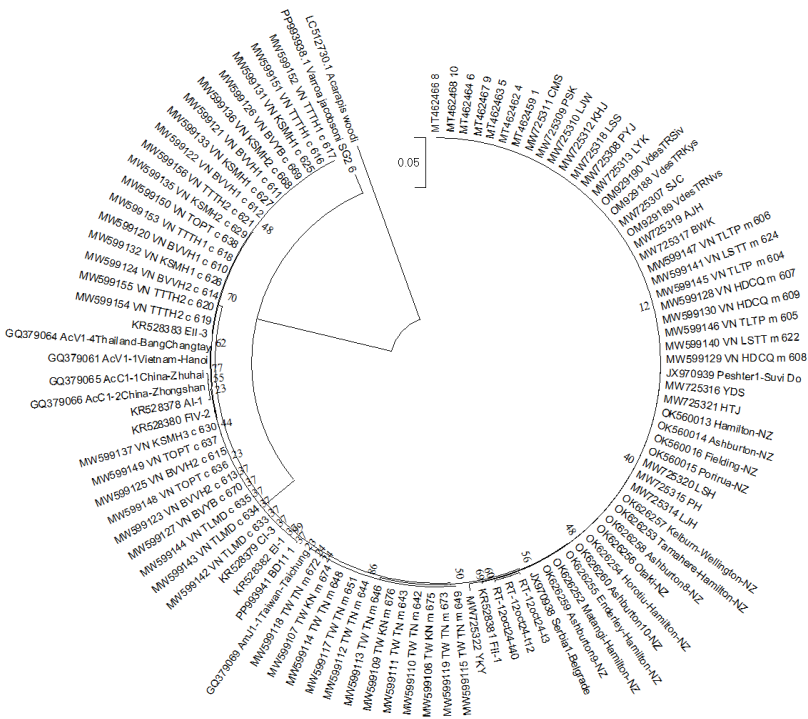


Рис. Филогенетическое положение изолятов



Внутрипопуляционный полиморфизм и адаптационный потенциал. При сравнении последовательностей образцов, полученных с одной пасеки, было обнаружено два варианта, различающихся по одной нуклеотидной позиции. В образце *Tartarstan_2024_03* в позиции, соответствующей 318-й позиции выравнивания, находился тимин (Т), тогда как в остальных образцах – аденин (А) (табл.).

Исходные данные выравнивания последовательностей фрагмента *cox1* с указанием только переменных позиций

ID образца	Локус 127	Локус 189	Локус 245	Локус 318	Локус 327	Локус 389	Локус 412
RT-8sep23-t1	G	T	A	A	G	C	T
RT-12oct24-t12	G	T	A	A	G	C	T
RT-12oct24-t40	G	T	A	A	G	C	T
RT-22sep25-t3	G	T	A	T	G	C	T
RT-22sep25-t21	G	T	A	A	G	C	T
RT-22sep25-t24	G	T	A	A	G	C	T
K1 референс	G	T	A	A	A	C	T
J1 референс	A	C	G	A	A	T	C

Данная трансверсия (А/Т) синонимична, то есть не приводит к замене аминокислоты в кодируемом белке. Тем не менее сам факт наличия полиморфизма свидетельствует о том, что локальная популяция паразита не является абсолютно клональной, и в ней протекают микроэволюционные процессы. Учитывая, что митохондриальная ДНК наследуется по материнской линии и не рекомбинирует, выявление двух митотипов в пределах одной пасеки указывает либо на множественные заносы паразита из разных источников, либо на накопление мутаций *in situ*. В ранее опубликованных работах по Татарстану уже отмечалось присутствие двух и более генетических вариантов (геноваров) паразита в пределах одной пасеки [24]. Эти наблюдения критически важны, так как ставят под сомнение упрощенное понимание стабильности популяций паразита во времени и пространстве. Согласно современным представлениям, использование только короткого фрагмента *cox1* (458 п. н.) может маскировать более глубокую гетерогенность. После 2010 г. в практику вошел анализ конкатенированных последовательностей четырех митохондриальных генов (*cox1*, *cox3*, *atp6* и *cytb*) общей длиной 2696 п. н., что позволило выявить множество субгаплотипов внутри ранее единых групп, например, японские варианты J1-1 – J1-6. Можно предположить, что при переходе на мультилокусное генотипирование гетерогенность татарстанской популяции окажется еще выше. Генетическая лабильность *V. destructor* дополняется сложным поведением, направленным на оптимизацию паразитизма. Клещи способны различать пчел на разных стадиях жизненного цикла и с разными функциями в семье по углеводородному составу кутикулы. При низкой плотности популяции клещи предпочитают пчел-кормилиц, которые проводят много времени в зоне расплода, что обеспечивает максимальный репродуктивный успех па-



разита. Однако при увеличении заклещеванности химические профили пчел-кормилиц и пчел-фуражиров становятся более сходными, вероятно, вследствие стресс-индуцированных изменений метаболизма хозяина. Это приводит к переключению предпочтений клещей на фуражиров, которые, покидая улей, способствуют горизонтальному переносу паразита на новые семьи [29].

Данный механизм демонстрирует, что адаптация *V. destructor* не сводится только к генетическим изменениям, но включает и фенотипическую пластичность, что делает паразита еще более трудноконтролируемым. Недооценка генетической изменчивости *V. destructor* имеет прямое прикладное значение. На пасеках, где годами применяются одни и те же акарициды, создается мощное селективное давление [7]. Мутации, приводящие к устойчивости к флувалинату (пиретроидам) или амитразу (формаминам), могут возникать и фиксироваться в популяции паразита. Если в колонии исходно присутствует несколько геноваров (как в нашем случае), вероятность того, что хотя бы один из них несет аллели устойчивости, значительно возрастает. После обработки чувствительные особи погибают, а резистентный геновар занимает освободившиеся ниши, и в следующем сезоне вся популяция становится нечувствительной к препарату. Этот процесс может протекать очень быстро — за 1–2 года. Именно поэтому мониторинг генетической структуры популяций необходим для своевременной ротации акарицидов и выбора эффективных стратегий борьбы.

Взаимодействие с аборигенными пчелиными популяциями. Обнаружение генетически различных вариантов *V. destructor* в семьях *A. m. carpatica*, не обладающей высокой устойчивостью, ставит вопрос о возможном резервировании паразита в семьях местных пород, например, среднерусской пчелы. Аборигенные популяции, такие как татарский тип, прошедшие длительную коэволюцию с различными патогенами, могут обладать поведенческими механизмами резистентности, например, более активным гигиеническим поведением, позволяющим распечатывать и удалять зараженный расплод. Они не могут полностью элиминировать паразита, но способны сдерживать его численность на субклиническом уровне. В этом случае такие семьи выполняют роль резервуара, в котором сохраняются и эволюционируют различные геновары *V. destructor*. При подселении в такие семьи маток высокопродуктивных, но чувствительных пород (например, карпатской), происходит взрывной рост численности адаптированного к местным условиям геновара паразита, что и наблюдается на практике.

