



16+



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Научно-технический журнал
Издается с 2013 года.

Выходит четыре раза в год.

№ 1 (53), 2026

Дата выхода в свет

31.03.2026

Главный редактор

Ильичев В.А. академик РААСН, д-р техн. наук, проф.,
НИУ МГСУ, г. Москва, РФ

Заместители главного редактора:

Колчунов В.И. академик РААСН, д-р техн. наук, проф.,
НИУ МГСУ, г. Москва, РФ

Бакаева Н.В. советник РААСН, д-р техн. наук, проф., НИУ МГСУ,
г. Москва, РФ

Шубенков М.В. академик РААСН, д-р арх., проф., МАРХИ,
г. Москва, РФ

Редакционная коллегия

Акимов П.А. академик РААСН, д-р техн. наук, проф., НИУ МГСУ,
г. Москва, РФ

Акимкин Е.М. канд. социол. наук, Федеральный научно-иссле-
довательский социологический центр РАН, г. Москва, РФ

Сапрыкина Н.А. чл.-корр. РААСН, д-р арх., проф., МАРХИ,
г. Москва, РФ

Енин А.Е. советник РААСН, канд.-т арх., проф., ВГТУ, г. Воронеж,
РФ

Емельянов С.Г. чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф., ЮЗГУ,
г. Курск, РФ

Бок Т. д-р техн. наук, проф., Мюнхенский технический универ-
ситет, г. Мюнхен, Германия

Брандль Х. д-р техн. наук, проф., Венский технический универ-
ситет, г. Вена, Австрия

Ткачев В.И. д-р арх., проф., НИУ МГСУ, г. Москва, РФ

Гордон В.А. д-р техн. наук, проф., ОГУ им. И.С. Тургенева,
г. Орел, РФ

Данилина Н.В. д-р техн. наук, чл.-корр. РААСН, НИУ МГСУ,
г. Москва, РФ

Егоровский В.А. канд. с.-х. наук, доцент, БГТУ, г. Брянск, РФ

Казарян А.Ю. д-р иск., академик РААСН, НИУ МГСУ,
г. Москва, РФ

Леденев В.И. д-р техн. наук, проф., Тамбовский государственный
технический университет г. Тамбов, РФ

Лисеев И.К. д-р филос. наук, проф., Институт философии РАН,
г. Москва, РФ

Николов Н.Д. иностранный член РААСН, д-р техн. наук, проф.,
Болгарская академия наук, г. София, Болгария

Осипов В.И. академик РАН, д-р техн. наук, проф., Институт гео-
экологии им. Е.М. Сергеева РАН, г. Москва, РФ

Телечко В.И. академик РААСН, д-р техн. наук, проф.,
НИУ МГСУ, г. Москва, РФ

Тур В.В. д-р техн. наук, проф., Брестский государственный техни-
ческий университет г. Брест, Беларусь

Умнякова Н.П. д-р техн. наук, проф., Научно-исследовательский
институт строительной физики РААСН, г. Москва, РФ

Федоров В.С. академик РААСН, д-р техн. наук, проф., Российский
университет транспорта (МИИТ), г. Москва, РФ

Федорова Н.В. советник РААСН, д-р техн. наук, проф.,
НИУ МГСУ, г. Москва, РФ

Шах Р. д-р техн. наук, проф., Дрезденский технический универ-
ситет, г. Дрезден, Германия

Шубин И.Л. чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф., Научно-иссле-
довательский институт строительной физики РААСН, г. Москва, РФ

Птичкина Г.А. академик РААСН, д-р техн. наук, проф., ВолгГТУ,
г. Волгоград, РФ

Тер-Мартirosan A.З. д-р техн. наук, НИУ МГСУ, г. Москва, РФ

Щербина Е.В. д-р техн. наук, проф., НИУ МГСУ, г. Москва, РФ

Чен Хаоян д-р арх., проф., Сианьский университет архитектуры
и технологии, Китай

Ли Юэнь д-р арх., проф., Сианьский университет архитектуры
и технологии, Китай

Адрес редакции и издателя

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский госу-
дарственный строительный университет».

Издательство МИСИ – МГСУ

129337, Москва, Ярославское ш., д. 26.

Сайт: www.mgsu.ru

E-mail: journals@mgsu.ru

Подлинный индекс 94005 по объединенному каталогу «Пресса
России»

Зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство ПИ № ФС77-56639

© ЮЗГУ, 2026 © БГИТУ, 2026 © НИИСФ РААСН, 2026

© НИУ МГСУ, 2026

© ФГБУ «ЦНИИП МИНСТРОЯ РОССИИ», 2026

БИОСФЕРНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ: ЧЕЛОВЕК, РЕГИОН, ТЕХНОЛОГИИ

Учредители

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический
университет» (БГИТУ), г. Брянск

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ), г. Курск

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук»
(НИИСФ РААСН), г. Москва

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»
(НИУ МГСУ), г. Москва

ФГБУ «Центральный научно-исследовательский и проектный институт
Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации», г. Москва

Журнал включен в перечень ведущих научных журналов и изданий ВАК
при Минобрнауки России по группе научных специальностей
2.1 – Строительство и архитектура: 2.1.4, 2.1.7, 2.1.12, 2.1.13

СОДЕРЖАНИЕ

Вопросы теории биосферной совместимости городов и поселений

З.И. Иванова. Земля как основной ресурс биосферы: парадоксы современной
урбанизации 2

Градоустройство и архитектура

Н.В. Данилина, А.Е. Малышева, Ли Юэнь. Эмоциональный код исторической
среды на основе нейроархитектурного анализа городов Dangkou Ancient Town
и Huishan Ancient Town в Китае 15

В.Д. Оленьков, А.О. Колмогорова, М.Д. Замула, А.В. Алеманов. Особенности
моделирования ветрового режима проектируемого жилого комплекса 25

А.И. Гиясов. Модель оценки природно-климатических факторов в архитектурно-
градостроительной среде на основе биоклиматических критериев 34

И.С. Козутяк, Н.В. Бакаева. Надземная территория детских садов
как территориально-строительный ресурс 49

Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства

Ю.Л. Сколупович, А.И. Кармалов, А.А. Цыба. Антропогенное загрязнение
подземных источников водоснабжения: проблемы и решения 62

Биосферосовместимые технологии

Л.И. Соколов, И.М. Смирнова, Л.М. Воронай. Интенсификация процесса
доочистки сточных вод гальванического производства с использованием
ультразвукового воздействия 71

Н.П. Умнякова. Обеспечение энергосбережения в домах с деревянными
стенами и дощатой обшивкой на основе 80

Уважаемые авторы! 90

Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2026. № 1. С. 2–14.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 502.211

DOI: 10.22227/2311-1518.2026.1.2-14

ЗЕМЛЯ КАК ОСНОВНОЙ РЕСУРС БИОСФЕРЫ: ПАРАДОКСЫ СОВРЕМЕННОЙ УРБАНИЗАЦИИ

Зинаида Ильинична Иванова

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ); г. Москва, Российская Федерация

Тема статьи является актуальной в связи с продолжающейся деградацией биосферы Земли и ее компонентов, гибелью почвенного покрова в некоторых районах планеты. Цель исследования: рассмотреть понятие «Земля» в различных аспектах, заострив внимание на земле как почве и характере землепользования. Среди задач:

- *проследить, как менялось отношение к земле и землепользованию в историческом времени;*
- *установить, в каком состоянии находится земля (почва, грунты) сегодня;*
- *выявить, какие негативные изменения происходят в городской почве;*
- *охарактеризовать парадоксы современной урбанизации;*
- *изучить усилия, предпринимаемые для восстановления и улучшения почвенного покрова.*

Статья носит обзорный характер. Методы исследования: анализ документов — исторических источников, нормативно-правовых актов, научных статей. Результаты исследования:

- *понятие «Земля» чрезвычайно многогранно, используется в разных контекстах, но в любом из них проблемы бережного отношения, ее охраны занимают первостепенное место;*
- *в историческом времени отношение к земле как почве было разным: от почитания Природы и Земли как божества, благоговения перед ней и гармонического взаимодействия до безжалостной эксплуатации и разрушения, а затем осознания ее истощаемости и принятия мер к восстановлению;*
- *парадоксы урбанизации возникают из-за развития общества потребления, изменения жизненных ценностей людей, смысла, цели, характера и структуры потребления. Урбанизация, миграция и сосредоточение людей в крупных городах, сверхпотребление породят новые парадоксы, еще более серьезные, чем те, которые наблюдаются в настоящее время.*

Вывод автора: необходимы срочные меры по усилению заботы о земле со стороны государства: изменение нормативно-правовой базы ее использования, принятие нового закона о землеустройстве и охране почв, введение мониторинга почв, создание информационных систем для районов и территорий, введение риск-менеджмента в землепользовании для усиленного контроля в зонах повышенного риска.

Ключевые слова: биосфера, почва, землепользование, аграрная революция, технологии землепользования, урбанизация, урбаномем, деградация почвы, парадоксы урбанизации

Для цитирования: Иванова З.И. Земля как основной ресурс биосферы: парадоксы современной урбанизации // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2026. № 1. С. 2–14. DOI: 10.22227/2311-1518.2026.1.2-14

EARTH AS THE MAIN RESOURCE OF THE BIOSPHERE: PARADOXES OF MODERN URBANIZATION

Zinaida I. Ivanova

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

The topic of the article is relevant due to the ongoing degradation of the Earth's biosphere and its components, and the loss of soil cover in some areas of the planet. The objective of the study is to consider the concept of "Earth" in various aspects, focusing on the state of the earth/soil and the nature of land use. The tasks include:

- *tracing how the attitude towards earth and land use has changed over historical time;*
- *establishing the state of the earth (soil, ground) today;*
- *identifying the negative changes occurring in urban soil;*
- *characterizing the paradoxes of the modern urbanization process;*
- *studying the efforts being made to restore and improve the soil cover.*

The article is of a review. Research methods: analysis of documents — historical sources, regulatory legal acts, scientific articles. The results of the study revealed:

- *the concept of "Earth" is extremely multifaceted, used in many contexts, but in any of them, the problems of careful attitude and its protection occupy a primary place;*

- throughout history, attitudes toward earth as a resource have varied — from the veneration of nature and the earth as a deity, reverence for it, and harmonious interaction to cruel exploitation and destruction, followed by the recognition of its exhaustibility and the adoption of measures for its restoration;
- the paradoxes of urbanization arise from the development of a consumer society, changing people's values, and the meaning, purpose, nature, and structure of consumption. Urbanization, migration, and the concentration of people in large cities, along with overconsumption, will give rise to new paradoxes, even more severe than those currently experienced will.

The author concludes: urgent measures are needed to strengthen the state's care for earth: changes to the regulatory framework for its use, the adoption of a new law on land management and soil protection, the introduction of soil monitoring, the creation of information systems for districts and territories, and the introduction of risk management in land use for enhanced monitoring in high-risk areas.

Keywords: biosphere, soil, land use, agricultural revolution, land use technologies, urbanization, urban soil, soil degradation, urbanization paradoxes

For citation: Ivanova Z.I. Earth as the Main Resource of the Biosphere: Paradoxes of Modern Urbanization. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2026; 1:2-14. DOI: 10.22227/2311-1518.2026.1.2-14 (rus.).

Введение

В связи с ухудшением экологической ситуации на планете и разрушением среды обитания все большую актуальность приобретают вопросы, связанные с землей как основным ресурсом Биосферы. Рассматривая землю в разных контекстах, мы утверждаемся в мысли, что земля — главное условие и основа нашего существования с биологической, экономической, культурной точек зрения. Земля — среда обитания для живых организмов, источник питания, тепла, воды, воздуха. Вне земли и без земли нет ничего живого, нет жизни.

Понятие «Земля» многозначно, смысл слова зависит от того, в каком контексте мы его употребляем и обозначаем с прописной или строчной буквы. Однако в любом понимании Земли главной идеей проходит необходимость ее защиты, бережного отношения, поддержки и заботы.

Проблемам Земли посвящается много исследований в разных областях наук, авторы рассматривают проблемы во множестве аспектов. Исследовательские работы связаны с состоянием современной биосферы [1–3], разработкой концепций сохранения биосферы в практическом аспекте [4, 5], прогнозированием возможных изменений биосферы как в результате естественных процессов изменения климата, так и под влиянием деятельности человека [6, 7], состоянием городской земли/почвы и негативными процессами современной урбанизации [8–11].

Цель данной статьи рассмотреть Землю с точки зрения трех взаимосвязанных проблем:

- употребление термина «Земля» в разных контекстах, наполнение смыслом и содержанием этого многозначного для человека понятия;
- отношение к Земле и обозначение ее ценности, а также практика землепользования в разные исторические времена;
- современная урбанизация как наиболее разрушительный фактор деградации биосферы.

Метод исследования — анализ документов: мифов, исторических источников, законов, научных исследований биосферы и ее компонентов.

Результаты исследования

Рассмотрим некоторые интерпретации понятия «Земля», существующие в сознании человека.

1. *Земля как божество.* В мифологии разных народов Земля является главной богиней, дающей жизнь, ее связывают с плодородием, материнством. В индийской мифологии в древнейших ведических гимнах Небо (Дьяус) и Земля (Притхви) предстают как нераздельная божественная пара, прародители всего сущего. Их союз — это метафора творения, где дух (Небо) оплодотворяет материю (Землю). В постведической мифологии образ Земли отражается в образах Бхудеви (Бхуми), Дхарани и Васундхара. В индийской культуре существует Бхумипуджа — церемония освящения земли, во время которой Бхуми предлагают разные дары, читают мантры, восхваляют ее как мать всего сущего.

В древнегреческой мифологии Гея (Земля) — одна из первых божеств, вышедшая из Хаоса. Она произвела небо Уран, от которого родила все живое (рис. 1).

В славянской мифологии: Мать Сыра Земля (Рожаница, Матушка-Природа) — мать всех живых существ и растений, средоточие плодородия (рис. 2).



Рис. 1. Гея во время гигантомахии. Пергамский алтарь II века до н. э. Пергамский музей. Берлин



Рис. 2. Образ Матери Сырой Земли в народно-прикладном искусстве

В марийско-мордовской мифологии центральное место занимает Мланде-ава (буквально Земля-мать), давшая рождение земле, она же одновременно представлялась как обожествленная земля, подательница детей, здоровья, защитница материнства, хранительница семьи.

В мифах всех народов Земля представляет ценность и требует почитания, бережного, заботливого отношения.

2. *Земля как планета, космическое тело.* По представлению современной науки, Земля — единственная планета Солнечной системы, на которой есть жизнь. По мнению ученых, Земля начала формироваться около 4,54 млрд лет назад, а весь процесс формирования занял примерно 10–20 млн лет. Возникновение атмосферы на земле — конечный результат эволюции, процесс ее формирования тоже занял длительное время: примерно 3–4 млрд лет, а жизнь возникла 41–3,8 млрд лет назад в водоемах ранней Земли. Вопрос о возникновении биосферы вызывает активные дискуссии в связи с существованием различных гипотез.