Заключение

В настоящей работе впервые проведен филогенетический анализ и дана генетическая характеристика популяций клеща *V. destructor*, паразитирующих в семьях карпатской пчелы на территории Республики Татарстан. Установлена принадлежность всех исследованных образцов к корейскому (K) митохондриальному гаплотипу, доминирующему в мировом пчеловодстве. Выявленный однонуклеотидный полимор-



физм (А/Т-трансверсия) свидетельствует о наличии внутрипопуляционной гетерогенности и указывает на активные микроэволюционные процессы. Показано, что генетическая лабильность *V. destructor*, включающая как митохондриальное разнообразие, так и способность к быстрым адаптивным изменениям (поведенческая пластичность, формирование резистентности к акарицидам), является ключевым фактором, определяющим неэффективность существующих методов борьбы и необходимость разработки новых подходов к контролю варроатоза. Полученные данные обосновывают необходимость регулярного молекулярно-генетического мониторинга структуры популяций паразита как обязательного элемента системы ветеринарного надзора за пасеками. Дальнейшие исследования должны быть направлены на расширение выборки, переход к мультилокусному генотипированию (секвенирование конкатенированных последовательностей) и изучение корреляции между генетическими вариантами паразита и устойчивостью к конкретным акарицидам, применяемым в регионе.

Список литературы

1. Kambale E. M., Hasbieva D. R. et al. A scientific note on the prevalence of *Nosema* spp. in honey bee colonies in relation to the proximity of mining regions and levels of heavy metal contamination // Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 2026. Vol. 32 (1-2). P. 279–294. doi: 10.1080/10807039.2026.2614355.
2. vanEngelsdorp D., Meixner M. D. A historical review of managed honey bee populations in Europe and the United States and the factors that may affect them // Journal of Invertebrate Pathology. 2010. Vol. 103, suppl. 1. P. S80–S95. doi: 10.1016/j.jip.2009.06.011.
3. Goulson D., Nicholls E., Botías C., Rotheray E. L. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers // Science. 2015. Vol. 347, iss. 6229. doi: 10.1126/science.1255957.
4. Shuralev E. A., Mukminov M. N., Ndayishimiye E. V. et al. Current status of *Nosema* spp. infection cases in *Apis mellifera* in eurasian countries and Ptp3 gene haplotypes in the Republic of Tatarstan, Russia // Veterinary Research Communications. 2024. Vol. 48, №4. P. 2691–2698. doi: 10.1007/s11259-024-10383-3. EDN: YXUOOP.
5. Шамаев Н. Д. Методы биотехнологии в изучении экологии и биогеографии медоносной пчелы и решении проблем интенсификации пчеловодства // Пчеловодство и апитерапия: актуальные вопросы, достижения и инновации : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Рыбное, 15–16 декабря 2023 г. Рыбное, 2024. С. 194–198. EDN: ISBLYO.
6. Шамаев Н. Д., Шуралев Э. А., Мукминов М. Н. Эффективность использования *Apis Mellifera* в паразитологических исследованиях *in vitro* // XI Международная конференция молодых ученых: биоинформатиков, биотехнологов, биофизиков, вирусологов, молекулярных биологов и специалистов фундаментальной медицины : сб. тез., Научоград Кольцово, 24–27 сентября 2024 г. Новосибирск, 2024. С. 242–243. doi: 10.25205/978-5-4437-1691-6-118. EDN: IVDPGF.
7. Shamaev N., Shuralev E., Nikitin O. et al. Beekeeping practice-related factors that impact nosemosis prevalence in honey bees in the Republic of Tatarstan, Russia // Ankara Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi. 2025. Vol. 72, №3. P. 365–376. doi: 10.33988/auvfd.1594759. EDN: KLRLON.



8. Шамаев Н.Д., Шуралев Э.А., Мукминов М.Н. Распределение гаплотипов *Nosema apis* в условиях единичной пасеки Республики Татарстан // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2024. Т. 16, №3. С. 92–101. doi: 10.36508/RSATU.2024.11.32.013. EDN: RFWYWM.

9. Shamaev N.D., Salnikov V.V., Yuzmanova L.A. et al. Regular occurrence of atypically small spores in *Apis mellifera carnica* (Hymenoptera: Apidae), naturally infected with *Nosema* spp. (Microsporidia) // Invertebrate Zoology. 2024. Vol. 21, №4 P. 478–486. doi: 10.15298/invertzool.21.4.03. EDN: CYMNHU.

10. Шамаев Н.Д., Камбале Э.М., Валиахметов Д.И. и др. Биоразнообразии генотипов *Nosema ceranae* в популяции *Apis mellifera* с гибридными признаками в условиях // Российский журнал «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии». 2024. №4 (52). С. 597–605. doi: 10.36871/vet.san.hyг.ecol.202404016. EDN: CFGQFZ.

11. Мукминов М.Н., Шуралев Э.А., Казарян Г.Г., Шамаев Н.Д. Микроспоридии, ассоциированные с инфекциями медоносных пчел // Пчеловодство и апитерапия: актуальные вопросы, достижения и инновации : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Рыбное, 15–16 декабря 2023 г. Рыбное, 2024. С. 113–118. EDN: CEIONM.

12. Салихов Д.Г., Петров С.В., Шамаев Н.Д. и др. Оценка загрязнения почв тяжелыми металлами в биогеохимических провинциях Республики Татарстан // Journal of Agriculture and Environment. 2023. №8 (36). doi: 10.23649/JAE.2023.36.8. EDN: LNCFBW.

13. Шамаев Н.Д., Сальников В.В., Кошпаева Е.С., Сычев К.В. Увеличение заболеваемости нозематозом вблизи экологического стрессора // XI Международная конференция молодых ученых: биоинформатиков, биотехнологов, биофизиков, вирусологов, молекулярных биологов и специалистов фундаментальной медицины : сб. тез., Научоград Кольцово, 24–27 сентября 2024 г. Новосибирск, 2024. С. 569–570. doi: 10.25205/978-5-4437-1691-6-280. EDN: GMWPVA.

14. Шамаев Н.Д., Кошпаева Е.С., Сычев К.В., Иванов А.В. Молекулярная фитотерапия и применение пищевых добавок, направленные на борьбу с ваириморфозом у медоносных пчел // Пчеловодство и апитерапия: актуальные вопросы, достижения и инновации : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Рыбное, 15–16 декабря 2023 г. Рыбное, 2024. С. 198–204. EDN: NASOBM.

15. Третьякова А.Б., Шамаев Н.Д. Системы мониторинга технологий и оптимизация ухода в современном пчеловодстве // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии : сб. науч. тр. 2025. №123. С. 92–97. doi: 10.31016/vet.san.2025-123-17. EDN: RVRCAZ.

16. Третьякова А.Б., Мукминов М.Н., Шамаев Н.Д. Оценка острой контактной токсичности имидаклоприда и тиаклоприда в отношении медоносных пчел: сравнительный анализ влияния на выживаемость и поведенческую активность // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2025. №4. С. 133–146. doi: 10.5922/vestniknat-2025-4-9. EDN: YPTTGO.

17. Третьякова А.Б., Мукминов М.Н., Шамаев Н.Д. Неоникотиноиды и их воздействие на медоносных пчел: сравнительный анализ острой пероральной токсичности имидаклоприда и тиаклоприда // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2026. №1. С. 54–69. doi: 10.5922/vestniknat-2026-1-4. EDN: HPCHOS.



18. Половинка Н. С., Шамаев Н. Д., Мукминов М. Н. Оценка связи между уровнем превалентности микроспоридиозов вызванных родом *Nosema* и практиками содержания *Apis mellifera* // Белые цветы : сб. тез. XII Междунар. молодежного науч. мед. форума, посвященного 80-летию победы в Великой Отечественной войне, Казань, 9–11 апреля 2025 г. Казань, 2025. С. 1455–1456. EDN: GLRTVE.

19. Mukminov M. N., Shuralev E. A., Shamaev N. D. *Nosema spp* parasite and a component of pathogen recognition sequence variant numbers relationship in the *Apis mellifera* host subspecies across local apiaries // Актуальные проблемы экологии и природопользования : сб. науч. тр. XXVI Междунар. науч.-практ. конф. : в 3 т. Москва, 2025. С. 32–36. EDN: HUPVSE.