3. *Земля как географическая оболочка.* В физической географии Земля — это природный комплекс, имеющий разные взаимопроникающие уровни, включает твердую оболочку (литосферу), атмосферу, гидросферу и биосферу. Эти оболочки взаимодействуют между собой, проникают друг в друга, например биосфера включает в себя всю гидросферу, верхнюю часть литосферы и нижнюю часть атмосферы. Нарушение этой структуры чревато разрушением условий, необходимых для нормальной жизнедеятельности организмов.

4. *Земля — как суша, территория, почва, грунт.* В. Вернадский рассматривал почву как центральное звено биосферы, он называл ее «Живым веществом суши». Биосфера составляет верхнюю оболочку одной из областей нашей планеты — земной коры. «По существу, мы имеем здесь одну живую пленку, которую представляет почва и населяющая ее фауна и флора, писал академик В. Вернадский. Жизнь покрывает сушу почти сплошной пленкой... Мощность этой пленки очень незначительна...» [12, с. 139]. Почва является основой организации био-

сферы и ключевым звеном всех биологических процессов. В ней сталкиваются все компоненты биосферы, там сочетаются живые организмы, формируя сложную систему; биоразнообразие организмов на земле в значительной степени определяется разнообразием почв. Исследованию почвы ученый уделил особое внимание, написав несколько работ [13]. Учение В. Вернадского о роли почвы в организации биосферы имеет важное значение для современной экологии и почвоведения.

5. *Земля как разумное существо.* В 1973 г. британский климатолог Джеймс Лавлок и американский микробиолог Линн Маргулис опубликовали статью «Земля — разумное существо» в журнале «The Science Times» («Наука и время»), в которой изложили «Гипотезу Гея».

По мнению ученых, Гея — огромный суперорганизм с механизмом саморегуляции. «Земля — это динамичная физиологическая система, которая включает в себя биосферу и поддерживает нашу планету более трех миллиардов лет в гармонии с жизнью» [14]. Связь между планетой и жизнью выполняют микроорганизмы. Организмы активно меняют окружающую среду и сами поддерживают условия, пригодные для существования. В 1993 г. Д. Лавлок на страницах журнала «Вестник Российской академии», посвященного празднованию 130-летия академика В. Вернадского («Дни Вернадского»), подтвердил свою мысль, сославшись на более раннего автора этой идеи Джеймса Хаттона [15].

Обсуждение данной идеи возобновляется время от времени. В журнале «National Geographic Россия» 25 февраля 2022 г. опубликована небольшая статья «Ученые считают, что Земля может быть разумным существом». В статье обсуждается гипотеза, выдвинутая астрофизиками из Университета Рочестера (Нью-Йорк, США) в статье «Разум как процесс планетарного масштаба» [16]. Американские исследователи нашли у планеты признаки, говорящие о том, что у Земли есть личностные особенности, схожие с особенностями живых организмов, и этот планетный суперорганизм обладает разумом. Однако идея не получила активной дискуссии в научной среде. В апреле 2022 г. выпуск журнала «National Geographic» в России был приостановлен.

В каждой науке существуют свое специфическое рассмотрение и трактовка Земли: в географии, физике, философии, экономике, праве, при этом каждая из наук придерживается многоаспектного подхода к характеристике ее сущности. Например, в политической практике понятие Земля используется как название федеральной административно-территориальной единицы (федеральные земли Германии) или субъекта административного деления (области, провинции, районы).

В представленной статье основное внимание уделяется земле/почве с точки зрения ее ценности как основного компонента биосферы, сохранности земли, ее здоровью и практике землепользования в истории человечества.

1. *Первобытные общества.* Наибольшей ценностью земля обладала в сознании первобытного человека. В этот период люди находились в состоянии полной зависимости от природы: наличия плодородной земли, воды, растительности, которая давала пищу и укрывала от палящего солнца. Земля была не только условием выживания, но и обладала сакральным смыслом. Первобытный человек воспринимал землю живой, разумной, чувствующей, как и всю природу, видел в ней высший дух, божество, поэтому пытался ее задобрить, умиловить, отблагодарить за урожай. По его представлению, земля слышит, реагирует, отвечает [17]. Обработывая землю, крестьяне демонстрировали уважение, обращались к ней со словами «Матушка», «Кормилица». Земля была свидетельницей клятв, ею клялись, прикасаясь ладонью. Отправляясь в путь, брали горсть родной земли, переселяясь на другие территории, высыпали на нее родную землю [18].

2. *В период неолитической революции* (или первой аграрной революции) начался переход от присваивающего хозяйства к производящему и к оседлому образу жизни. Возникали отрасли животноводства и земледелия, улучшались орудия труда, что подтолкнуло к преобразованию природной среды. Началось окультуривание растений, первыми окультуренными стали семена пшеницы, гороха, чечевицы. Постепенно увеличивалось количество видов; практически все одомашненные растения уже появились в период неолитической революции, это дало возможность планомерного высевания наиболее эффективных, урожайных видов растений и производства зерна для хранения. При присваивающем хозяйстве излишки могли возникать, но они плохо сохранялись. Производящее хозяйство планомерно было направлено на накопление запасов, что способствовало демографическому росту, созданию постоянных поселений.

Есть мнение, что неолитическая революция навсегда покончила с симбиотическим взаимодействием человека с природой. Человек занял доминирующую позицию по отношению к природе, стараясь использовать в своих интересах и подстраивать под свои нужды. Постепенно эти процессы привели к возникновению цивилизации и технико-технологического прогресса. Самое раннее предположение о начале неолитической революции 10 тыс. лет назад, однако следует отметить, что переход к производящему хозяйству в разных точках земного шара проходил в разное время и в разной степени. Вокруг

самого понятия «неолитическая революция» (введенного в 1949 г. английским археологом Гордоном Чайлдом), времени возникновения, локализации центров революции и принципа линейности исторического развития продолжается дискуссия [19]. Но для нас важно то, что именно в этот период произошло расхождение человека с природой.

3. *В эпоху первых цивилизаций* продолжается процесс разделения труда, усиливается социальное неравенство, формируются социальные группы, основным занятием которых становится не земледелие или скотоводство, а управление, административная, религиозная деятельность, искусство. Вследствие роста численности населения и сосредоточения в растущих городах потребовалось освоение новых пространств под пашни и применение новых технологий и техники. Первый удар последствий городского расширения приняла на себя почва. В восточных цивилизациях практиковалось орошаемое земледелие, создание ирригационных систем, каналов и плотин для получения высокого урожая. Непродуманный подход к созданию систем орошения вел к эрозии и деградации почвы, в конечном итоге — к первым экологическим кризисам.

В античности сельское хозяйство также составляло основу производящей культуры. В Древней Греции земледелие оставалось главным занятием сельского населения. Из-за засушливого климата на территории древнегреческих полисов серьезной проблемой становилось сбережение почвенной влаги. Древнегреческий поэт Гесиод в поэме «Труды и дни» изложил правила ведения земледелия и составил сельскохозяйственный календарь, указав наилучшие сроки проведения тех или иных работ. В Риме обработка пашни уже переводится на уровень науки. Марк Порций Катон Старший в трактате «О земледелии» сделал попытку классифицировать почвы по их плодородию, а также определить пригодность почвы для выращивания тех или иных растений. Марк Теренций Варрон изучал почвы по районам и в работе «Сельское хозяйство» (37 г. до н. э.) рекомендовал специализированное земледелие: в зависимости от географических особенностей (холмистая, равнинная местность) и состояния почвы (жирная, сухая) высевать разные культуры. Таким образом, он заложил основы агрокультуры.

Тем не менее и Античная Греция, и Рим создали проблемы в сохранении качества почвы. Вырубка лесов и оголение земли на горных склонах привели к сползанию и размыванию почвы, на низменных участках, наоборот, происходило заболачивание. Бесконтрольный выпас скота также вел к оголению и размыванию земли, частые вспашки истощали землю.

4. В Средние века в Европе произошло расширение ареала обрабатываемых земель за счет освоения пустошей, осушения болот, корчевки и выжиги леса. Например, славяне в раннем средневековье практиковали подсечно-огневую и переложную технологии. Продвигаясь на север и осваивая новые территории, славяне выжигали леса, образуя новые пашни, таким образом лес все больше отходил на север, а почва истощалась. В лесостепной зоне пашню «перекладывали» на другой участок, таким образом давая прежней засеваемой земле возможность отдохнуть. Средневековый крестьянин в Восточной Европе еще сохранял языческое отношение к земле, одухотворяя и обожествляя ее, но сокращение земельных наделов для пользования в крестьянском хозяйстве и увеличивающиеся поборы с крестьян заставляли их эксплуатировать землю. В результате появились экологические проблемы и в Европе: обезлесение, истощение питательных веществ, эрозия почвы.

В период Позднего Средневековья усиливалась специализация сельскохозяйственных районов континентов, в основе которой преимущественно лежали различные природные условия. Началось интенсивное осушение болот, повсеместно увеличивались площади посевов, внедрялась «трехпольная» система, росла урожайность. Одновременно началось расширение городов, все новые территории оказывались в черте города.

5. Вторая аграрная революция, начавшаяся в Британии в начале Нового времени, принесла новые научные подходы к использованию земли — разработку технологий, повышающих урожайность, сохраняющих питательные вещества в почве (например, создание четырехрядного севооборота Норфолка в начале XVI в. в регионе Ваасланд на территории современной северной Бельгии). Внедрение новых сельскохозяйственных культур (картофеля, кукурузы), плодородных сортов растений повысили эффективность сельского хозяйства. Это способствовало быстрому росту населения.

В то же время начавшаяся индустриализация, урбанизация — рост городов и количества промышленных предприятий, использование для отопления ископаемого топлива (торфа, угля, сланца, затем нефти) усилили антропогенное воздействие, в атмосферу стали выбрасываться углекислый газ, угарный газ, оксиды азота, углеводороды и другие элементы, которые оказывали негативное воздействие на почву. Новое время сопровождается также интенсивным истреблением леса. Развивающаяся бумажная, лесохимическая промышленность требовала масштабной вырубке лесов, что вело к нарушению круговорота влаги, сокращению осадков, изменению структуры почвы и исчезновению видов, связанных с лесной экосистемой. В среднерусской

черноземной области площадь лесов сократилась с 40 % в XV–XVI вв. до 15 % в лесной и 8 % в лесостепной зонах уже к концу XIX в. [20]. Внесение в начале XVIII в. дубовых лесов Чувашии в категорию корабельных вызвало их интенсивную вырубку на нужды кораблестроения. В связи со строительством железной дороги до станции Казань – Рузаевка через лесные массивы Чувашии и бурным развитием лесопильной, деревообрабатывающей и лесохимической промышленности с конца XIX в. площадь лесов значительно уменьшилась. Только за одно столетие лесные угодья республики сократились на 15 % [21]. С ростом производства и городов роль древесины как строительного материала и топлива возрастала. Такое же масштабное обезлесение происходило и в Западной Европе: во Франции, Германии, Великобритании и Северной Ирландии. В конце XIX – начале XX в. темпы обезлесения ускорились.

Рост городского населения, увеличение численности социальных групп, не связанных с сельскохозяйственным трудом, потребовали производства продуктов питания в большем объеме, что приводило к расширению пашен, их эксплуатации, истощению плодородия, загрязнению и захламлению земель различными отходами. Новое время — период возникновения серьезных экологических проблем, перешедших в разряд глобальных и не разрешенных до настоящего времени.

6. Рост городских агломераций в Новейшее время сопровождался изменением структуры землепользования, увеличением нагрузки на экосистемы и нарушением экологического равновесия. Расширение городской застройки влекло за собой сокращение зеленых зон, деградацию почв и утрату биоразнообразия. Уменьшение площади естественных экосистем снижает их способность выполнять регулирующие функции и поддерживать устойчивость городской среды.

Мировой земельный фонд и его состояние

В настоящее время общая площадь мирового земельного фонда составляет 13,4 млрд га [22]. В феврале 2026 г. численность населения земли составляла 8 369 715 500 человек. Таким образом, на одного жителя Земли приходится примерно 1,6 га. Однако по регионам и странам мира земельный фонд распределен крайне неравномерно. Наибольшая часть земельного фонда приходится на Африку (30,3 млн км²) и Зарубежную Азию (27,7 млн км²) [22]. По данным на 1 января 2025 г., Земельный фонд России составляет 1 723 399,1 тыс. га (1,7 млрд га) без учета внутренних морских вод и территориаль-

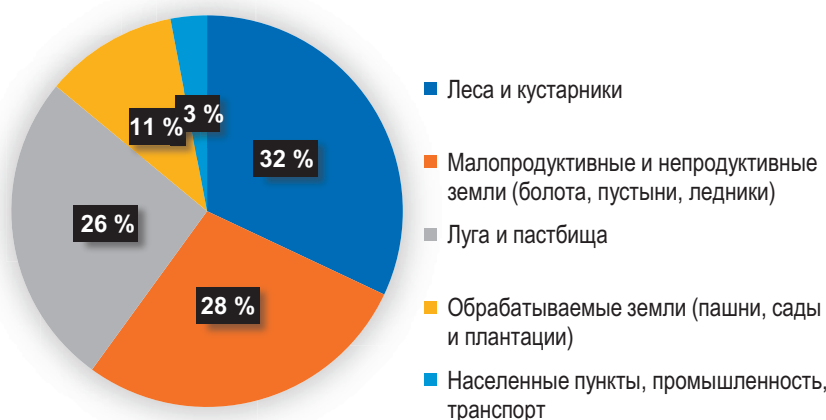


Рис. 3. Структура земельного фонда мира [24]

ного моря и без учета земель новых территорий [23]. По обеспеченности земельными ресурсами в расчете на одного жителя среди перечисленных стран являются безусловными лидерами Австралия (30 га) и Канада (26 га). В России эта величина составляет 11 га на душу населения (численность населения России на 22 февраля 2026 г. — 146 271 446 чел.).

В структуре мирового земельного фонда 37 % приходится на сельскохозяйственные угодья, из них лишь 11 % — это обрабатываемые земли (пашни, сады, засеиваемые луга), остальные 26 % — естественные луга и пастбища. Доля земель, не используемых в сельском хозяйстве, составляет 63 %. Это леса (32 %), земли под городской, транспортной и промышленной застройкой (3 %), а также малопродуктивные и непродуктивные земли (28 %) (рис. 3.)

На 1 января 2025 г. в России структура земельного фонда выглядела таким образом: земли лесного фонда — 66,2 % (1 137 236,6 тыс. га), земли сельскохозяйственного назначения — 21,8 % (374 129,1 тыс. га), земли водного фонда — 1,6 % (28 130,4 тыс. га), земли запаса — 586 842,4 тыс. га, земли населенных пунктов — 1,3 % (21 862,5 тыс. га), земли промышленности и иного специального назначения — 1,1 % (18 562,8 тыс. га), земли особо охраняемых территорий и объектов — 3 % (51 075,4 тыс. га) (рис. 4.)

За исторический период человечество уже утратило около 2 млрд га некогда плодородных почв, превратив их в антропогенные пустыни и неплодородные истощенные земли. Сегодня мы можем говорить о повсеместной деградации земель на планете, процессы носят глобальный характер. Площадь истощенных почв в мире достигла 15 млн км². Продолжается эрозия почв — разрушение и исчезновение верхних плодородных и подстилающих слоев, ежегодно из сельскохозяйственного оборота выводится 6–7 млн га. Например, только в Китае «общая площадь почвенных и водных потерь в стране достигла 3,56 млн км², что составляет 36,8 % территории страны» [25].

Нарушенные земли в России составляют 97,2 тыс. га. Это всего 0,11 % от всей земли запаса [22], и разрушение больше затрагивает городские земли. В науке появился новый термин — урбанозем — почва искусственного происхождения, созданная в процессе формирования городской среды [26]. Сегодня в мире уже 43 % населения проживает в городах, в России этот процент составляет более 75 %. В некоторых странах Европы численность городского населения уже достигает 80–85 %. Занимая всего 2 % поверхности суши, города потребляют более 75 % материальных ресурсов планеты.



Рис. 4. Структура земельного фонда России [23]

Вследствие антропогенного воздействия в городах происходит:

- *нарушение органопрофиля земли (почвы)*. Это дегумификация, истощение и изменение плодородного слоя вплоть до полного уничтожения и невозможности восстановления;
- *загрязнение почвы вредными веществами*. В почву проникают химикаты, тяжелые металлы, радиоактивные вещества, почва претерпевает сверхнормативное воздействие электрических и электромагнитных полей;
- *нарушение структуры почвы (урбопедогенез)*. Нарушения возникают при строительстве зданий и сооружений (особенно подземных), при прокладке трубопроводов, дорог и линий связи: происходит засорение земли отходами строительства, почва уплотняется, уменьшается ее пористость, соответственно, нарушаются влагоемкость и воздухопроницаемость, дыхательная способность, снижается функция регуляции температуры, что создает эффект «теплового острова» и влияет на изменение климата. Также прекращается доступ питательных элементов к корневым системам, это вызывает гибель растений;
- *сокращение биоразнообразия*. Происходит изменение состава, численности и структуры микрофлоры, появляются патогенные микроорганизмы. Это нарушает стабильность почвенной экосистемы и может привести к потере ряда ее экологических функций.

На состояние почвы также влияют архитектурно-градостроительные решения:

- нарушение градостроительных нормативов;
- нерациональная организация территории;
- самовольное строительство, уплотнение городских районов;
- ухудшение баланса земель, дробление сложившихся земельных участков.

Таким образом, земля как основной ресурс биосферы сегодня находится в удручающем состоянии. Современная урбанизация порождает множество парадоксов — противоречий, возникающих из-за интенсивного городского роста, изменения жизненных ценностей населения, изменения вектора потребления и вызывающих негативные последствия для биосферы, общества и самой личности.

Парадокс роста потребления

С одной стороны, человек хочет жить лучше, отдыхать качественнее, питаться разнообразнее и быть здоровее: потребности человека в целом постоянно растут.

С другой стороны, потребление теряет свой рациональный смысл. Человек подвергается агрес-

сивному натиску рекламы, внушающей ложные потребности. Человек приобретает много одежды, обуви, продуктов питания, но он в данном случае потребляет не вещи сами по себе, а знаки престижности, т.е. покупаемые им вещи не являются жизненно необходимыми (они, скорее всего, лишние), но они нужны, чтобы соответствовать статусу своей группы. Парадоксально и то, что сам статус складывается из того, что человек имеет и потребляет: «Скажи, что ты потребляешь, и я скажу, кто ты». В соответствии с ростом потребностей происходит перепроизводство товаров: обуви, одежды, предметов быта, пищи, создавая нагрузку на биосферу и истощая ее.

В России за последние 20 лет объемы покупок товаров и услуг выросли более чем в два раза, но доля расходов на продовольствие в структуре потребления домашних хозяйств (ПДХ) остается стабильной — около 30 % бюджета, хотя в соответствии с выявленной закономерностью при росте доходов доля трат на еду должна снижаться (закон Энгеля). Например, в США на продовольствие тратится 7–12 %, в странах ЕС — 10–15 %, в Турции, Литве и Эстонии чуть превышают 20 % ПДХ [27, 28]. Исследователи из ВШЭ полагают, что снижения доли расходов на еду не происходит, в частности, из-за того, что сохраняется культурная специфика России: «холодильник битком» — модель, относящаяся к этническому стереотипу поведения, становящаяся маркером благополучия. По Ж. Бодриару, стереотип поддерживается ценностями общества потребления и обозначает знак престижного потребления [29]. В результате продукты залеживаются, не используются, многое выбрасывается в мусорное ведро. Подчеркивая, что это огромное расточительство, Ж. Бодриар вводит понятие «цивилизации мусорной корзины» («Скажи мне, что ты выбрасываешь, и я скажу, кто ты») [29, с. 66].

Парадокс мобильности

Конец XX – начало XXI в. характеризуется активизацией мобильности населения. Мобильность — это демократический признак свободы передвижения и выбора места жительства. Согласно Докладу о развитии человека 2009 г., подготовленному Программой развития Организации Объединенных Наций (ПРООН) «Преодоление барьеров: человеческая мобильность и развитие», мобильность может стимулировать развитие человеческого потенциала [30]. Однако сформировалась однонаправленная мобильность, с Востока на Запад, из малых городов и сельской местности в крупные города. В результате крупные города разрастаются еще больше, увеличивается антропогенная нагрузка на городскую землю, в то время как оголяются малые

города, пустеют сельские поселения, территория зарастает сорными деревьями (американский клен, тополь, осина, ива), которые вытесняют более ценные виды деревьев.

Парадокс взаимоотношений транспорта и биосферы

С одной стороны, горожане выступают за защиту природы, «потому что в городе и так дышать нечем», с другой стороны, они же жалуются, что к дому не подъехать, недостаточно парковок. Городские власти пытаются справиться с автомобильными пробками, закладывают новые магистрали, «запечатывают» под асфальт землю, а это еще больше усугубляет экологическую ситуацию. В Испании городские власти пытаются решить эти проблемы увеличением количества районов городов, куда въезд на автомобилях запрещен, на других улицах скорость ограничивается до 10 км/час. Например, Понтеведра — небольшой испанский город, в исторической части которого запрещено движение автомобилей.

Парадокс дефицита чистой воды, чистого воздуха

Все перечисленные выше парадоксы ведут к следующему, более осязаемому. Жан Бодрийяр отметил, что господство городской и индустриальной среды привело к новым дефицитам: природа, пространство, чистый воздух, чистая вода, тишина. «Существует право на пространство только начиная с момента, когда нет больше пространства для всех и когда пространство и тишина становятся привилегией некоторых в ущерб другим... “Право на чистый воздух” означает утрату чистого воздуха как естественного блага, его переход к статусу товара и его неравное социальное перераспределение» [29, с. 83, 84]. Комфортная городская среда отдается немногим (в джентрифицированных районах), большая часть горожан проживает в жилищных кварталах с повышенной плотностью социального и физического пространства, с воздухом, насыщенным выхлопными газами транспортных средств.

При этом «Парадоксы постоянно рожают новые парадоксы, это *perpetum mobile*» [31]. Продолжающееся ухудшение состояния биосферы, ее деградация, истощение природных ресурсов породят парадоксы, еще более тяжелые для человека.

Обсуждение

Нельзя считать, что в древности люди не задумывались о сохранности плодородия почвы. Первые знания о почвах человек получил уже при переходе

от собирательства к земледелию, а затем накапливал эти знания. Уже в период первых цивилизаций люди применяли технологии по совершенствованию земледелия, повышающие урожайность. Особых успехов достигла аграрная наука в Древнем Риме: были освоены севообороты, совершенствовалась сельскохозяйственная техника, использовались органические удобрения, вводились новые формы организации сельскохозяйственного производства: виллы, фермы, латифундии. Эти достижения распространились на всей территории Римской империи, кроме областей, занятых древнегерманскими и балто-славянскими племенами.

Вплоть до XVII–XVIII вв. сельскохозяйственные знания в Европе не расширялись, население практиковало архаичные формы земледелия. Начиная с Нового времени, появляются десятки сочинений с предложениями научно обоснованных методов ведения сельского хозяйства и повышения эффективности землепользования. Например, так называемые физиократы («господство природы») во Франции в рамках классической политической экономии сосредоточили внимание на сельском хозяйстве, считая единственным источником продукта почву, а производительной сферой — только земледелие.

Достижения в совершенствовании земледелия связаны в России в XVIII в. с именем Андрея Тимофеевича Болотова (1738–1833) — основателя отечественной опытной агрономии, а в Западной Европе — с Альбрехтом Тэйером (1752–1828), основателем первой в мире Высшей агрономической школы в Германии и автором трехтомного труда «Основы рационального сельского хозяйства» [32]. Однако наибольший вклад в развитие сельскохозяйственной науки сделан В.В. Докучаевым, изучавшим черноземы Центральной России. Ученый пришел к выводу, что причина падения плодородия черноземов — неправильное землепользование, и сделал великое открытие в области почвообразования. Труд В.В. Докучаева «Русский чернозем» заложил новую науку — генетическое почвоведение. В 1899 г. ученый составил Почвенную карту Европейской части России.

Почвенная карта мира была разработана и опубликована в 1937 г. в Большом советском атласе, в которой впервые была изложена география, состояние и перспективы освоения почвенных ресурсов мира, из которой стало ясно, что перспективы не беспредельны и использование почв не должно быть бесконтрольным, иначе почва может быть разрушена.

В Советской России на вопросы землеустройства стали обращать внимание сразу же после Октябрьской социалистической революции: 26 октября (8 ноября) 1917 г. был принят Декрет ВЦИК

«О земле», решивший вопросы передачи земли крестьянам, в 1918 г. издан декрет «О социализации земель», в котором фиксировался порядок использования земель. В феврале 1919 г. принят еще один значительный нормативно-правовой акт — «Положение о социалистическом землеустройстве и о мерах перехода к социалистическому земледелию», в котором введены меры по охране земель и повышению почвенного плодородия, что в дальнейшем было учтено в Земельном кодексе 1922 г. 13 декабря 1968 г. был принят закон «Об утверждении Основ земельного законодательства Союза ССР и союзных республик». В документ была включена статья 13, которая называлась «Охрана земель и повышение плодородия почв». Законом СССР были утверждены Основы земельного законодательства Союза ССР и союзных республик.

В 1971 г. был принят Земельный кодекс. Вслед за Основами земельного законодательства Союза ССР этот закон впервые установил положение о государственном земельном кадастре, который призван был стать систематизированным сводом достоверных и необходимых сведений о природном, хозяйственном и правовом положении земель. Однако социально-экономические преобразования 1990-х гг. потребовали внести изменения в Земельный кодекс. В настоящее время действует Федеральный закон (ФЗ) Российской Федерации (РФ) от 18.06.2001 г. № 78-ФЗ «О землеустройстве»; в связи с некоторыми недостатками этого закона, препятствующими улучшению землепользования, в 2019 г. разработан проект Нового закона «О землеустройстве», в статье 3 которого предусматриваются «устранение и предупреждение возникновения недостатков землепользования, сохранение и улучшение антропогенных и природных ландшафтов; совершенствование состава и качества земель для их наиболее эффективного использования по целевому назначению в соответствии с разрешенным использованием» [33]. Однако принятие закона задерживается, он пока не внесен в Государственную Думу на обсуждение. Тем не менее активные действия по защите земель продолжаются: с 01.09.2025 г. вступило в силу Постановление Правительства РФ от 29.05.2025 № 781 «Об утверждении Правил проведения рекультивации и консервации земель». Остается в силе Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (с поправками 2019 г.), в статье 1 которого речь идет также о земле, недрах, почве. Еще один ценный документ был принят на 29-м пленарном заседании Межпарламентской Ассамблеи государств-участников СНГ — Модельный закон «Об охране почв». В 2024 г. появилась новая редакция закона «Об охране почв», принятая Постановлением 57-15

на 57-м пленарном заседании Межпарламентской Ассамблеи государств-участников СНГ. Городские земли регулируются с помощью «Градостроительного кодекса», содержащего правила землепользования, ограничения и обязанности, связанные с развитием территорий. Правила землепользования и застройки (ПЗЗ) определяют назначение земли, какие типы зданий и сооружений могут быть построены на конкретных территориях.

Наряду с совершенствованием правового регулирования идут активные разработки в области почвенных наук. В последнее время появились некоторые прорывные идеи по восстановлению и улучшению качества почвы:

- создание искусственных черноземов для обогащения бедных и поврежденных земель. Ученые из Южного Федерального университета проводят эксперимент с облагораживанием песчаных земель, применяя искусственные грунты как эффективный точечный инструмент для лечения проблемных участков. Технология может быть применена для восстановления городских почв;
- использование криогеля для рекультивации почв. Это разработка ученых из Томского государственного университета (ТГУ) и Института химии нефти СО РАН. Такая технология может найти применение в северных и сибирских городах с суровым климатом;
- усовершенствование биоугля для очистки почв от тяжелых металлов. Ученые из ЮФУ использовали нанотехнологии для решения данного вопроса. Биоуголь может быть применен в городах для очистки промышленных зон и обработки земель «санитарных поясов» вокруг металлургических заводов, а также освобождения почвы от накопленных тяжелых металлов на территориях парков, скверов, жилых районов.

Как пример защиты биосферы и ее основного компонента — почвы, можно указать концепцию российского академика В.А. Ильичева о расчете гуманитарных балансов биотехносферы. Применяя фактические, нормативные и расчетные показатели можно рассчитать реальную антропогенную нагрузку на территорию и нормативную техносферную нагрузку для снятия лишней нагрузки и предоставления возможности биосфере, в том числе и почве, восстановить свое здоровье. Такие расчеты необходимы для размещения производственных объектов, прокладки дорог, жилищного строительства в городах [34].

Выводы

Таким образом, проведенное исследование показывает отношение человека к Земле в различных ее контекстах на протяжении истории. Земля — суще-

ностное понятие для человека, общества, она и кормилица, она и богиня, объект почитания и использования. В течение тысячелетий менялось отношение к земле, были периоды преклонения, и почитания, эксплуатации и пренебрежения, заботы и восстановления. Постепенно обожествление земли сменилось рациональным утилитарным отношением и дошло до прямой ее эксплуатации, что привело к истощению и деградации почвенных ресурсов.

Земля/почва — чрезвычайно трудно возобновляемый компонент биосферы. Почвы, которые деградировали еще в эпоху первых цивилизаций из-за неправильного использования (чрезмерной эксплуатации, вытаптывания стадами животных, перепролива в условиях слабопроницаемых грунтов), до сих пор не восстановились. Сегодня во многих странах принимаются действенные меры к восстановлению почв, однако разрушение опережает темпы восстановления.

В связи с этим сделаны основные выводы:

1. Необходимо усиление заботы о земле со стороны государства, изменение нормативно-правовой базы ее использования. Необходимо принять Федеральный закон «Об охране почв». Такой законопроект был внесен в Государственную Думу еще в 2001 г., новая редакция предложена в 2005-м, но до принятия закона так и не дошло. Защита почвы, ее восстановление предусматриваются в разных законах (Земельный закон, Закон об охране природы, Уголовный кодекс и др.), Постановлениях правительства (в частности, Постановление Правительства РФ от 10.07.2018 № 800) и госпрограммах (Государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации, утвержденная Постановлением Правительства РФ от 14.05.2021 № 731 (ред. от 24.12.2024)), однако согласованный и последовательный подход еще не

выработан, принятие нового закона о землеустройстве и охране почв задерживается.