20. Шамаев Н. Д., Шуралев Э. А., Мукминов М. Н. Территориальные и видовые закономерности геновар-специфических комбинаций у пчел и их паразитов // Российский журнал «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии». 2025. №2 (54). С. 271–277. doi: 10.36871/vet.san.hyг.ecol.202502013. EDN: KKNYZJ.

21. Шамаев Н. Д., Третьякова А. Б., Камбале Э. М. и др. Индикация и идентификация патогена *Melissococcus plutonius* с использованием экзогенной ДНК, выделенной из объектов ветеринарного надзора // Российский журнал «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии». 2025. №1 (53). С. 81–87. doi: 10.36871/vet.san.hyг.ecol.202501010. EDN: CMBACJ.

22. Шамаев Н. Д., Третьякова А. Б., Камбале Э. М. и др. Индикация патогенов медоносной пчелы с использованием экзогенной ДНК и выявление взаимосвязи между геноварами паразита и хозяина на отдельных пасеках Республики Татарстан // Экологическая безопасность и сохранение генетических ресурсов растений и животных России и сопредельных территорий : материалы XV Всерос. науч. конф. с междунар. участием, Владикавказ, 18–23 мая 2025 г. Владикавказ 2025. С. 352–356. EDN: OJWMUX.

23. Sidorova A. E., Shamaev N. D. Observations of r-type *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) collected from local *Apis mellifera* apiary // Актуальные проблемы экологии и природопользования : сб. науч. тр. XXVI Междунар. науч.-практ. конф. : 3 т. М., 2025. С. 41–46. EDN: WIPASK.

24. Шамаев Н. Д., Шуралев Э. А., Мукминов М. Н. Идентификация *Acarapis woodi* и *Varroa destructor* у *Apis mellifera* с использованием экзогенной ДНК ульевого мусора // Вестник КрасГАУ. 2025. №11 (224). С. 120–133. doi: 10.36718/1819-4036-2025-11-120-133. EDN: TBGWDW.

25. Wilfert L., Long G., Leggett H. C. et al. Deformed wing virus is a recent global epidemic in honeybees driven by *Varroa* mites // Science. 2016. Vol. 351, №6273. P. 594–597. doi: 10.1126/science.aac9976/

26. 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.

27. Shamaev N. D., Batanova T., Iwatake Yu. et al. Diversity of genes encoding immune-related GTPase B2 protein, an inherited element responsible for resistance against virulent *Toxoplasma gondii* strains, among wild *Mus musculus* in local area of Japan // Journal of Veterinary Medical Science. 2024. Vol. 86, №10. P. 1056–1062. doi: 10.1292/jvms.24-0059. EDN: DTVOJW.



28. Shamaev N.D., Shuralev E.A., Petrov S.V. et al. Seroprevalence and B1 gene genotyping of *Toxoplasma gondii* in farmed European mink in the Republic of Tatarstan, Russia // *Parasitology International*. 2020. Vol. 76. P. 102067. doi: 10.1016/j.parint.2020.102067. EDN: TOFJHJ.

29. Cervo R., Bruschini C., Cappa F., Meconcelli S. et al. High Varroa mite abundance influences chemical profiles of worker bees and mite-host preferences // *Journal of Experimental Biology*. 2014. Vol. 217, №17. P. 2998–3004. doi: 10.1242/jeb.099978.

Об авторе

Динар Ильдусович Гумеров – асп., Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия.

ORCID: 0009-0004-8265-3554

E-mail: mrt924285@gmail.com

139

D. I. Gumerov

GENETIC LABILITY OF VARROA DESTRUCTOR AS A FACTOR OF THE EPIZOOTIC PROCESS IN APIS MELLIFERA CARPATICA POPULATIONS

Kazan (Volga Region) Federal University, Russia

Received 15 February 2026

Accepted 30 March 2026

doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-9

To cite this article: Gumerov D.I., 2026, Genetic lability of *Varroa Destructor* as a factor of the epizootic process in *Apis Mellifera Carpatica* populations, *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural Sciences*, №2. P. 129–140. doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-9.

The global decline of honey bee (*Apis mellifera*) populations poses a serious threat to crop pollination and global food security. Among the multiple factors causing colony weakening and loss, varroosis, an invasive disease caused by the ectoparasitic mite *Varroa destructor*, plays a pivotal role. Despite decades of research and various control methods, effective management of this parasite remains elusive. The aim of this work was a comprehensive analysis of the genetic structure of *V. destructor* populations infesting Carpathian bee colonies (*A. m. carpatica*) in the Republic of Tatarstan, within the framework of the parasite's genetic lability and adaptive potential. Sequencing of the mitochondrial *cox1* gene fragment and phylogenetic analysis using the Neighbor-Joining method with 103 reference sequences from GenBank were performed. The studied samples were found to belong to the Korean (K) haplotype. The identified single nucleotide polymorphism (A/T transversion) in two samples indicates intrapopulation genetic differentiation. It is shown that the genetic lability of the parasite, manifested in the existence of multiple genovars within one colony and their ability to rapidly shift dominant haplogroups under selective pressure, is an underestimated factor reducing the effectiveness of acaricide treatments and the selection of resistant bee breeds. Behavioral adaptations of the mite, including its ability to modify the host's cuticular hydrocarbon profile and change trophic preferences depending on population density, are discussed. The obtained



data substantiate the need for regular molecular genetic monitoring of V. destructor population structure as an essential element of the veterinary and sanitary surveillance system in beekeeping.

Keywords: *Varroa destructor*, *Apis mellifera*, genetic lability, genetic variant, phylogeny, mitochondrial DNA, coadaptation

The author

Dinar I. Gumerov, PhD student, Kazan (Volga Region) Federal University, Russia.

ORCID: 0009-0004-8265-3554

E-mail: mrt924285@gmail.com

А. Д. Севастьянова, М. Н. Мукминов

ФИЛОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ СВЯЗИ NOSEMA APIS НА УРОВНЕ ПАСЕКИ

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

Поступила в редакцию 15.02.2026 г.

Принята к публикации 30.03.2026 г.

doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-10

141

Для цитирования: Севастьянова А. Д., Мукминов М. Н. Филогеографические связи *Nosema Apis* на уровне пасеки // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2026. №2. С. 141 – 155. doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-10.

Представлены результаты комплексного анализа генетического разнообразия микроспоридий *Nosema apis* – возбудителя нозематоза медоносных пчел (*Apis mellifera*) – на примере отдельной пасеки, расположенной в Лаишевском районе Республики Татарстан. Проведена идентификация гаплотипического состава возбудителя и оценка его филогеографических связей с евразийскими изолятами на основе полиморфизма гена белка полярной трубки РТРЗ. Установлено, что все исследованные пчелы были инфицированы *N. apis*. Секвенирование и последующее клонирование гетерозиготных образцов выявило присутствие двух аминокислотных вариантов белка РТРЗ в пределах одного улья. Один из них полностью совпал с доминирующим евразийским гаплотипом, ранее описанным в популяциях паразита из Словении, Испании и Турции. Второй вариант является уникальным для данного исследования и отличается от основного единичной несинонимичной заменой (лейцин вместо пролина в позиции, предположительно соответствующей 112-му кодону белка). Выявлена слабая положительная корреляционная связь между высокой интенсивностью инвазии (споровая нагрузка >150 тыс. спор) и принадлежностью пчел к гибридным формам с участием среднерусской и серой горной кавказской пород ($r=0,25$; $p<0,05$).