2. Необходимо устойчивое управление почвенными ресурсами, для этого необходим риск-менеджмент в землепользовании, который обеспечит усиленный контроль в зонах повышенного риска. Для этого необходимо провести мониторинг почв, а затем создавать информационные системы с данными по районам и территориям. Например, в ноябре 2025 г. вступил в силу один из наиболее значимых нормативных актов в области экологии и сельского хозяйства Европейского Союза — Директива (ЕС) 2025/2360 о мониторинге почв и их устойчивости [35]. В документе вводится правовое понятие «Здоровье почвы» и критерии его диагностики — дескрипторы, характеризующие степень здоровья и заболеваемости почвы на той или иной территории.

3. Городские почвы требуют особой заботы. Необходимо более тщательное изучение почв на предмет загрязненности, биологической активности с принятием последующих мер по сохранению почвенного слоя при инженерно-строительных работах (снятие плодородного и потенциально плодородного слоя почвы отдельно от подстилающих слоев), мелиорации почв для освобождения от тяжелых металлов, рекультивации земель различными способами и закреплению почвы с помощью посева травы. В частности, Закон г. Москвы от 04.07.2007 г. № 31 «О городских почвах» регулирует отношения по охране, рациональному использованию, восстановлению и улучшению городских почв. В законе определены принципы охраны и использования почв, права граждан и организаций в этой сфере, меры по обеспечению охраны, восстановлению и улучшению городских почв. Подобные законы необходимо принять в каждом городе и учесть особенности состояния почвы данного города.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Миронов А.Б., Миронова Е.Н. Современное состояние биосферы и возможности сохранения ее устойчивости // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 8—4. С. 820—821.
2. Демиденко Э.С., Дергачева Е.А. Безопасность биосферы в техногенном мире: состояние и перспективы // Вестник Международной Академии Наук (Русская секция). 2022. Спец. вып. 2. С. 8—16.
3. Бернюкевич Т.В., Иванова З.И. Проблема биосферы в отечественных и зарубежных концепциях // Экономика строительства и природопользования. 2023. № 4 (89). С. 104—111.
4. Арчегова И.Б., Панюков А.Н. Природопользование и устойчивость биосферы // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. 2017. № 3 (201). С. 2—6. DOI: 10.31140/j.vestnikib.2017.3(201).1
5. Горшков М.К. О стратегии социально-биосферного развития земного мира и формировании его биосферной и ноосферной безопасности // Социологическое обеспечение стратегического управления развитием регионов и муниципальных образований России : сб. ст. М. : ФНИСЦ РАН, 2021. С. 100—111. DOI: 10.19181/sbornik.978-5-89697-365-2.2021.15
6. Данилов-Данильян В.И. Глобальная климатическая проблема и возможности прогнозирования. Век глобализации. 2019. № 4 (32). DOI: 10.30884/vglob/2019.04.01

7. *Снакин В.В.* Глобальные изменения климата: прогнозы и реальность // Жизнь Земли. 2019. № 41 (2). С. 148–164.
8. *Зайнитдинова Л.И. и др.* Влияние урбанизации на микробиоценозы городских почв // Universum: химия и биология : электрон. науч. журн. 2021. № 11 (89). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/12505> DOI: 10.32743/UniChem.2021.89.11.12505
9. *Гончарова О.Ю., Семенюк О.В., Стома Г.В.* Исследование почв на урбанизированных территориях: анализ методических аспектов и подходов (на примере г. Москвы) // Вестник Московского университета. Сер. 7. Почвоведение. 2021. № 4. С. 4–12.
10. *Дубровская С.А.* Геоэкологическая оценка состояния почвенного покрова в условиях городских ландшафтов. Екатеринбург : РИО УрО РАН, 2013. 151 с.
11. *Раскатов В.А., Степанова Л.П., Писарева А.В., Яковлева Е.В.* Особенности деградационных изменений урбаноземов в зависимости от интенсивности антропогенных воздействий. Плодородие, 2018. № 2. С. 55–59.
12. *Вернадский В.И.* Биосфера. Ленинград : Науч. хим.-технол. изд-во, 1926. С. 138–139. URL: www.vernadsky-heritage.ru/SiteAssets/Prizhiznennye/Биосфера_1926.pdf (дата обращения: 01.03.26).
13. *Вернадский В.И.* Собрание сочинений : в 24 т. / под ред. академика Э.М. Галимова. Т. 7. М. : Наука, 2013. 500 с.
14. Энциклопедия «Рувикс». URL: https://ru.ruwiki.ru/wiki/Гипотеза_Геи?ysclid=mlmq8kekyb68717920 (дата обращения: 27.02.26).
15. *Лавлок Д.Е.* Дни Вернадского: Предыстория Геи // Вестник Российской Академии Наук. 1993. Т. 63. № 12. С. 1135.
16. *Frank F., Grinspoon D., Walker S.* Intelligence as a planetary scale process // International Journal of Astrobiology. 2022. Vol. 21. Issue 2. Pp. 47–61. DOI: 10.1017/S147355042100029X
17. *Рыбаков Б.А.* Язычество древних славян. М. : Академический Проект, 2013. 640 с. URL: <https://rodnovery.ru/images/knigi/yazychestvo-drevnikh-slavyan.pdf?ysclid=mltewz9ip0249225595> (дата обращения: 01.03.26).
18. *Зайцев Д.М.* Обряды и паломничество в восточнославянском язычестве: истоки, традиция, особенности // Вестник Полоцкого государственного университета. 2018. Серия Е. С. 102–106.
19. *Рябошапка С.Г.* Несостоятельность концепции «неолитической революции» // Актуальные исследования. 2024. № 35 (217). Ч. I. С. 56–69. URL: <https://apni.ru/article/9973-nesostoyatelnost-koncepcii-neoliticheskoy-revoljucii> (дата обращения: 27.02.26).
20. *Семенов П.П., Семенов А.П.* Растительный и животный мир / Россия. Полное географическое описание нашего отечества. СПб. : Издание А.Ф. Девриена, 1902. Т. 3. Среднерусская чернозёмная область.
21. *Малюгин А.И.* Предпосылки зарождения и место лесопильно-деревообрабатывающей и лесохимической промышленности в дореволюционной экономике Чувашского края // Вестник Чувашского университета. 2007. № 3. С. 24–29.
22. *Мактикеева Н.К.* Особенности возникновения природно-ресурсных конфликтов из-за земель сельскохозяйственного назначения в мире // Бюллетень науки и практики. 2025. Т. 11. № 4. С. 85–88. DOI: 10.33619/2414-2948/113/12
23. Государственный национальный доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2024 году. М., 2025. URL: https://esg-library.mgimo.ru/upload/iblock/62b/8a73ib6094guej5yayewlucfo3tv_i26n/Natsionalnyi_-doklad-2024.pdf (дата обращения: 02.03.26).
24. Мировой земельный фонд. URL: <https://skolkovo.io/reference/mirovoj-zemelnyj-fond-eto?ysclid=mm6ilds5z473203832> (дата обращения: 02.03.26).
25. *Кузьмич Н.П.* Использование и охрана земельных ресурсов в Китае в свете развития урбанизации // Региональные проблемы преобразования экономики. 2022. № 2. С. 76–81.
26. *Раскатов В.А., Степанова Л.П., Писарева А.В., Яковлева Е.В.* Особенности деградационных изменений урбаноземов в зависимости от интенсивности антропогенных воздействий // Плодородие. 2018. № 2. С. 55–59.
27. *Широв А.А., Потапенко В.В.* Парадокс российского потребления // ЭКО. 2020. № 6. С. 8–25. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2020-6-8-25
28. Барометр экономического поведения домохозяйств в России / под ред. О.В. Синявской. М. : НИУ ВШЭ, 2025. № 2. С. 12.
29. *Бодрийяр Ж.* Общество потребления. Его мифы и структуры / пер. с фр., послесл. и примеч. Е.А. Самарской. М. : Республика; Культурная революция, 2006. 269 с.
30. Доклад о развитии человека 2009. Преодоление барьеров: человеческая мобильность и развитие. URL: https://www.un.org/ru/development/hdr/2009/hdr_2009_complete.pdf (дата обращения: 02.03.26).

31. Ермак С. Урбанизация туда и обратно // Эксперт Урал. 2012. № 38 (526). URL: <https://expert-ural.com/archive/38-526/urbanizaciya-tuda-i-obratno.html> (дата обращения: 02.03.26).
32. Добровольский Г.В. Деградация почв — угроза глобального экологического кризиса // Век глобализации. 2008. № 2. С. 54–65.
33. О землеустройстве : Проект Федерального закона. URL: <https://www.consultant.ru/law/review/209299015.html?ysclid=mmakw7h8tl514064177j/> (дата обращения: 02.03.26).
34. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Бакаева Н.В. Реконструкция урбанизированных территорий на принципах симбиоза градостроительных систем и их природного окружения // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 3. С. 4–11.
35. Редникова Т.В. Правовая охрана почв: перспективы реализации экосистемного подхода // Право и политика. 2025. № 12. С. 179–189. DOI: 10.7256/2454-0706.2025.12

Об авторе: **Зинанда Ильинична Иванова** — кандидат исторических наук, доцент, заведующая кафедрой социально-гуманитарных наук и технологий; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; e-mail: IvanovaZI@mgssu.ru.

REFERENCES

1. Mironov A.B., Mironova E.N. Current state of the biosphere and possibilities of maintaining its sustainability. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2015; 8-4:820-821. (rus.).
2. Demidenko E.S., Dergacheva E.A. Safety of the biosphere in a technogenic world: state and prospects. *Bulletin of the International Academy of Sciences (Russian section)*. 2022; 2:8-16. (rus.).
3. Bernyukevich T.V., Ivanova Z.I. The problem of the biosphere in domestic and foreign concepts. *Economics of construction and nature management*. 2023; 89(4):104-111. (rus.).
4. Archegova I.B., Panyukov A.N. Nature management and sustainability of the biosphere. *Bulletin of the Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2017; 201(3):2-6. DOI: 10.31140/j.vestnikib.2017.3(201).1 (rus.).
5. Gorshkov M.K. On the Strategy of Socio-Biosphere Development of the Earth's World and the Formation of Its Biosphere and Noosphere Security. *Sociological Support for Strategic Management of the Development of Regions and Municipalities of Russia : a Collection of Articles*. Moscow, FNISC RAS, 2021; 100-111. DOI: 10.19181/sbornik.978-5-89697-365-2.2021.15 (rus.).
6. Danilov-Danilyan V.I. Global climate problem and forecasting capabilities. *Century of globalization*. 2019; 32(4). DOI: 10.30884/vglob/2019.04.01 (rus.).
7. Snakin V.V. Global climate change: forecasts and reality. *Life of the Earth*. 2019; 2(41):148-164. (rus.).
8. Zainitdinova L.I. et al. The influence of urbanization on microbiocenoses of urban soils. *Universum: chemistry and biology: electronic. Scientific journal*. 2021; 89(11). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/12505> DOI: 10.32743/UniChem.2021.89.11.12505 (rus.).
9. Goncharova O.Yu., Semenyuk O.V., Stoma G.V. Study of soils in urbanized areas: analysis of methodological aspects and approaches (using Moscow as an example). *Bulletin of Moscow University. Ser. 7. Soil Science*. 2021; 4:4-12. (rus.).
10. Dubrovskaya S.A. *Geoecological assessment of the state of the soil cover in urban landscapes*. Ekaterinburg, RIO UrO RAS, 2013; 151. (rus.).
11. Raskatov V.A., Stepanova L.P., Pisareva A.V., Yakovleva E.V. Features of degradation changes in urban soils depending on the intensity of anthropogenic impacts. *Fertility*. 2018; 2:55-59. (rus.).
12. Vernadsky V.I. *Biosphere*. Leningrad, Scientific chemical technology Publishing house, 1926; 138-139. URL: www.vernadsky-heritage.ru/SiteAssets/Prizhiznennyye/Biosphere_1926.pdf (Accessed 1st March 2026). (rus.).
13. Vernadsky V.I. *Collected works : in 24 volumes*. Ed. by Academician E.M. Galimova. Vol. 7. Moscow, Nauka, 2013; 500. (rus.).
14. *Encyclopedia "Ruviki"*. URL: https://ru.ruwiki.ru/wiki/Гипотеза_Геи?ysclid=mlmq8kekyb68717920 (Accessed 27th February 2026). (rus.).
15. Lovelock D.E. Days of Vernadsky: The Prehistory of Gaia. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. 1993; 63(12):1135. (rus.).
16. Frank F., Grinspoon D., Walker S. Intelligence as a planetary scale process. *International Journal of Astrobiology*. 2022; 21(2):47-61. DOI: 10.1017/S147355042100029X (rus.).
17. Rybakov B.A. *Paganism of the ancient Slavs*. Moscow, Academic Project, 2013; 640. URL: <https://rodnovery.ru/images/knigi/yazychestvo-drevnikh-slavyan.pdf?ysclid=mltewz9ip0249225595> (Accessed 1st March 2026). (rus.).
18. Zaitsev D.M. Rites and pilgrimage in East Slavic paganism: origins, traditions, features. *Bulletin of Polotsk State University*. 2018; E:102-106. (rus.).