Ключевые слова: *Nosema apis*, *Apis mellifera*, нозематоз, гаплотип, филогеография, морфометрия пчел, генетический полиморфизм, корреляционный анализ

Введение

Медоносные пчелы (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758) выполняют незаменимую экосистемную функцию опылителей энтомофильных культур и дикорастущих растений, обеспечивая тем самым поддержание биоразнообразия, устойчивость естественных фитоценозов и продовольственную безопасность в глобальном масштабе [1–3]. Экономическая ценность опылительной деятельности пчел многократно превышает стоимость всех продуктов пчеловодства, вместе взятых, и оценивается



в сотни миллиардов долларов ежегодно [4]. В последние десятилетия мировая пчеловодческая отрасль столкнулась с серьезным вызовом — ростом заболеваемости и массовой гибелью пчелиных семей, известным как Colony Collapse Disorder (CCD). Исследования последних лет убедительно доказывают, что CCD имеет мультифакторную природу [5] и связано с комплексным воздействием биотических и абиотических стрессоров, среди которых ключевую роль играют патогены [6–16], антропогенный стресс (в том числе использование пестицидов) [17–23], дефицит кормовой базы и климатические факторы [24; 25].

Среди инфекционных патогенов медоносных пчел особое место занимают микроспоридии рода *Nosema* (Naegeli, 1857), облигатные внутриклеточные паразиты, поражающие эпителиальные клетки средней кишки имаго и вызывающие нозематоз — широко распространенное инвазионное заболевание, наносящее значительный экономический ущерб пчеловодству во всем мире [5; 7; 9; 10; 23]. Два основных вида — *Nosema apis* (Zander, 1909) и *Nosema ceranae* (Fries et al., 1996) — различаются по происхождению, патогенезу, эпидемиологическим характеристикам и географическому распространению.

N. apis традиционно считается палеарктическим видом, длительное время эволюционировавшим в популяциях европейской темной пчелы (*A. m. mellifera*) [6; 8; 9; 12; 13; 16]. Для него характерна выраженная сезонность с пиком заболеваемости в конце зимы — начале весны, что связано с длительным периодом вынужденного воздержания от дефекации и накоплением спор в кишечнике [10; 19]. *N. ceranae*, исходно паразитировавшая на азиатской пчеле (*A. cerana* Fabricius, 1793), в результате интенсивной международной торговли и глобализации пчеловодства в настоящее время приобрела пантропическое распространение и часто доминирует в теплых климатических зонах, вытесняя аборигенного паразита [7; 11; 13; 15]. Однако в регионах с умеренным и холодным климатом, включая значительную часть территории Российской Федерации, оба вида могут встречаться как раздельно, так и в виде микст-инфекций. При этом *N. apis* сохраняет свою экологическую нишу, будучи физиологически адаптированным к длительному зимнему периоду покоя пчелиной семьи [1; 6; 7; 9; 16].

Изучение внутривидовой генетической изменчивости возбудителей нозематоза является одним из ключевых вопросов современной экологии, эпизоотологии, популяционной биологии и генетики паразитов. Полиморфизм генов, кодирующих белки полярной трубки (polar tube proteins, РТР), в частности РТР3, становится объектом особого научного и прикладного интереса. Полярная трубка — это уникальный органоид микроспоридий, представляющий собой высокоорганизованную структуру, которая при активации споры в просвете кишечника хозяина экструдируется со сверхзвуковой скоростью, пробивает мембрану эпителиоцита и служит каналом для инокуляции инфекционной спороплазмы непосредственно в цитоплазму клетки-мишени [9]. Белки РТР выступают основными структурными компонентами полярной трубки, и их аминокислотная последовательность высоко консервативна, поскольку любые существенные изменения могут нарушить процесс сборки трубки или ее функционирование. Тем не менее исследования последнего



десятилетия выявили существование определенного уровня внутривидового полиморфизма генов РТР, который может быть связан с адаптацией к различным условиям среды, хозяйинной специфичностью или различиями в вирулентности разных штаммов паразита [9]. В частности, вариации в структуре РТРЗ могут потенциально влиять на эффективность инвазии клеток хозяина, скорость репродукции паразита и, как следствие, на тяжесть течения инфекционного процесса.

Несмотря на очевидную значимость, популяционная генетика *Nosema* spp. на территории Российской Федерации, особенно в ее восточноевропейской части и Поволжье, остается практически неизученной. Имеющиеся фрагментарные данные касаются в основном распространенности нозематоза в различных регионах, но не затрагивают вопросы генетической структуры и филогеографических связей местных изолятов с европейскими и азиатскими популяциями паразита [5–9]. Цель настоящего исследования заключалась в комплексной характеристике популяции *N. apis*, циркулирующей в условиях отдельно взятой пасеки Республики Татарстан, с определением генетического разнообразия паразита на основе анализа гена РТРЗ и установлением филогеографических связей выявленных гаплотипов с изолятами из других регионов Евразии. Дополнительной задачей являлась оценка взаимосвязи между морфометрическими характеристиками пчел-хозяев и интенсивностью инвазионного процесса.

Материалы и методы

Сбор биологического материала и пробоподготовка. Образцы ($n=50$) погибших рабочих особей медоносной пчелы были собраны в апреле 2023 г. у летка и на крайних рамках одного улья, расположенного на территории частной пасеки в Лаишевском районе Республики Татарстан (географические координаты: $55^{\circ}24'$ с. ш., $49^{\circ}33'$ в. д.). Отбор проводили в утренние часы, пчел без признаков механических повреждений помещали в индивидуальные пробирки типа Eppendorf с 70%-ным раствором этанола. Транспортировку осуществляли в термоконтейнере при температуре $+4^{\circ}\text{C}$, дальнейшее хранение до момента анализа — при -20°C .

Морфометрическая идентификация подвидовой принадлежности. Для уточнения подвидового состава исследуемой выборки проводили комплекс морфометрических измерений согласно общепринятым методикам пчеловодной биометрии [6; 8; 23]. Измерения выполняли с использованием стереомикроскопа «Биомед-3» (Россия), оснащенного окуляр-микрометром, и программного обеспечения ScoreTek и ImageJ (НИН, США). У каждой пчелы измеряли следующие признаки: длину хоботка, длину и ширину правого переднего крыла, кубитальный индекс, длину голени задней конечности. Полученные данные сопоставляли с породными стандартами для среднерусской (*A. m. mellifera*), серой горной кавказской (*A. m. caucasica*), карнийской (*A. m. carnica*) пород и их гибридов.

Микроскопическое исследование и оценка споровой нагрузки. Каждую пчелу предварительно трижды отмывали в дистиллированной воде



для удаления поверхностных загрязнений и консерванта, после чего индивидуально гомогенизировали в ступке с добавлением 1,0 мл стерильной воды. Из полученного гомогената готовили временные препараты (объем капли — 20 мкл), которые исследовали методом фазово-контрастной микроскопии с использованием композиционного микроскопа «Биомед-3» при увеличении $\times 400$. Наличие, морфологию и количество спор оценивали в 10 полях зрения для каждого образца. Споровую нагрузку выражали в пересчете на всю пчелу с учетом общего объема гомогената.

Выделение тотальной ДНК. Тотальную ДНК экстрагировали из 200 мкл пчелиного гомогената с использованием коммерческого набора EZNA Tissue DNA Kit (Omega Bio-tek, Inc., США) в строгом соответствии с протоколом производителя для тканей насекомых. Элюцию ДНК проводили 50 мкл буфера. Концентрацию и чистоту выделенной ДНК оценивали спектрофотометрически на NanoDrop 2000 (Thermo Scientific, США). Образцы ДНК хранили при -20°C до момента постановки ПЦР.