19. Ryaboshapka S.G. The Failure of the Concept of the “Neolithic Revolution”. *Current Research*. 2024; 35(217):I:56-69. URL: <https://apni.ru/article/9973-nesostoyatelnost-koncepcii-neoliticheskoy-revoljucii> (Accessed 27th February 2026). (rus.).
20. Semenov P.P., Semenov A.P. Flora and fauna. *Russia. Complete geographical description of our fatherland*. St. Petersburg, Published by A.F. Devrien, 1902; 3. Central Russian Black Earth Region. (rus.).
21. Malyugin A.I. Prerequisites for the emergence and place of the sawmilling, woodworking, and forest chemical industries in the pre-revolutionary economy of the Chuvash region. *Bulletin of the Chuvash University*. 2007; 3:24-29. (rus.).
22. Maktikeeva N.K. Features of the emergence of natural resource conflicts over agricultural land in the world. *Bulletin of Science and Practice*. 2025; 11(4):85-88. DOI: 10.33619/2414-2948/113/12 (rus.).
23. State National Report on the Status and Use of Land in the Russian Federation in 2024. Moscow, 2025. URL: https://esg-library.mgimo.ru/upload/iblock/62b/8a73ib6o94guej5yayewlucfo3tvi26n/Natsionalnyi_-doklad-2024.pdf (Accessed 2nd March 2026). (rus.).
24. World Land Fund. URL: <https://skolkovo.io/reference/mirovoj-zemelnyj-fond-eto?ysclid=mm6ilds5z473203832> (Accessed 2nd March 2026). (rus.).
25. Kuzmich N.P. *Use and protection of land resources in China in light of urbanization development Regional problems of economic transformation*. 2022; 2:76-81. (rus.).
26. Raskatov V.A., Stepanova L.P., Pisareva A.V., Yakovleva E.V. Features of degradation changes in urban soils depending on the intensity of anthropogenic impacts. *Fertility*. 2018; 2:55-59. (rus.).
27. Shirov A.A., Potapenko V.V. The paradox of Russian consumption. *ECO*. 2020; 6:8-25. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2020 6-8-25 (rus.).
28. *Barometer of economic behavior of households in Russia*. Ed. O.V. Sinyavskaya. Moscow, National Research University Higher School of Economics, 2025; 2:12. (rus.).
29. Baudrillard J. *Consumer society. Its myths and structures*. Moscow, Republic; Cultural revolution, 2006; 269. (rus.).
30. Human Development Report 2009. Overcoming barriers: human mobility and development. URL: https://www.un.org/ru/development/hdr/2009/hdr_2009_complete.pdf (Accessed 2nd March 2026). (rus.).
31. Ermak S. Urbanization there and back. *Expert Ural*. 2012; 38(526). URL: <https://expert-ural.com/archive/38-526/urbanizaciya-tuda-i-obratno.html> (Accessed 2nd March 2026). (rus.).
32. Dobrovolsky G.V. Soil degradation — a threat of global environmental crisis. *Century of globalization*. 2008; 2:54-65. (rus.).
33. On Land Management : Draft Federal Law. URL: <https://www.consultant.ru/law/review/209299015.html?ysclid=mmakw7h8tl514064177/> (Accessed 2nd March 2026). (rus.).
34. Ilyichev V.A., Kolchunov V.I., Bakaeva N.V. Reconstruction of urbanized territories based on the principles of symbiosis of urban planning systems and their natural environment. *Industrial and civil engineering*. 2018; 3:4-11. (rus.).
35. Rednikova T.V. Legal protection of soils: prospects for implementing the ecosystem approach. *Law and Politics*. 2025; 12:179-189. DOI: 10.7256/2454-0706.2025.12

About the author: **Zinaida I. Ivanova** — Candidate of Historical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Social and Humanitarian Sciences and Technologies; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: IvanovaZI@mgisu.ru.

Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2026. № 1. С. 15–24.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 711

DOI: 10.22227/2311-1518.2026.1.15-24

ЭМОЦИОНАЛЬНЫЙ КОД ИСТОРИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ НЕЙРОАРХИТЕКТУРНОГО АНАЛИЗА ГОРОДОВ DANGKOU ANCIENT TOWN И HUISHAN ANCIENT TOWN В КИТАЕ

Нина Васильевна Данилина¹, Анна Евгеньевна Малышева¹, Ли Юэянь²

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Российская Федерация;

² Сианьский университет архитектуры и технологий; г. Сиань, Китай

Концепция биосферосовместимых городов диктует необходимость рассмотрения вопроса психофизического состояния человека в городской среде. В работе обосновывается необходимость внедрения принципов нейроархитектуры в градостроительную деятельность для совершенствования существующего подхода к проектированию среды на основе учета фактора психофизического состояния ее пользователей. Вводится и раскрывается понятие «эмоционального кода» как системы градостроительных параметров, формирующих состояние когнитивного и психологического комфорта. Китай обладает уникальным опытом формирования городской среды на принципах биосферосовместимости, культурного и исторического кода и был выбран в виде объекта исследования. Методология нейроархитектурного анализа, основанная на пространственном и визуальном анализе, апробирована на примере исторических городов Китая — Dangkou Ancient Town и Huishan Ancient Town. Исследование позволило идентифицировать универсальные эмоциональные показатели, вызываемые исторической средой, и перевести их в конкретные, поддающиеся оценке, физические параметры застройки и благоустройства. Полученные результаты представляют научную основу для формирования новых принципов проектирования среды, ориентированных на психофизическое благополучие человека.

Ключевые слова: нейроархитектура, эмоциональный код, историческая среда, градостроительные параметры, визуальный анализ, Dangkou Ancient Town, Huishan Ancient Town

Для цитирования: Данилина Н.В., Малышева А.Е., Ли Ю. Эмоциональный код исторической среды на основе нейроархитектурного анализа городов Dangkou Ancient Town и Huishan Ancient Town в Китае // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2026. № 1. С. 15–24. DOI: 10.22227/2311-1518.2026.1.15-24

THE EMOTIONAL CODE OF THE HISTORICAL ENVIRONMENT BASED ON THE NEUROARCHITECTURAL ANALYSIS OF DANGKOU ANCIENT TOWN AND HUISHAN ANCIENT TOWN IN CHINA

Nina V. Danilina¹, Anna E. Malysheva¹, Li Yueyan²

¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU); Moscow, Russian Federation;

² Xi'an University of Architecture and Technology; Xi'an, China

The concept of biospherically compatible cities dictates the need to consider the issue of the psychophysical state of a person in an urban environment. The paper substantiates the need to introduce the principles of neuroarchitecture into urban planning activities in order to improve the existing approach to environmental design based on the consideration of the factor of the psychophysical state of its users. The concept of the “emotional code” is introduced and disclosed as a system of urban planning parameters that form states of cognitive and psychological comfort. The methodology of neuroarchitectural analysis based on spatial and visual analysis has been tested using the example of the historical cities of China — Dangkou Ancient Town and Huishan Ancient Town. The study made it possible to identify universal emotional indicators caused by the historical environment and translate them into specific, measurable, physical parameters of building and landscaping. The results obtained provide a scientific basis for the formation of new principles of environmental design focused on human psychophysical well-being.

Keywords: neuroarchitecture, emotional code, historical environment, urban planning parameters, visual analysis, Dangkou Ancient Town, Huishan Ancient Town

For citation: Danilina N.V., Malysheva A.E., Li Yu. The emotional code of the historical environment based on the neuroarchitectural analysis of Dangkou Ancient Town and Huishan Ancient Town in China. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2026; 1:15-24. DOI: 10.22227/2311-1518.2026.1.15-24 (rus.).

Введение

Современный тренд в развитии городов определяется концепцией биосферосовместимости, в которой потребности человека как пользователя городской среды являются приоритетными при принятии решений по ее градостроительному развитию. Традиционные подходы к проектированию городов, основанные на следовании численным показателям нормативной документации, не учитывают психофизическое состояние человека, которое может быть описано реакциями центральной нервной системы на элементы городской среды. Это приводит к созданию общественных пространств, которые удовлетворяют нормативным показателям, но в которых люди не чувствуют себя комфортно. Такая тенденция воспроизводит пространства, которые перегружают нервную систему визуальным и акустическим шумом, вызывают истощение когнитивных функций при сложной структуре пространств и необходимости постоянной ориентации, а также подавляют психофизическое состояние человека за счет отсутствия природных элементов или несоразмерности элементов среды [1–3].

Нейроархитектура в градостроительстве — это междисциплинарный подход, который использует знания о работе человеческого мозга для проектирования городской среды, способствующей психофизическому комфорту, снижению стресса и улучшению общего самочувствия горожан. В ее основе лежит понятие о том, что архитектура городской среды может напрямую влиять на эмоции и поведение человека. Нейроархитектура — переход от интуитивных и субъективных оценок качества среды к объективному и измеримому подходу, т.е. к формированию параметров проектирования среды на основе эмоций человека [4–7].

В основу анализа городской среды с позиций нейроархитектуры положен эмоциональный код, который позволяет проводить идентификацию человеческих эмоций в среде [8, 9]. Он включает в себя понятие когнитивного комфорта как состояния оптимальной нагрузки на познавательные процессы: внимание, память, ориентацию, принятие решений, ощущение смысловой и навигационной ясности, когда мозг легко обрабатывает информацию из окружающей среды, не испытывая перегрузки или дефицита стимулов.

В городской среде этот показатель наиболее часто проявляется в единстве среды, то есть в наличии цветовой палитры, масштабности застройки, ритмической организации и т.д. Также важный фактор

когнитивного комфорта — навигация и ориентация через иерархию пространств, транзитные логичные связи, естественные ориентиры и др. [10].

Также в мировой практике используется понятие психологического комфорта как позитивного эмоционального состояния, вызывающего чувство субъективного благополучия, включающее спокойствие, умиротворение, интерес, вдохновение и другое. Оно может быть описано положением «мне здесь хорошо», которое рождается от взаимодействия с городской средой [11].

Третьим понятием, тесно связанным с нейроархитектурой, является психофизическая безопасность как комплексное состояние, выходящее за рамки отсутствия физической угрозы. Это подсознательное ощущение защищенности, которое формируется на стыке психических реакций и физиологических ощущений. Среда воспринимается как безопасная, если она не требует постоянного бдительного напряжения или мозг и тело не тратят ресурсы на постоянное сканирование окружения на предмет потенциальной опасности [12].

Целью исследования являлось определить зависимости между психофизическими параметрами когнитивного и психологического комфорта пользователей общественных пространств и параметрами элементов городской среды и систематизировать понятие эмоционального кода и выявить градостроительные параметры исторической среды, формирующие эмоциональное состояние человека.

В задачи исследования входило раскрыть понятие эмоционального кода как совокупности эмоциональных показателей когнитивного и психологического комфорта и сопоставить с ними градостроительные параметры элементов городской среды. Область применения полученных результатов определяется необходимостью совершенствования подходов к градостроительному проектированию общественных пространств с учетом принципов биосферосовместимых городов.

Материалы и методы

Китай обладает уникальным опытом формирования городской среды на принципах биосферосовместимости, культурного и исторического кода и был выбран в виде объекта исследования. В качестве материалов исследования использованы данные натурных исследований городов Dangkou и Huishan Ancient Town, расположенных в Китае. Данные города являются примерами исторической среды, восстановленной в качестве памятника

Э М О Ц И О Н А Л Ь Н Ы Й К О Д



Рис. 1. Взаимосвязь характеристик эмоционального кода и элементов городской среды

образу жизни, культуре и архитектурной традиции Китая. Dangkou Ancient Town — исторический город, расположенный в провинции Цзянсу, известный сетью каналов, и Huishan Ancient Town — город в Уси (Wuxi City) с большим количеством храмовых комплексов и традиционных садов. Выбор территорий рассмотрения обусловлен их высокой популярностью как исторически ценных пространств, выполненных в традиционном стиле китайского градостроительства [13–15]. Они представляют собой квинтэссенцию методов восстановления культурного кода исторических территорий и предназначены для функционирования в качестве рекреационных объектов.

Предметом исследования являлся эмоциональный код территорий, который объединил в себе параметры когнитивного, психологического комфорта и психофизической безопасности:

- характеристиками когнитивного комфорта являются единство среды, легкость ориентации и наличие навигации;
- характеристиками психологического комфорта являются акустический комфорт, социальная принадлежность, принципы биофилии и самоощущение пользователя в городской среде;
- характеристиками психофизической безопасности являются психологическая безопасность, физическая безопасность и интерактивность городской среды.

Каждая характеристика эмоционального кода привязана к типу городского объекта и параметрам городской среды. Так, например, процессы психологического комфорта в среде определяются наличием связей между средой и обществом

посредством наличия инфраструктуры мест отдыха и мест приложения труда, общественных зон, физическая безопасность определяется наличием освещения и защитной инфраструктуры, психологическая безопасность осуществляется в просматриваемости и обозримости пространств, отсутствии «темных» зон, интерактивность — в вовлечении человека во взаимодействие со средой. Полная система взаимосвязей характеристик эмоционального кода и элементов городской среды, рассматриваемых в исследовании, представлена на рис. 1.

Для решения поставленных задач были применены методы пространственного анализа для выявления эмоционального кода исторических территорий.

На рис. 2 представлен порядок проведения исследования по анализу позиций нейроархитектуры с целью определения эмоционального кода территории.

На первом этапе проводился визуальный анализ городской среды, который включает определение границ и функционального назначения рассматриваемой территории и фиксацию элементов городской среды, определяющих характеристики эмоционального кода и их параметры. К ним относятся планировочные элементы — общественные пространства, парки, скверы, участки улиц, набережных, а также здания, их элементы и различные архитектурные формы.

На втором этапе проводилось исследование эмоциональных реакций различных групп пользователей среды путем фиксации поведенческой реакции и описания эмоции человека, например

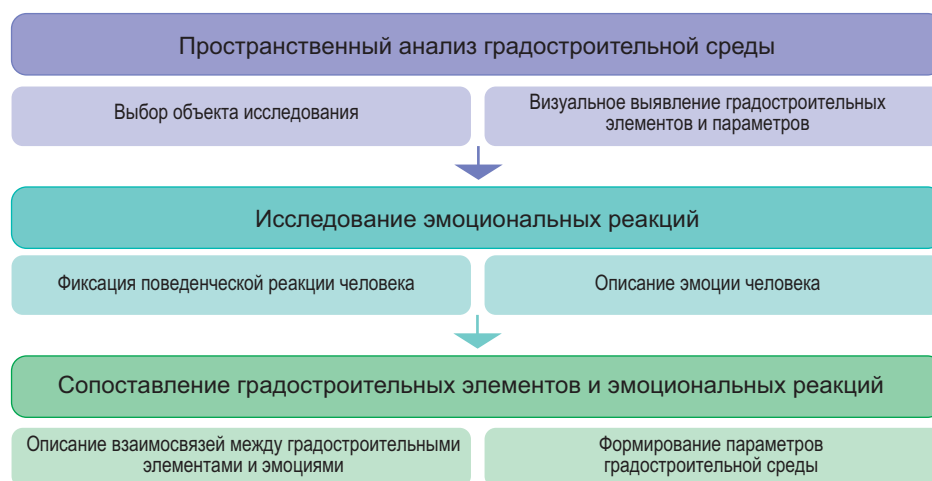


Рис. 2. Методология исследования

замедление шага, остановка для фотографирования, выбор направления движения и другое.

На третьем этапе проводилось сопоставление результатов выделения элементов городской среды и поведенческой реакции человека, которую провоцирует данное пространство (спокойствие, любопытство, оживление и другое). Выделены и сгруппированы однотипные реакции пользователей среды, что позволило сформулировать универсальные взаимосвязи между градостроительными параметрами и эмоциональными состояниями человека, независимыми от конкретной территории.

Реализация намеченного порядка исследования предлагает системный переход от частных наблюдений к обобщающей нейроархитектурной модели эмоционального кода выбранного типа территорий.

Результаты

Первый рассматриваемый объект — Dangkou Ancient Town (район Сишань, город Уси, провинция Цзянсу, Китай). Город расположен в 25 км от центра Уси, площадь около 20 га. Основными посетителями территории являются туристы, а также студенты, прибывающие для занятий живописью, наиболее малый процент пользователей — местные жители, так как в границах рассматриваемой территории

в настоящее время нет жилых зон. Город известен сетью каналов, являющихся основой городской планировочной структуры. Каналы используются как часть туристических маршрутов и в целом являются сильной точкой притяжения. Dangkou Ancient Town называют также «Малым Сучжоу» для подчеркивания связи с историческим и культурным центром Китая с богатым архитектурным и градостроительным наследием.

Визуальный анализ и фотофиксация позволили идентифицировать ключевые типы среды, характерные для данных территорий: общественные пространства (площади, зоны тихого отдыха, дворы) и транзитные пути (главные, второстепенные, водные). По выделенным элементам среды проведена классификация параметров и эмоциональной реакции посетителей (табл. 1).