Полимеразная цепная реакция и электрофорез. Видовую идентификацию микроспоридий проводили методом ПЦР с праймерами, специфичными для гена белка полярной трубки 3 (PTP3) *N. apis* (ожидаемый размер фрагмента — 321 п. н.) [5; 7; 9]. Реакционная смесь объемом 25 мкл содержала: 1 \times ПЦР-буфер, 2,5 мМ MgCl_2 , по 200 мкМ каждого дНТФ, по 0,4 мкМ прямого и обратного праймеров, 1,25 ед. Taq-полимеразы (Синтол, Россия) и 50 нг ДНК-матрицы. Амплификацию осуществляли в термоциклере T100 (Bio-Rad Laboratories Ltd., Канада) по следующей программе: начальная денатурация 95°C — 3 мин; 35 циклов: 95°C — 30 с, 58°C — 30 с, 72°C — 45 с; финальная элонгация 72°C — 7 мин. Продукты ПЦР разделяли в 1,5%-ном агарозном геле с добавлением бромистого этидия (0,5 мкг/мл) в 1 \times TAE-буфере при напряжении 100 В в течение 40 мин. Визуализацию и документирование результатов проводили в системе гель-документирования GelDoc XR+ (Bio-Rad, США) в проходящем УФ-свете [26; 27].

Секвенирование и филогенетический анализ. Очистку ПЦР-продуктов от праймеров и неспецифических фрагментов проводили с использованием набора CleanUp (Евроген, Россия). Секвенирование по методу Сэнгера выполняли на базе компании «Синтол» (Россия) с использованием тех же праймеров, что и для амплификации. При выявлении на хроматограммах перекрывающихся пиков, свидетельствующих о наличии разных аллелей в образце, проводили клонирование фрагментов в плазмидный вектор pT7Blue (Novagen, США) с последующей трансформацией компетентных клеток *E. coli* штамма DH5 α . Трансформированные клетки высевали на среду LB с ампициллином (100 мкг/мл), X-Gal (40 мкг/мл) и IPTG (0,1 мМ). Отбирали не менее 5 белых колоний для каждого исходного образца. Плазмидную ДНК выделяли методом щелочного лизиса с использованием набора Miniprep (Евроген, Россия) и подвергали повторному секвенированию. Полученные нуклеотидные последовательности редактировали в программе Chromas 2.6.6 и транслировали в аминокислотные с использованием алгоритма EMBOSS Transeq. Для сравнительного анализа использовали референсные последовательности белка PTP3 *N. apis* из международной базы дан-



ных GenBank (NCBI), охватывающие изоляты из Словении (Accession № KX389272), Испании (KX389275), Турции (KX389278). Выравнивание последовательностей проводили в программе MEGA X с использованием алгоритма Clustal W. Построение медианной сети гаплотипов выполняли в программной среде PopART v. 1.7 на основе выравнивания аминокислотных последовательностей [9; 28].

Статистическая обработка данных. Статистическую обработку результатов морфометрического анализа и данных по споровой нагрузке проводили с использованием пакета программ R v. 4.2.1. Рассчитывали средние арифметические значения, стандартные отклонения, минимумы и максимумы для всех количественных признаков. Для определения порогового значения «высокой» споровой нагрузки применяли тест Колмогорова — Смирнова, критический уровень значимости принимали $p < 0,05$. Корреляционный анализ Пирсона проводили между морфометрическими признаками, породной принадлежностью (кодированной как категориальная переменная) и уровнем споровой нагрузки (бинарная переменная после порогового разделения). Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$ [28 — 30].

Результаты и обсуждение

Морфометрическая характеристика исследуемой выборки и оценка породного состава. Результаты морфометрического анализа выявили значительную гетерогенность исследуемой группы пчел, представленную как особями с признаками чистых породных линий, так и разнообразными гибридными формами (табл.).

Длина хоботка варьировала в широких пределах: от 5,80 до 7,20 мм (среднее значение — $6,41 \pm 0,34$ мм), что характерно для популяций с примесью кавказской породы, обладающей наиболее длинным хоботком. Длина переднего крыла находилась в диапазоне 9,16—9,33 мм (среднее — $9,25 \pm 0,05$ мм), ширина крыла — 3,14—3,15 мм (среднее — $3,145 \pm 0,003$ мм), что соответствует типичным размерам для среднерусских и карнийских пчел. Кубитальный индекс, являющийся одним из наиболее стабильных породных признаков, варьировал от 45 до 65 % (среднее — $54,2 \pm 5,8$ %). Низкие значения индекса (45—50 %) характерны для серой горной кавказской породы, средние (50—60 %) — для карнийской, высокие (60 % и более) — для среднерусской. Анализ совокупности морфометрических признаков с использованием кластерного анализа позволил распределить исследованных пчел по породной принадлежности следующим образом: чистые линии не выявлены; доминирующей группой (42 %) оказались гибриды среднерусской и серой горной кавказской пород (*A. m. mellifera* × *A. m. caucasica*); ко второй по численности группе (28 %) относятся гибриды с участием всех трех пород (*sr/c/sgk*); гибриды карнийской и кавказской (*c/sgk*) составили 18 %; гибриды среднерусской и карнийской (*sr/c*) — 12 %. Столь высокий уровень гибридизации типичен для многих пасек европейской части России, особенно в регионах Поволжья, и является следствием длительной и бессистемной интродукции пчелопакетов и плодных маток из различных регионов страны и из-за рубежа, проводившейся на



протяжении многих десятилетий. С точки зрения устойчивости к заболеваниям, гибридные популяции могут демонстрировать как гетерозисный эффект (повышенную жизнеспособность), так и, напротив, повышенную восприимчивость к определенным патогенам из-за нарушения коадаптированных генных комплексов, отвечающих за иммунный ответ.

Морфометрические показатели и споровая нагрузка исследованных пчел (n = 50)

Параметр	Минимум	Максимум	Среднее	Стандартное отклонение
Длина хоботка, мм	5,80	7,20	6,41	0,34
Длина крыла, мм	9,16	9,33	9,25	0,05
Ширина крыла, мм	3,14	3,15	3,145	0,003
Кубитальный индекс, %	45	65	54,2	5,8
Длина голени, мм	2,92	3,10	3,01	0,05
Споровая нагрузка, тыс. спор/пчела	6,7	299	156,3	89,7

146

Интенсивность инвазии и ее взаимосвязь с морфометрическими признаками. Световая микроскопия подтвердила наличие спор, морфологически сходных с *Nosema* spp. (овальной формы, с характерным двойным контуром, размером $4-6 \times 2-3$ мкм), во всех 50 исследованных образцах. Количество спор варьировало в чрезвычайно широких пределах: от $6,7 \times 10^3$ до $2,99 \times 10^5$ спор на одну пчелу (табл.). Такая вариабельность характерна для естественных популяций и отражает индивидуальные различия в стадии инфекционного процесса, возрасте пчел и их физиологическом состоянии. С использованием теста Колмогорова – Смирнова определен статистически обоснованный порог «высокой» споровой нагрузки, составивший $1,5 \times 10^5$ спор на особь ($p < 0,05$). Доля пчел с нагрузкой выше данного порога достигла 44 % (22 особи).