Основываясь на проведенном анализе, территорию можно характеризовать как популярную для спокойных прогулок, связанных с созерцанием природы, наслаждением эстетикой традиций и культуры. Город позволяет людям отдохнуть, замедлить темп шага. При этом не центральные пространства и пути характеризуются легким повышением беспокойства и любопытства, что связано с шириной путей и степенью их изгиба, отсутствием элементов дизайн-



a



b

Рис. 3. Dangkou Ancient Town: a — расположение; b — фотофиксация территории

Таблица 1. Исследование эмоциональных реакций в Dangkou Ancient Town

Тип территории	Параметр (визуальная оценка)	Фотофиксация	Описание ощущений/поведенческой реакции	Эмоция
<i>Общественные пространства</i>				
Площади, зоны массового посещения	• процент озеленения: < 10 %; • ширина: 5–8 м; • длина: 8–10 м; • плотность пешеходного потока: средняя; • расположение: примыкание к воде; • высота доминант: 5–10 м		Замедление шага, остановки, продолжительное нахождение в одной точке	Интерес
Зоны тихого отдыха	• процент озеленения: 20–30 %; • ширина: 3–5 м; • длина: 10–15 м; • плотность пешеходного потока: низкая; • расположение: < 5 м до воды		Минимизация активного движения, наслаждение видом воды	Спокойствие, удовлетворение
Дворы	• процент озеленения: 30–50 %; • площадь: 30–50 м²; • плотность пешеходного потока: низкая; • расположение: высокая изолированность		Кратковременная остановка, быстрое покидание пространства	Любопытство
<i>Пешеходные коммуникации</i>				
Главные	• ширина улицы: 4–6 м; • просматриваемость: 50–100 м; • насыщенность объектами интереса: высокая; • атмосфера: элементы дизайн-кода, традиционная цветовая гамма		Размеренная прогулка с визуальным контактом с водой и противоположным берегом	Спокойствие
Второстепенные	• ширина улицы: 1,5–3 м; • просматриваемость: 20–30 м; • насыщенность объектами интереса: очень низкая; • атмосфера: элементы дизайн-кода, серая цветовая гамма		Быстрое покидание пространства, ориентация «наугад»	Любопытство, легкое беспокойство
Водные	• ширина канала: 8–15 м; • расстояние между мостами: 50–80 м; • просматриваемость: 300–500 м; • насыщенность объектами интереса: низкая; • атмосфера: элементы дизайн-кода, традиционная цветовая гамма		Длительный маршрут, наблюдение за обоими берегами	Восторг, единство с природой
Мосты	• высота арки над водой: 2–3 м; • ширина моста: 3–4 м; • атмосфера: элементы дизайн-кода, традиционная цветовая гамма		Высокий уровень ориентации в пространстве, кратковременная остановка	Единство с природой, эстетическое наслаждение



Рис. 4. Huishan Ancient Town: *a* — расположение; *b* — фотофиксация территории

кода и освещения и другими градостроительными принципами. Таким образом, ключевыми эмоциями, получаемыми людьми на территории Dangkou Ancient Town, можно определить интерес, любопытство, спокойствие.

Второй рассматриваемый объект — Huishan Ancient Town (г. Уси, провинция Цзянсу, у подножия горы Хуэйшань). Территория расположена в центре Уси, площадь 35 га. Главная особенность города — это более 100 хорошо сохранившихся родовых храмов, построенных в периоды правления династий Мин и Цин. Такая концентрация уникальна, благодаря чему город был включен в предварительный список Всемирного культурного наследия Китая. На территории города находятся классические сады и их более современная интерпретация, подчеркивающая развитие территории и в настоящее время. Huishan Ancient Town сохранил спокойную и аутентичную атмосферу, ключевые пользователи — туристы и местные жители, считающие парк полноценным элементом среды (рис. 4).

Аналогично анализу, проведенному для первого рассматриваемого города, для Huishan Ancient Town составлена таблица, демонстрирующая ключевые поведенческие характеристики человека в среде (табл. 2).

Объекты Huishan Ancient Town, в отличие от Dangkou Ancient Town, чаще вызывают эмоцию восхищения и восторга, что связано с большим количеством доминант и явным рельефом. Также частая эмоция — интерес, особенно на второстепенных путях и дворах, что является следствием комфортной ширины улиц, наличия окон и балконов, дающих ощущение безопасности и принадлежности к обществу, но при этом возбуждающие вовлеченность и желание узнать, что находится за поворотом и двором. Территория города популярна, характеризуется большим количеством людей в небольшом пространстве, главные пути насыщены элементами дизайн-кода и другими привлекательными элементами. Таким образом, ключевыми эмоциями можно выделить восхищение (восторг), любопытство и оживление.

Результаты, представленные в табл. 1 и 2, демонстрируют, как на конкретных примерах Dangkou и Huishan Ancient Town параметры различных типов территории влияют на поведенческую реакцию человека и вызывают определенный спектр эмоций. Если табл. 1 и 2 отвечают на вопрос «Как организация конкретной среды влияет на человека?», то табл. 3 должна ответить на вопрос «Какие универсальные параметры нужно закладывать в проект, чтобы вызвать нужную эмоцию?». То есть, согласно определенной в работе методологии, на основе выявленных закономерностей в частных случаях были определены универсальные наборы параметров для исторической среды, вызывающие определенные эмоции и предъявляющие конкретные требования к организации территории.

Основными эмоциями, получаемыми человеком в исторической среде, были определены восторг, восхищение от традиционного культурного наследия и доминантных объектов, интерес и любопытство от разнообразной среды и насыщенности объектами интереса, ощущение единства со средой от использования объектов традиционного культурного кода и возможности интерактивного взаимодействия, а также спокойствие, получаемое от взаимодействия с природными элементами, в том числе водными объектами. Соответствующие градостроительные параметры и принципы представлены в табл. 3.

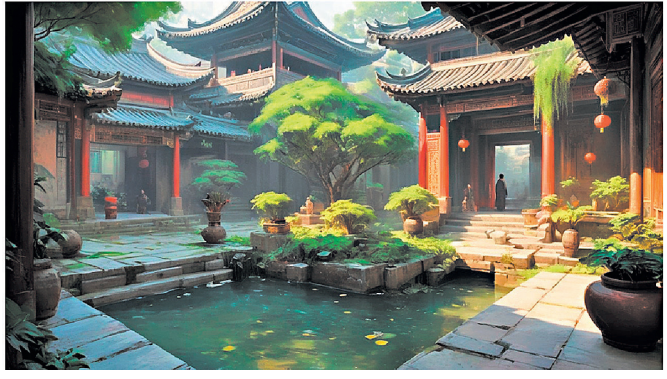
На территории исторической среды должны быть организованы пространства разного типа: общественные и частные, главные и второстепенные, активные, интерактивные и зоны тихого отдыха. Каждый вид пространств имеет свои требования к поведенческим реакциям и эмоциональному коду, что следует из различных градостроительных параметров организации среды. Соблюдая для каждого типа территории выявленные принципы, возможно добиться нужного ощущения спокойствия, интереса или восторга для посетителей.

Таким образом, в рамках работы было систематизировано понятие «эмоционального кода» городской среды как производной от обеспечения

Таблица 2. Исследование эмоциональных реакций в Huishan Ancient Town

Тип территории	Параметр (визуальная оценка)	Фотофиксация	Описание ощущений/поведенческой реакции	Эмоция
<i>Общественные пространства</i>				
Площади, зоны массового посещения	• процент озеленения: < 10 %; • ширина 10–15 м; • длина 15–20 м; • плотность пешеходного потока: высокая; • высота доминант: 10–15 м		Замедление шага, остановки, продолжительное нахождение в одной точке	Интерес, восхищение
Зоны тихого отдыха	• процент озеленения: 50–60 %; • ширина: 5–7 м; • длина: 20–30 м; • плотность пешеходного потока: средняя; • расположение: < 5 м до воды		Минимизация активного движения, наслаждение видом воды	Легкое возбуждение, ощущение комьюнити
Дворы	• процент озеленения: 30–50 %; • площадь: 50–100 м²; • плотность пешеходного потока: средняя; • расположение: средняя изолированность		Размеренная прогулка	Любознательство, спокойствие
<i>Пути</i>				
Главные	• ширина улицы: 6–8 м; • просматриваемость: 150–200 м; • насыщенность объектами интереса: высокая; • атмосфера: элементы дизайн-кода, традиционная цветовая гамма		Спокойное движение с частыми остановками для осмотра	Оживление, интерес, возбуждение
Второстепенные	• ширина улицы: 2–4 м; • просматриваемость: 20–30 м; • насыщенность объектами интереса: средняя; • атмосфера: элементы дизайн-кода, традиционная цветовая гамма		Медленное движение с целью изучения деталей	Спокойствие, любопытство
Водные	• ширина канала: 15–20 м; • расстояние между мостами: 100–150 м; • просматриваемость: 300–500 м; • насыщенность объектами интереса: средняя; • атмосфера: элементы дизайн-кода, традиционная цветовая гамма		Длительный маршрут, наблюдение за обоими берегами	Интерес, восторг
Мосты	• высота арки над водой: 2–3 м; • ширина моста: 2–3 м; • атмосфера: элементы дизайн-кода, традиционная цветовая гамма		Средний уровень ориентации в пространстве	Единство со средой

Таблица 3. Соответствие градостроительных элементов и эмоциональных реакций

Принцип	Эмоциональный код	Параметр
Доминанты и ритм застройки	Восторг, восхищение 	• высота доминант: от 10–15 м; • плотность доминант: высокая; • плотность пешеходного потока: высокая
Иерархия пространств, публичные и частные зоны	Интерес, любопытство 	• насыщенность объектами интереса: высокая; • разнообразие среды; • ширина улицы: 6–8 м; • просматриваемость: 150–200 м на основных путях, 20–30 м на второстепенных
Интерактивность, освещаемость, культурный код	Единство со средой 	• разнообразие активности для различных групп пользователей: высокое; • освещение: основное (фонари) и дополнительное (подсветки); • атмосфера: элементы дизайн-кода, традиционная цветовая гамма
Интеграция природных элементов, биофилия	Спокойствие 	• плотность пешеходного потока: средняя; • процент озеленения: 30–50 %; • наличие водных объектов: да

когнитивного и психологического комфорта, а также психофизической безопасности. В ходе исследования был определен эмоциональный код исторических территории, выявленный на примере городов Китая Dangkou и Huishan Ancient Town. В результате анализа составлено соответствие поведенческих реакций, эмоций человека, получаемых в исторической среде, и градостроительных параметров, вызывающих данные реакции. То есть получена модель, которая устанавливает прямую связь между измеряемыми градостроительными параметрами (ширина

улицы, процент озеленения, ритм застройки и так далее) и целевыми эмоциональными состояниями.

Практическая значимость работы заключается в создании инструмента для специалистов градостроителей, позволяющего формировать среду с учетом психофизического комфорта и безопасности пользователей. Таким образом возможно расширение границ исследования с целью формирования нейроархитектурной модели «эмоциональный код — градостроительный принцип» для других видов территорий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Образов К., Чулоков П., Гурбанов А.* Биофильный дизайн: интеграция природы в городскую архитектуру // Международный журнал «Вестник науки». 2024. № 12 (81). Т. 1. С. 1421–1425. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/biofilnyy-dizayn-integratsiya-prirody-v-gorodskuyu-arhitekturu/viewer> (дата обращения: 20.10.2025).
2. *Баклыская Л.Е., Ильин К.С.* Биофильный дизайн: планирование устойчивой и разумной среды // Урбанистика. 2021. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/biofilnyy-dizayn-planirovanie-ustoychivoy-i-razumnoy-sredy/viewer> (дата обращения: 20.10.2025).
3. *Lynch K.* The Image of the City // Cambridge: M.I.T. and Harvard University Press. 1960. 194 p. URL: https://www.cooldavis.org/wp-content/uploads/2022/03/THE_IMAGE_OF_THE_CITY_Kevin_Lynch.pdf (дата обращения: 17.12.2024).
4. *Мухитов Р.К., Гордеева А.Э.* Нейроархитектура: архитектура, влияющая на чувства людей // Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности. 2022. № 2 (60). С. 59–71.
5. The Academy of Neuroscience for Architecture (ANFA). URL: <https://www.anfarch.org/> (дата обращения: 22.10.2025).
6. *Ritchie I.* Neuroarchitecture: Designing With The Mind in Mind. 2015. URL: <https://content.e-bookshelf.de/media/reading/L-15457656-43cd9b29c9.pdf> (дата обращения: 25.10.2025).
7. *Виноградова Е.И., Килимник Е.В.* Анализ архитектурно-психологических исследований конца XX – начала XXI века // Артикальт. 2020. № 39 (3). С. 137–148.
8. *Петровская Е.И., Демчук М.А.* Метод выявления перспектив развития и основ формирования комплексного средового кода для локальной территории // Architecture and Modern Information Technologies. 2020. № 4 (53). С. 216–248.
9. Архитектура и эмоции: как города определяют состояние горожан // РБК Стиль. 2025. URL: <https://style.rbc.ru/life/686f89dc9a7947c987c5c61d> (дата обращения: 27.10.2025).
10. *Волкова К.Э., Бартенева Ю.В.* Влияние цвета на эмоциональный фон и психологию человека // Коллекция гуманитарных исследований : электрон. науч. журнал. 2020. № 1 (22). С. 13–16.
11. *Никитина Т.А., Чиненная М.Д.* Влияние архитектуры на самочувствие и поведение человека // Исследования молодых ученых : мат. XXIV Междунар. науч. конф. 2021. С. 12–17.
12. Нейроурбанистика: как городская среда влияет на мозг // IQ Media. 2025. URL: <https://iq-media.ru/life/neiourbanistika-kak-gorodskaya-sreda-vliyaet-na-mozg> (дата обращения: 01.11.2025).
13. Dangkou Ancient Town // Trip.com. 2025. URL: <https://ru.trip.com/moments/poi-dangkou-ancient-town-10520199/> (дата обращения: 03.11.2025).
14. Huishan Ancient Town // Trip.com. 2025. URL: <https://ru.trip.com/travel-guide/attraction/wuxi/huishan-ancient-town-86784/> (дата обращения: 03.11.2025).
15. История города Уси. 2025. URL: <https://www.kupibilet.ru/gid/kitai/usi/istoriia> (дата обращения: 03.11.2025).
16. *Иванова З.И.* Цивилизационные подходы запада и востока к организации жизни на основе разных философских концепций о месте человека в природе // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2015. Вып. 2 (10). С. 15–25.

Об авторах: **Нина Васильевна Данилина** — д.т.н., член-корр. РААСН, зав. каф. Градостроительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; e-mail: DanilinaNV@mgsu.ru;

Анна Евгеньевна Малышева — студент магистратуры каф. Градостроительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; e-mail: annya.maly@gmail.com;

Ли Юэянь — кандидат архитектуры, профессор кафедры Архитектуры; **Сианьский университет архитектуры и технологий**; 710055, г. Сиань, Янта-роуд, д. 13; e-mail: 565666990@qq.com.

REFERENCES

1. Obrazov K., Chulokov P., Gurbanov A. Biophilic Design: Integration of Nature into Urban Architecture. *International Journal "Herald of Science"*. 2024; 1:12(81):1421-1425. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/biofilnyy-dizayn-integratsiya-prirody-v-gorodskuyu-arhitekturu/viewer> (date of access: 20.10.2025). (rus.).
2. Baklyskaia L.E., Il'in K.S. Biophilic Design: Planning a Sustainable and Intelligent Environment. *Urbanistics*. 2021; 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/biofilnyy-dizayn-planirovanie-ustoychivoy-i-razumnoy-sredy/viewer> (date of access: 20.10.2025). (rus.).
3. Lynch K. The Image of the City. Cambridge: M.I.T. and Harvard University Press. 1960. URL: https://www.cooldavis.org/wp-content/uploads/2022/03/THE_IMAGE_OF_THE_CITY_Kevin_Lynch.pdf (date of access: 20.10.2025).
4. Mukhitov R.K., Gordeeva A.E. Neuroarchitecture: Architecture that Influences People's Feelings. *Architecture of Buildings and Structures. Creative Concepts of Architectural Activity*. 2022; 2(60):59-71. (rus.).
5. The Academy of Neuroscience for Architecture (ANFA). URL: <https://www.anfarch.org/> (date of access: 22.10.2025). (rus.).
6. Ritchie I. Neuroarchitecture: Designing With The Mind in Mind. 2015. URL: <https://content.e-bookshelf.de/media/reading/L-15457656-43cd9b29c9.pdf> (date of access: 25.10.2025).
7. Vinogradova E.I., Kilimnik E.V. Analysis of Architectural-Psychological Research from the Late 20th to the Early 21st Century. *Articult*. 2020; 39(3):137-148. (rus.).
8. Petrovskaia E.I., Demchuk M.A. A Method for Identifying Development Prospects and Forming a Comprehensive Environmental Code for a Local Territory. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2020; 4(53):216-248. (rus.).
9. Architecture and Emotions: How Cities Define the State of Citizens. 2025. *RBC Style*. URL: <https://style.rbc.ru/life/686f89dc9a7947c987c5c61d> (date of access: 27.10.2025). (rus.).
10. Volkova K.E., Barteneva Yu.V. The Influence of Color on Emotional Background and Human Psychology. *Collection of Humanitarian Research : Electronic Scientific Journal*. 2020; 1(22):13-16. (rus.).
11. Nikitina T.A., Chinennaya M.D. The Influence of Architecture on Human Well-being and Behavior. *Research of Young Scientists : Proceedings of the XXIV International Scientific Conference*. 2021; 12-17. (rus.).
12. Neurourbanism: How the Urban Environment Affects the Brain. *IQ Media*. 2025. URL: <https://iq-media.ru/life/neyrourbanistika-kak-gorodskaya-sreda-vliyaet-na-mozg> (date of access: 01.11.2025). (rus.).
13. Dangkou Ancient Town. *Trip.com*. 2025. URL: <https://ru.trip.com/moments/poi-dangkou-ancient-town-10520199/> (date of access: 03.11.2025).
14. Huishan Ancient Town. *Trip.com*. 2025. URL: <https://ru.trip.com/travel-guide/attraction/wuxi/huishan-ancient-town-86784/> (date of access: 03.11.2025).
15. History of the city of Uxi. 2025. URL: <https://www.kupibilet.ru/gid/kitai/usi/istoriia> (date of access: 03.11.2025).
16. Ivanova Z.I. Civilizational approaches of the West and the East to the organization of life based on different philosophical concepts about the place of man in nature. *Biospheric compatibility: man, region, technology*. 2015; 2(10):15-25. (rus.).

About the authors: **Nina V. Danilina** — Head of the Department of Urban Planning, Corresponding Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavl'skoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: DanilinaNV@mgsu.ru;

Anna E. Malysheva — 1st year student of Master's Degree; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavl'skoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: annya.maly@gmail.com;

Li Yueyan — PhD in Architecture Professor, Department of Architecture; **Xi'an University of Architecture and Technology**; 13 Yanta Road, Xi'an, 710055, China; e-mail: 565666990@qq.com.

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЕТРОВОГО РЕЖИМА ПРОЕКТИРУЕМОГО ЖИЛОГО КОМПЛЕКСА

Валентин Данилович Оленьков¹, Алена Олеговна Колмогорова¹,
Михаил Дмитриевич Замула², Алексей Викторович Алеманов¹

¹ Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)
(НИУ ЮУрГУ); г. Челябинск, Российская Федерация;

² ООО Голос. Проект; г. Челябинск, Российская Федерация

Введение. Повышенные скорости ветра приводят к ощущению дискомфорта у жителей микрорайона. Резкие порывы ветра также могут привести и к несчастным случаям. Для обеспечения безопасного и комфортного пребывания человека на улице необходимо с большой ответственностью подходить к вопросу решения аэрационных проблем застройки. Основной целью исследования является определение влияния окружающей застройки на ветровой режим исследуемого жилого комплекса.

Материалы и методы. Инструментом решения аэрационной проблемы застройки микрорайона стал программный комплекс ANSYS Discovery Live. Также анализ ветрового режима и жилой застройки основывается на библиографических источниках и систематизации научно-исследовательских результатов. Рассматриваются две расчетные схемы с учетом и без учета окружающей застройки при двух направлениях ветра, преобладающих в предполагаемом месте строительства, западном и юго-западном. Анализ получаемых данных производился путем ранжирования аэрационных зон по определенной скорости ветра на основе параметров комфортности для нахождения человека на исследуемой территории, определения коэффициентов трансформации скорости ветра τ_i и сравнения полученных результатов для двух направлений ветра и двух вариантов расчетных схем.

Результаты. По результатам исследования проектируемая застройка жилой территории при различных направлениях ветра способствует проветриванию территории, что свидетельствует о необходимости анализа аэрации жилой зоны с точки зрения ветрозащиты. Учет застройки, окружающей исследуемую, является необходимым фактором правильной оценки аэрационной комфортности анализируемой жилой территории, поскольку выявленные различия в зарегистрированных показателях по расчетам обеих схем являются весомыми, но при этом окружающая застройка принципиально не меняет распределение ветровых потоков на исследуемой территории.

Выводы. Учет ветрового режима при проектировании жилой застройки позволяет увеличить комфортное нахождение на территории застройки у жителей микрорайона.

Ключевые слова: архитектура, аэрация, ветровая комфортность, ветрозащита, жилая застройка, направление и скорости ветра

Для цитирования: Оленьков В.Д., Колмогорова А.О., Замула М.Д., Алеманов А.В. Особенности моделирования ветрового режима проектируемого жилого комплекса // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2026. № 1. С. 25–33. DOI: 10.22227/2311-1518.2026.1.25-33

FEATURES OF MODELING THE WIND REGIME OF THE PROJECTED RESIDENTIAL COMPLEX

Valentin D. Olenkov¹, Alena O. Kolmogorova¹, Mikhail D. Zamula², Aleksey V. Alemanov¹

¹ South Ural State University (national research university) (NRU SUSU); Chelyabinsk, Russian Federation;

² LLC Golos. Project; Chelyabinsk, Russian Federation

Introduction. Increased wind speeds lead to a feeling of discomfort among residents of the neighborhood. Sudden gusts of wind can also lead to accidents. To ensure a safe and comfortable stay of a person on the street, it is necessary to approach the issue of solving aeration problems of building with great responsibility. The main purpose of the study is to determine the influence of the surrounding development on the wind regime of the residential complex under study.

Materials and methods. The ANSYS Discovery Live software package has become a tool for solving the aeration problem of building a microdistrict. Also, the analysis of the wind regime and residential development is based on bibliographic sources and the systematization of research results. Two calculation schemes are considered, taking into account and without taking into account the surrounding buildings with two wind directions prevailing in the proposed construction site, west and south-west. The analysis of the data obtained was carried out by ranking the aeration zones according to a certain wind speed based on the comfort parameters for finding a person in the study area, determining the wind speed transformation coefficients τ_i , and comparing the results obtained for two wind directions and two variants of calculation schemes.

Results. According to the results of the study, the construction of a residential area in different wind directions contributes to

the ventilation of the territory, which indicates the need to analyze the aeration of the residential area from the point of view of wind protection. Taking into account the buildings surrounding the studied area is a necessary factor for the correct assessment of the aeration comfort of the analyzed residential area, since the identified differences in the registered indicators according to the calculations of both schemes are significant, but the surrounding buildings do not fundamentally change the distribution of wind currents in the studied area.

Conclusions. Taking into account the wind regime when designing residential buildings allows residents of the microdistrict to increase their comfortable stay in the building area.

Keywords: architecture, aeration, aeration comfort, wind protection, residential buildings, wind direction

For citation: Olenkov V.D., Kolmogorova A.O., Zamula M.D., Alemanov A.V. Features of modeling the wind regime of the projected residential complex. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2026; 1:25-33. DOI: 10.22227/2311-1518.2026.1.25-33 (rus.).

Введение

Трудно представить жизнь человека без вмешательства в нее природы. С давних времен природно-климатические факторы оказывали существенное влияние на развитие человеческого рода. Одним из таких факторов является ветер. Поток ветра способен принести прохладу для человека в жаркую погоду, но и способен также подвергнуть его определенному риску.

В существующей практике при проектировании жилой застройки пренебрегают анализом аэрационной обстановки территории [1–6], что является весомым упущением со стороны застройщиков. В соответствии с вышесказанными положениями необходимо должное внимание уделять вопросам аэрации жилой зоны при использовании современных технологий компьютерного моделирования [7–15].

Целью исследования является определение влияния окружающей застройки на ветровой режим исследуемого жилого комплекса.

Задачи исследования

1. Определение факторов, которые оказывают влияние на ветровой режим жилой территории.
2. Выявление закономерностей изменения скоростей и направлений ветра в зависимости от площади застройки, используемой в расчете.
3. Анализ комфортности ветрового режима на территории жилого комплекса.
4. Анализ зарегистрированных результатов, вывод закономерностей, внесение предложений и рекомендаций.

Объектом исследования является обтекание ветровым потоком проектируемого жилого комплекса с учетом жилой застройки и без нее.

Материалы и методы

В советское время активно велась разработка мероприятий по улучшению микроклимата исследуемой территории [1, 8, 16–21]. Для доказательства или опровержения тех или иных фактов, касающихся аэрации анализируемой области, были разработаны различные методы моделирования ветровых потоков. В качестве основных методов можно

выделить два: теоретический и экспериментальный [9, 18, 22, 23]. В XX в. в СССР пользовался большим спросом метод анализа ветровой обстановки при помощи аэродинамической трубы [24, 25]. Однако данный метод является слишком трудоемким и, как следствие, дорогостоящим, поэтому с приходом века технологий на смену данному методу пришел метод численного моделирования. Основным программным комплексом по расчету аэрации исследуемой территории является ANSYS [10–12, 15, 22, 26, 27].

Существует три различных решателя, способных выполнить задачу по выявлению распределения ветровых потоков в анализируемой зоне: ANSYS CFX, ANSYS Fluent и ANSYS Discovery Live.

Расчетная часть исследования произведена в программном комплексе ANSYS Discovery Live. В предыдущей статье [15] была описана методика проведения расчетов, были обозначены особенности данного расчетного комплекса, а также произведена верификация результатов расчетов на примере двух параллельных друг другу зданий [17]. Стоит добавить, что в данной статье рассмотрен расчет во много раз большего объема застройки, что в полной мере раскрывает возможности используемого расчетного аппарата. Идеей расчета стало сравнение двух принципиально разных расчетных схем. Их отличие в том, что в одном варианте рассматривается аэрация жилого комплекса площадью 0,05 км² без окружающей застройки (рис. 1).

Данный жилой комплекс включает в себя две дворовые территории со стилобатными частями и пространство между этими дворами. В другом же варианте в расчет включена застройка, окружающая исследуемую, общей площадью около 10 км² (рис. 2). Таким образом, второй расчетный объем в 200 раз больше первого.

Анализ получаемых данных производится путем ранжирования аэрационных зон по определенной скорости ветра на основе параметров комфортности для нахождения человека на исследуемой территории, определения коэффициентов трансформации скорости ветра τ_i и сравнения полученных результатов для двух направлений ветра и двух вариантов расчетных схем. В соответствии с предложениями И.К. Лифанова и др. [9] аэрационные зоны подразделяются на:

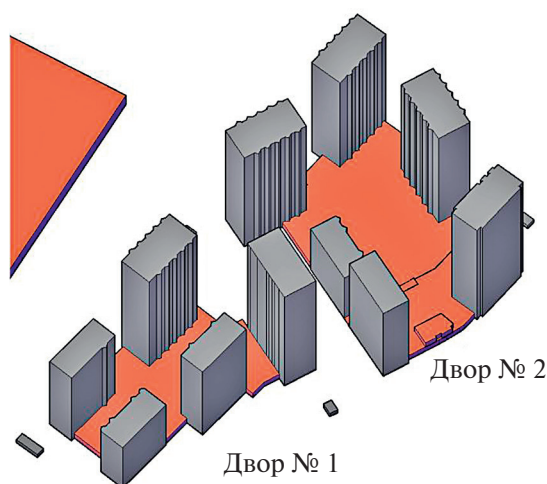


Рис. 1. Пространственная модель исследуемого жилого комплекса

- зоны застоя воздуха — аэрационные области, в которых скорость ветра находится в диапазоне от 0 до 1 м/с (воздух не циркулирует на данной территории, что приводит к задержке вредных веществ и неприятных запахов);
- зоны комфортного пребывания человека — аэрационные области, в которых скорость ветра находится в диапазоне от 1 до 3 м/с (воздействие ветра на человека не оказывает на него негативного влияния, т.е. не вызывает у него дискомфорта, ветровой поток со скоростями в таком диапазоне способствует циркуляции воздуха);
- зоны допустимых скоростей ветра — аэрационные области, в которых скорость ветра находится в диапазоне от 3 до 5 м/с (скорость ветра является приемлемой для человека, однако стремится к критической);
- зоны дискомфортных скоростей ветра — аэрационные области, в которых скорость ветра превышает 5 м/с (вызывает ощущение дискомфорта у человека и оказывает негативное влияние на жизнедеятельность людей).



Рис. 2. Пространственная модель исследуемой расчетной области

В качестве примера рассмотрим два направления ветрового потока: западное и юго-западное, как ветры с частой повторяемостью для данного региона. Начальную скорость ветра U_0 , входящую в застройку, принимаем по Приложению 4 СНиП 2.01.01–82 «Строительная климатология и геофизика» [28]. Для западного направления принята скорость $U_0 = 5$ м/с, а для юго-западного — $U_0 = 3,9$ м/с.

Обычно распределение ветровых потоков рассматривается на высоте 2 м от уровня земли, т.е. на высоте роста человека. В данном исследовании высота замера 6,5 м обусловлена анализом скоростей ветра на уровне роста человека от верха стилобатной части зданий. В данной зоне проектом предусмотрены места периодического пребывания жителей (прогулочные зоны, детские площадки и т.д.). Распределение ветровых потоков на высоте 2 м от уровня земли в центральной части жилого комплекса (между жилыми дворами № 1 и 2) численно никак не отличается от показателей на уровне 6,5 м.