Корреляционный анализ Пирсона выявил слабую, но статистически значимую положительную связь ($r = 0,25$; $p = 0,046$) между принадлежностью пчел к гибридной группе «среднерусская×кавказская» и высокой споровой нагрузкой. Для остальных гибридных групп, а также для количественных морфометрических параметров (длина хоботка, размеры крыла, кубитальный индекс) достоверной корреляции с уровнем инвазии не обнаружено. Выявленная тенденция может указывать на существование различий в восприимчивости к нозематозу или в способности контролировать размножение паразита у разных генетических линий *A. mellifera*. Полученные данные согласуются с результатами зарубежных исследований, демонстрирующих роль генетического фона хозяина в устойчивости к микроспоридиозам [31; 32]. В частности, показано, что линии пчел, селекционированные на гигиеническое поведение, проявляют меньшую восприимчивость к *N. ceranae*. Однако для подтверждения и количественной оценки этого эффекта применительно к *N. apis*



в условиях российской популяции необходим анализ на более репрезентативных выборках с контролем таких факторов, как возраст пчел, условия кормления и происхождение маток.

Гаплотипическое разнообразие *N. apis* по гену РТРЗ. ПЦР-скрининг со специфичными праймерами подтвердил инфицирование всех исследованных пчел видом *N. apis*. Ампликоны ожидаемого размера (321 п. н.) были получены для всех 50 образцов. Секвенирование фрагмента гена РТРЗ и последующий анализ аминокислотных последовательностей позволили идентифицировать два гаплотипа возбудителя, циркулирующих в пределах одного улья. Первый и наиболее распространенный гаплотип (обозначенный как Na-Tat1) был обнаружен у 43 пчел (86 %). Его аминокислотная последовательность оказалась идентичной последовательностям белка РТРЗ, депонированным в GenBank для изолятов *N. apis* из Словении (образец S5-2016), Испании (M50-2015) и Турции (TR3-2017). Этот факт с высокой степенью достоверности свидетельствует о широком географическом распространении данного генетического варианта и его доминировании в евразийских популяциях паразита. Присутствие этого гаплотипа на пасеке в Республике Татарстан может быть объяснено завозом пчелиных маток, пакетов пчел или контаминированной спорами продукции пчеловодства (мед, перга, воск) из других регионов или стран. Импорт пчел и пчелопродукции из европейских стран создает потенциальные каналы для заноса различных генотипов патогенов. Кроме того, внутри страны существует интенсивный обмен пчелами между южными и северными регионами, что также способствует распространению паразитов [9].

Второй гаплотип (обозначенный как Na-Tat2), обнаруженный у 7 пчел (14 %), является новым, ранее не описанным в международных базах данных. Его отличие от основного гаплотипа заключается в единичной несинонимичной нуклеотидной замене, приводящей к аминокислотной замене: в позиции, предположительно соответствующей 112-му кодону зрелого белка (по выравниванию с референсной последовательностью), пролин (Pro, неполярная гидрофобная аминокислота) заменен на лейцин (Leu, также неполярная гидрофобная аминокислота). Замена Pro112Leu относится к классу консервативных замен, поскольку обе аминокислоты обладают сходными физико-химическими свойствами. Тем не менее пролин уникален тем, что его циклическая структура создает жесткий излом в полипептидной цепи и часто встречается в местах поворотов, играя важную роль в формировании третичной структуры белка. Замена пролина на лейцин может теоретически повлиять на локальную конформацию белка РТРЗ и, как следствие, на его взаимодействие с другими компонентами полярной трубки или с рецепторами клеток хозяина.

Выявление уникального гаплотипа на локальном уровне может быть следствием нескольких, не исключających друг друга, процессов: (1) локальной мутации (генетического дрейфа) и последующей эволюции паразита в относительно изолированной популяции (эффект основателя); (2) заноса данного варианта из необследованного ранее географического источника (например, из Азии); (3) результата рекомбинации между разными штаммами при смешанной инфекции.



Для проверки этих гипотез необходимы дальнейшие исследования с привлечением большего числа проб из различных географических локаций Поволжья, Урала и других регионов России, а также секвенирование более протяженных участков генома *N. apis*, включая другие переменные локусы (например, ген *PTP1*, *PTP2*, *PGRP-S1*, *TOLL*, *LYS-2* и *IAP-2* [10; 13; 16; 33; 34]). Функциональное значение выявленной аминокислотной замены для биологии паразита, его вирулентности и трансмиссивности также остается предметом будущих исследований.

Можно предположить, что различия в структуре РТРЗ способны влиять на эффективность экстрюзии полярной трубки, скорость прорастания спор в кишечнике или устойчивость к факторам иммунной системы хозяина. Присутствие в одном улье двух генетически различных вариантов *N. apis* указывает на возможность множественных заносов инфекции или на циркуляцию в популяции смешанных штаммов. Это поднимает важный вопрос о конкуренции между гаплотипами, их динамике во времени и потенциальном влиянии на эпизоотический процесс. Долговременный мониторинг данной пасеки позволит проследить, произойдет ли вытеснение одного гаплотипа другим (например, более вирулентным) или они будут сосуществовать в состоянии равновесия.

Таким образом, полученные результаты демонстрируют, что популяция *N. apis* даже в микрогеографическом масштабе (в пределах одного улья) может быть гетерогенной и включать как широко распространенные космополитные генотипы, так и локальные эндемичные варианты. Это подчеркивает необходимость тонкого молекулярно-эпидемиологического мониторинга для понимания путей распространения инфекции и разработки эффективных мер борьбы, включая селекцию устойчивых линий пчел и контроль перемещений пчелопродукции.

Заключение

Проведенное комплексное исследование позволило впервые для территории Республики Татарстан охарактеризовать генетическую структуру популяции микроспоридии *Nosema apis* — возбудителя нозематоза медоносных пчел — на основе анализа полиморфизма гена белка полярной трубки РТРЗ. Установлено, что популяция паразита на обследованной пасеке гетерогенна и представлена двумя аминокислотными гаплотипами. Один из них (Na-Tat1) является типичным для Евразии и встречается в популяциях паразита от Пиренейского полуострова до Малой Азии, что подтверждает его широкое распространение и, вероятно, древнее происхождение. Его присутствие в Татарстане — убедительное свидетельство заноса данного генотипа на территорию Российской Федерации, наиболее вероятно, в результате хозяйственной деятельности человека — международной и межрегиональной торговли пчелами и продукцией пчеловодства.

Второй выявленный гаплотип (Na-Tat2) является новым, уникальным для настоящего исследования и отличается от основного единичной консервативной аминокислотной заменой Pro112Leu. Это указывает на существование локальных эволюционных процессов в популяции паразита, которые могут быть связаны с адаптацией к местным услови-



ям или к генетическим особенностям популяции пчел-хозяев. Данный факт расширяет существующие представления о внутривидовом разнообразии *N. apis* и подчеркивает необходимость дальнейшего популяционно-генетического мониторинга на более обширных территориях.

Выявленная корреляция ($r=0,25$) между высокой интенсивностью инвазии и принадлежностью пчел к гибридной группе «среднерусская × кавказская» указывает на потенциальную роль генотипа хозяина в контроле численности паразита. Несмотря на слабый характер связи, этот результат согласуется с данными мировой литературы о генетической обусловленности устойчивости пчел к нозематозу и актуализирует важность селекционной работы, направленной на сохранение чистопородных генофондов и повышение резистентности пчелиных семей к инвазионным заболеваниям.

В практическом аспекте полученные результаты обосновывают необходимость усиления ветеринарно-санитарного контроля за перемещениями пчелопродукции как на государственных границах, так и внутри страны, а также разработки и внедрения методов молекулярной диагностики, позволяющих не только идентифицировать вид возбудителя, но и типировать его штаммы для отслеживания эпизоотических цепочек. Дальнейшие исследования должны быть направлены на расширение географии проб, анализ сезонной динамики гаплотипического состава, а также на изучение функциональных последствий выявленной аминокислотной замены для биологии паразита и патогенеза нозематоза.

Список литературы

1. Третьякова А.Б., Шамаев Н.Д. Системы мониторинга технологий и оптимизация ухода в современном пчеловодстве // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии: сборник научных трудов. 2025. №123. С. 92–97. doi: 10.31016/vet.san.2025-123-17. EDN: RVRCAZ.
2. Шамаев Н.Д. Методы биотехнологии в изучении экологии и биогеографии медоносной пчелы и решении проблем интенсификации пчеловодства // Пчеловодство и апитерапия: актуальные вопросы, достижения и инновации : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Рыбное, 15–16 декабря 2023 г. Рыбное, 2024. С. 194–198. EDN: ISBLYO.
3. Шамаев Н.Д., Шуралев Э.А., Мукминов М.Н. Эффективность использования *Apis Mellifera* в паразитологических исследованиях *in vitro* // XI Международная конференция молодых ученых: биоинформатиков, биотехнологов, биофизиков, вирусологов, молекулярных биологов и специалистов фундаментальной медицины : сб. тез., Научоград Кольцово, 24–27 сентября 2024 г. Новосибирск, 2024. С. 242–243. doi: 10.25205/978-5-4437-1691-6-118. EDN: IVDPGF.
4. Половинка Н.С., Шамаев Н.Д., Мукминов М.Н. Оценка связи между уровнем превалентности микроспоридиозов вызванных родом *Nosema* и практиками содержания *Apis mellifera* // Белые цветы : сб. тез. XII Междунар. молодежного науч. мед. форума, посвященного 80-летию победы в Великой Отечественной войне, Казань, 9–11 апреля 2025 г. Казань, 2025. С. 1455–1456. EDN: GLRTVE.



5. *Shamaev N., Shuralev E., Nikitin O., Mukminov M.* Beekeeping practice-related factors that impact nosemosis prevalence in honey bees in the Republic of Tatarstan, Russia // *Ankara Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi*. 2025. Vol. 72, №3. P. 365–376. doi: 10.33988/auvfd.1594759. EDN: KLRLON.

6. *Шамаев Н.Д., Шуралев Э.А., Мукминов М.Н.* Распределение гаплотипов *Nosema apis* в условиях единичной пасеки Республики Татарстан // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2024. Т. 16, №3. С. 92–101. doi: 10.36508/RSATU.2024.11.32.013. EDN: RFWYWM.

7. *Shamaev N.D., Salnikov V.V., Yuzmanova L.A., Shuralev E.A., Mukminov M.N.* Regular occurrence of atypically small spores in *Apis mellifera carnica* (Hymenoptera: Apidae), naturally infected with *Nosema* spp. (Microsporidia) // *Invertebrate Zoology*. 2024 Vol. 21, №4. P. 478–486. doi: 10.15298/invertzool.21.4.03. EDN: CYMNHU.

8. *Шамаев Н.Д., Камбале Э.М., Валиахметов Д.И. и др.* Биоразнообразие геноваров *Nosema ceranae* в популяции *Apis mellifera* с гибридными признаками в условиях // *Российский журнал «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии»*. 2024. №4 (52). С. 597–605. doi: 10.36871/vet.san.hyг.ecol.202404016. EDN: CFGQFZ.

9. *Salnikov V.V., Yuzmanova L.A. et al.* Regular occurrence of atypically small spores in *Apis mellifera carnica* (Hymenoptera: Apidae), naturally infected with *Nosema* spp. (Microsporidia) // *Invertebrate Zoology*. 2024. Vol. 21, №4 P. 478–486. doi: 10.15298/invertzool.21.4.03. EDN: CYMNHU.

10. *Мукминов М.Н., Шуралев Э.А., Казарян Г.Г., Шамаев Н.Д.* Микроспоридии, ассоциированные с инфекциями медоносных пчел // *Пчеловодство и апитеррапия: актуальные вопросы, достижения и инновации : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Рыбное, 15–16 декабря 2023 г. Рыбное, 2024*. С. 113–118. EDN: CEIONM.

11. *Sidorova A.E., Shamaev N.D.* Observations of r-type *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) collected from local *Apis mellifera* apiary // *Актуальные проблемы экологии и природопользования : сб. науч. тр. XXVI Междунар. науч.-практ. конф. : 3 т. М., 2025*. С. 41–46. EDN: WIPASK.

12. *Mukminov M.N., Shuralev E.A., Shamaev N.D.* *Nosema* spp parasite and a component of pathogen recognition sequence variant numbers relationship in the *Apis mellifera* host subspecies across local apiaries // *Актуальные проблемы экологии и природопользования : сб. науч. тр. XXVI Междунар. науч.-практ. конф. : в 3 т. Москва, 2025*. С. 32–36. EDN: HUPVSE.

13. *Шамаев Н.Д., Шуралев Э.А., Мукминов М.Н.* Территориальные и видовые закономерности геновар-специфических комбинаций у пчел и их паразитов // *Российский журнал «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии»*. 2025. №2 (54). С. 271–277. doi: 10.36871/vet.san.hyг.ecol.202502013. EDN: KKNYJZ.

14. *Шамаев Н.Д., Третьякова А.Б., Камбале Э.М. и др.* Индикация и идентификация патогена *Melissococcus plutonius* с использованием экзогенной ДНК, выделенной из объектов ветеринарного надзора // *Российский журнал «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии»*. 2025. №1 (53). С. 81–87. doi: 10.36871/vet.san.hyг.ecol.202501010. EDN: CMBACJ.



15. Шамаев Н.Д., Шуралев Э.А., Мукминов М.Н. Идентификация *Acarapis woodi* и *Varroa destructor* у *Apis mellifera* с использованием экзогенной ДНК ульевого мусора // Вестник КрасГАУ. 2025. №11 (224). С. 120–133. doi: 10.36718/1819-4036-2025-11-120-133. EDN: TBGWDW.

16. Шамаев Н.Д., Третьякова А.Б., Камбале Э.М. и др. Индикация патогенов медоносной пчелы с использованием экзогенной ДНК и выявление взаимосвязи между геноварами паразита и хозяина на отдельных пасеках Республики Татарстан // Экологическая безопасность и сохранение генетических ресурсов растений и животных России и сопредельных территорий : материалы XV Всерос. науч. конф. с междунар. участием, Владикавказ, 18–23 мая 2025 г. Владикавказ 2025. С. 352–356. EDN: OJWMUX.

17. Салихов Д.Г., Петров С.В., Шамаев Н.Д. и др. Оценка загрязнения почв тяжелыми металлами в биогеохимических провинциях Республики Татарстан // Journal of Agriculture and Environment. 2023. №8 (36). doi: 10.23649/JAE.2023.36.8. EDN: LNCFBW.

18. Шамаев Н.Д., Сальников В.В., Кошпаева Е.С., Сычев К.В. Увеличение заболеваемости нозематозом вблизи экологического стрессора // XI Международная конференция молодых ученых: биоинформатиков, биотехнологов, биофизиков, вирусологов, молекулярных биологов и специалистов фундаментальной медицины : сб. тез., Научград Кольцово, 24–27 сентября 2024 г. Новосибирск, 2024. С. 569–570. doi: 10.25205/978-5-4437-1691-6-280. EDN: GMWPVA.

19. Шамаев Н.Д., Кошпаева Е.С., Сычев К.В., Иванов А.В. Молекулярная фитотерапия и применение пищевых добавок, направленные на борьбу с ваириморфозом у медоносных пчел // Пчеловодство и апитерапия: актуальные вопросы, достижения и инновации : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Рыбное, 15–16 декабря 2023 г. Рыбное, 2024. С. 198–204. EDN: NASOBM.

20. Третьякова А.Б., Мукминов М.Н., Шамаев Н.Д. Оценка острой контактной токсичности имидаклоприда и тиаклоприда в отношении медоносных пчел: сравнительный анализ влияния на выживаемость и поведенческую активность // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2025. №4. С. 133–146. doi: 10.5922/vestniknat-2025-4-9. EDN: YPTTGO.

21. Третьякова А.Б., Мукминов М.Н., Шамаев Н.Д. Неоникотиноиды и их воздействие на медоносных пчел: сравнительный анализ острой пероральной токсичности имидаклоприда и тиаклоприда // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2026. №1. С. 54–69. doi: 10.5922/vestniknat-2026-1-4. EDN: HPCNOS.

22. Половинка Н.С., Шамаев Н.Д., Мукминов М.Н. Оценка связи между уровнем превалентности микроспориidioзов вызванных родом *Nosema* и практиками содержания *Apis mellifera* // Белые цветы : сб. тез. XII Междунар. молодежного науч. мед. форума, посвященного 80-летию победы в Великой Отечественной войне, Казань, 9–11 апреля 2025 г. Казань, 2025. С. 1455–1456. EDN: GLRTVE.

23. Kambale E.M., Hasbieva D.R. et al. A scientific note on the prevalence of *Nosema* spp. in honey bee colonies in relation to the proximity of mining regions and levels of heavy metal contamination // Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 2026. Vol. 32 (1-2). P. 279–294. doi: 10.1080/10807039.2026.2614355.



24. vanEngelsdorp D., Meixner M.D. A historical review of managed honey bee populations in Europe and the United States and the factors that may affect them // Journal of Invertebrate Pathology. 2010. Vol. 103, suppl. 1. P. S80–S95. doi: 10.1016/j.jip.2009.06.011.

25. Goulson D., Nicholls E., Botías C., Rotheray E.L. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers // Science. 2015. Vol. 347, iss. 6229. doi: 10.1126/science.1255957.

26. Shamaev N.D., Shuralev E.A., Nikitin O.V. et al. Prevalence of *Toxoplasma gondii* infection among small mammals in Tatarstan, Russian Federation // Scientific Reports. 2021. Vol. 11, №1. doi: 10.1038/s41598-021-01582-y. EDN: UBGGQQ.

27. 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: ТТТJAW.

28. Shamaev N.D., Batanova T., Iwatake Yu. et al. Diversity of genes encoding immune-related GTPase B2 protein, an inherited element responsible for resistance against virulent *Toxoplasma gondii* strains, among wild *Mus musculus* in local area of Japan // Journal of Veterinary Medical Science. 2024. Vol. 86, №10. P. 1056–1062. doi: 10.1292/jvms.24-0059. EDN: DTVOJW.

29. Shamaev N.D., Shuralev E.A., Petrov S.V. et al. Seroprevalence and B1 gene genotyping of *Toxoplasma gondii* in farmed European mink in the Republic of Tatarstan, Russia // Parasitology International. 2020. Vol. 76. P. 102067. doi: 10.1016/j.parint.2020.102067. EDN: TOFJHJ.

30. Mutinelli F. The spread of pathogens through trade in honey bees and their products (including queen bees and semen): overview and recent developments // Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics). 2011. Vol. 30, №1. P. 257–271. doi: 10.20506/rst.30.1.2033.

31. Graystock P., Goulson D., Hughes W.O.H. Parasites in bloom: flowers aid dispersal and transmission of pollinator parasites within and between bee species // Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. 2015. Vol. 282, №1813. P. 20151371. doi: 10.1098/rspb.2015.1371.

32. Mukminov M.N., Shuralev E.A., Shamaev N.D. *Nosema spp* parasite and a component of pathogen recognition sequence variant numbers relationship in the *Apis mellifera* host subspecies across local apiaries // Актуальные проблемы экологии и природопользования : сб. науч. тр. XXVI Междунар. науч.-практ. конф. : в 3 т. Москва, 2025. С. 32–36. EDN: HUPVSE.

33. Шамаев Н.Д., Мукминов М.Н., Шуралев Э.А. Диапазон комбинаций гаплотипов *Nosema spp.* и вариантов последовательностей генов *Apis mellifera* на отдельных пасеках Республики Татарстан // Современные проблемы естествознания и естественно-научного образования : материалы II Всерос. науч.-практ. конф., Калуга, 18 марта 2025 г. Калуга, 2025. С. 314–315. EDN: GUVGPH.

Об авторах

Анна Дмитриевна Севастьянова – магистрант, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия.

ORCID: 0009-0005-4465-9338

E-mail: mmakuule@gmail.com



Малик Нилович Мукминов — д-р биол. наук, проф., Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия.

ORCID: 0000-0002-5996-0271

E-mail: malik-bee@mail.ru

A. D. Sevastianova, M. N. Mukminov

GENETIC VARIABILITY AND PHYLOGEOGRAPHIC RELATIONS OF NOSEMA APIS AT THE APIARY LEVEL

Kazan (Volga Region) Federal University, Russia

Received 15 February 2026

Accepted 30 March 2026

doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-10

153

To cite this article: Sevastianova A. D., Mukminov M. N., 2026, Genetic variability and phylogeographic relations of *Nosema Apis* at the apiary level, *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural and Medical Sciences*, №2. P. 139–153. doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-10.

The results of a comprehensive analysis of the genetic diversity of the microsporidian Nosema apis, the causative agent of nosemosis in honey bees (Apis mellifera), are presented using the example of a single apiary located in the Laishevsky District of the Republic of Tatarstan. Identification of the haplotypic composition of the pathogen and assessment of its phylogeographic relationships with Eurasian isolates were carried out based on the polymorphism of the polar tube protein gene PTP3. It was established that all examined bees were infected with N. apis. Sequencing and subsequent cloning of heterozygous samples revealed the presence of two amino acid variants of the PTP3 protein within a single hive. One of them completely coincided with the dominant Eurasian haplotype previously described in parasite populations from Slovenia, Spain, and Turkey. The second variant is unique to the present study and differs from the main variant by a single nonsynonymous substitution (leucine instead of proline at the position presumably corresponding to codon 112 of the protein). A weak positive correlation was identified between high invasion intensity (spore load > 150 thousand spores) and the belonging of bees to hybrid forms involving the Central Russian and Grey Mountain Caucasian breeds ($r=0.25$; $p<0.05$).

Keywords: *Nosema apis*, *Apis mellifera*, nosematosis, haplotype, phylogeography, bee morphometry, genetic polymorphism, correlation analysis

The authors

Anna D. Sevastianova, Master student, Kazan (Volga Region) Federal University, Russia.

ORCID: 0009-0005-4465-9338

E-mail: mmakuule@gmail.com

Prof. Malik N. Mukminov, Kazan (Volga Region) Federal University, Russia.

ORCID: 0000-0002-5996-0271

E-mail: malik-bee@mail.ru

ТРЕБОВАНИЯ И УСЛОВИЯ ПУБЛИКАЦИИ СТАТЕЙ В ВЕСТНИКЕ БФУ им. И. КАНТА

Серия: Естественные науки



Правила публикации статей в журнале

154

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 «Подать 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, ученые 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/voestnik/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 учесть 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 представленных 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

2026

№ 2

Редактор *О.И. Бессчастнова*
Компьютерная верстка *Е.В. Денисенко*

Подписано в печать 08.06.2026 г.
Формат 70 × 108¹/₁₆. Усл. печ. л. 13,7