Результаты исследования

Анализ расчетной схемы без окружающей застройки

Рассмотрим первый вариант расчетной схемы — без учета окружающей застройки. В результате расчета получены следующие картины изополей скоростей ветра для западного (рис. 3) и юго-западного (рис. 4) направлений ветра.

Анализ произведен по двум направлениям ветрового потока: западному и юго-западному.

При западном направлении ветра установлены следующие закономерности.

1. Областью повышенных скоростей ветра является центральная зона застройки. Скорость в данном месте достигает 6,11 м/с, что лежит в области дискомфортных скоростей ветра. Коэффициент трансформации скорости ветра τ_i составляет 1,22. Данная область

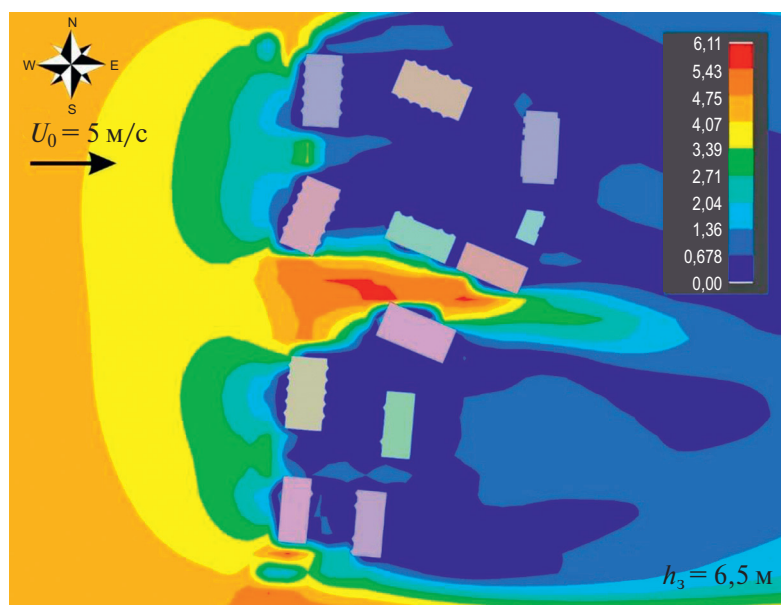


Рис. 3. Поле скоростей ветра в жилом комплексе без учета окружающей застройки при западном направлении потока

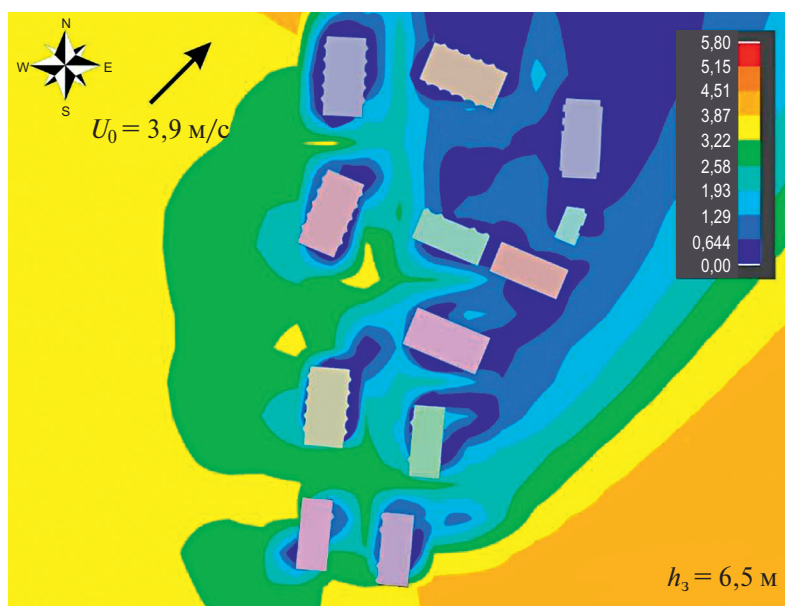


Рис. 4. Поле скоростей ветра в жилом комплексе без учета окружающей застройки при юго-западном направлении потока

представляет собой легкопродуваемый коридор, соответственно, такая конфигурация зданий способствует проветриванию территории.

2. Примечательно, что обе дворовые территории представляют собой зону пониженных скоростей ветра, что свидетельствует о постоянных воздушных застоях здесь. Скорость потока в данной области не превышает 0,68 м/с, что в переводе на коэффициент трансформации τ_i составляет 0,136. Также стоит отметить, что в дворовой территории № 2 на входе ветрового потока образуется зона резкого повышения скоростей ветра, которая затем гасится до комфортных скоростей ветра. Это может быть обусловлено столкновением ветровых потоков разных

уровней при переходе потока ветра от уровня земли до уровня стилобатной части.

3. При данном направлении ветра исследуемая застройка способствует ветрозащите территории, а расположенная между двух дворовых территорий зона — проветриванию.

Юго-западное направление ветра:

1. При данном направлении ветра по всей территории жилого комплекса наблюдаются умеренные скорости потока. Ветер здесь не разгоняется выше 3,87 м/с, в таких зонах ветровой поток никак не трансформируется. Это свидетельствует о правильной компоновке зданий для исследуемого угла атаки.

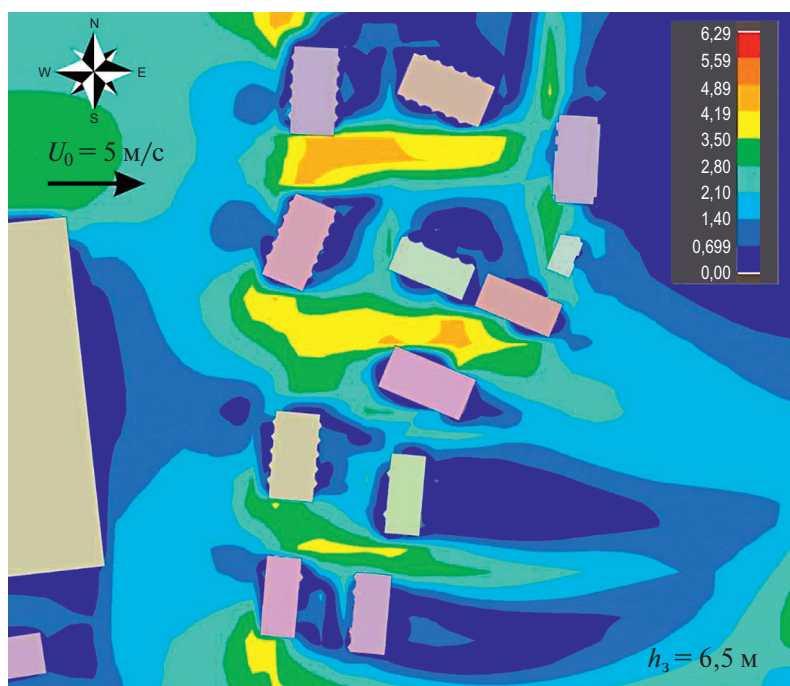


Рис. 5. Поле скоростей ветра в жилом комплексе с учетом окружающей застройки при западном направлении потока

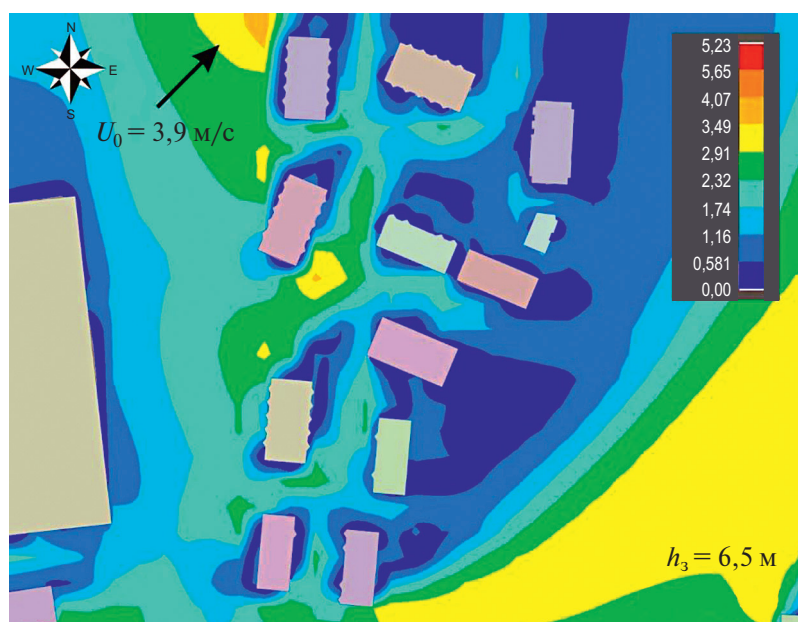


Рис. 6. Поле скоростей ветра в жилом комплексе с учетом окружающей застройки при юго-западном направлении потока

2. Застойные зоны практически отсутствуют, а комфортные области составляют около 80 % территории исследуемого участка, т.е. вся застройка способствует проветриванию расчетной области.

Анализ расчетной схемы с окружающей застройкой

Рассмотрим второй вариант расчетной схемы — с учетом окружающей застройки. В результате расчета получены следующие картины изополей ско-

ростей ветра для западного (рис. 5) и юго-западного (рис. 6) направлений ветра.

Анализ проведен по двум направлениям ветрового потока: западному и юго-западному.

При западном направлении ветра установлены следующие закономерности.

1. По сравнению с первой расчетной схемой в данном случае наблюдаются три зоны повышенных скоростей ветра, при этом все зарегистрированные скорости не превышают верхнюю границу допустимых показателей комфортности. Если осредненно принять входную в застройку скорость ветра

равной 2,8 м/с в соответствии со схемой изополей, а установленную скорость принять равной 4,89 м/с, то аэродинамическая характеристика — коэффициент трансформации скорости ветра t_i составит 1,75 для данной зоны, что свидетельствует об определенном свойстве композиции зданий, т.е. исследуемая застройка способствует проветриванию территории.

2. Зоны застойных скоростей ветра практически отсутствуют в области исследуемой застройки. Это может быть обусловлено перераспределением ветровых потоков от близлежащей застройки по пути следования ветра.

При юго-западном направлении ветра наблюдаемый характер распределения ветровых потоков сохранился. Однако выявлено общее понижение зарегистрированных скоростей ветра примерно на 5–10 %. Это свидетельствует о незначительном вкладе малоэтажных зданий окружающей застройки с юго-западной стороны в ветровой режим исследуемой территории.

Заключение

В заключение выполнен сравнительный анализ результатов вычислений двух отличающихся друг от друга расчетных схем и даны некоторые рекомендации по улучшению аэрации исследуемой территории.

При западном направлении ветра наблюдаются следующие различия в результатах расчетов при анализе расчетных схем с окружающей застройкой и без нее.

В случае с учетом окружающей застройки появляются три зоны повышенных скоростей ветра, но при этом зарегистрированные значения в этих местах не превышают допустимых показателей комфорта, в отличие от расчетной схемы без учета окружающей застройки, в которой присутствует всего одна зона дискомфортных скоростей потока. Если сопоставить точки с наибольшими скоростями ветра в обоих случаях, то можно определить, что в случае с учетом застройки вокруг исследуемой скорости ветра снижается на 25 %. Однако, если рассматривается влияние окружающей застройки на ветровой режим исследуемой территории, то скорость повышается в остальных зонах расчетной области, застойных зон становится намного меньше, а зон комфортных и допустимых скоростей ветра все больше. Этот факт свидетельствует о том, что исследуемая застройка способствует проветриванию территории.

Аналогично проанализированы полученные результаты по юго-западному направлению ветра и выявлены следующие различия.

Наблюдается незначительное снижение скоростей ветра в диапазоне от 5 до 10 % в центральной зоне исследуемой области. При этом на периферии проектной застройки снижение скоростей потока достигает 40 %. Обуславливается это сдерживаю-

щим влиянием соседних зданий, которые замедляют ветер в этой области. При этом принципиальное распределение ветровых потоков не изменилось, данная застройка по-прежнему способствует проветриванию территории.

Рекомендации

1. Если расчет производится на этапе массинга (от англ. «massing» — моделирование общей формы здания) жилой территории, то необходимо с соблюдением некоторых рекомендаций верно построить архитектурную композицию зданий с учетом ветровой комфортности [16].

2. Если же этап массинга завершен, т.е. положение зданий утверждено, то ветровые потоки следует регулировать при помощи зеленых насаждений и малых архитектурных форм. В частности, наибольшее влияние на ветровой режим исследуемой территории оказывают зеленые насаждения. По данным В.М. Пивкина [29], существует большое количество различных способов регулирования микроклимата территории. Эти мероприятия могут быть направлены как на проветривание, так и на ветрозащиту исследуемой зоны. Например, в соответствии с данными, представленными у автора [29, с. 220], применение различных композиций зеленых насаждений способно уменьшить скорость ветра в необходимой точке как на 20–30, так и на все 40–50 % в зависимости от конфигурации форм зеленых насаждений. Согласно данным источника [29, табл. 19], размещение зеленых насаждений вполне может уменьшить скорость ветра на входе в группу деревьев до 7 раз, а на расстоянии примерно 50–100 м от входа — до 2 раз. Устройство зеленых насаждений во дворах способно снизить скорость ветра в застройке до 2 раз. При устройстве беседок и ветрозащитных экранов скорость ветра может быть снижена от 2 до 9 раз. Затенение скамеек под кронами деревьев способно снизить скорость ветра в расчетной точке в 1,5–2,5 раза от входной скорости.

Выводы

1. Рассмотренная в исследовании застройка при анализируемых направлениях ветра способствует проветриванию территории, что свидетельствует о необходимости рассматривать аэрацию жилой зоны с точки зрения ветрозащиты. При этом рекомендуется учитывать все направления ветра при анализе композиции зданий с точки зрения ветровой комфортности.

2. Методика расчета с применением программного комплекса ANSYS Discovery Live позволяет обрабатывать большие объемы исследуемой застройки, что позволяет в полной мере оценить ветровую комфортность жилой территории.

3. Учет застройки, окружающей исследуемую, территории, поскольку выявленные различия является необходимым фактором правильной оценки зарегистрированных показателей по расчетам обеих аэрационной комфортности анализируемой жилой схем являются весомыми.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Рекомендации по учету природно-климатических факторов в планировке, застройке и благоустройстве городов и групповых систем населенных мест. М. : ЦНИИП градостроительства, 1980. 139 с.
2. СП 131.13330.2020. Строительная климатология СНиП 23-01–99* // Госстрой России. М. : ГУП ЦПП, 2020.
3. СП 42.13330.2016. Планировка и застройка городских и сельских поселений СНиП 2.07.01–89* // Госстрой России. М. : ГУП ЦПП, 2016.
4. МГСН 1.04–2005. Временные нормы и правила проектирования планировки и застройки участков территории высотных зданий-комплексов, высотных градостроительных комплексов в городе Москве. М. : Изд-во стандартов, 2005. 34 с.
5. МГСН 4.19–2005. Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий комплексов в городе Москве. М. : Изд-во стандартов, 2005. 34 с.
6. Об утверждении нормативов градостроительного проектирования города Москвы в области торговли, обслуживания и обеспечения комфортных и благоприятных условий проживания граждан в объектах жилого назначения : Постановление Правительства Москвы от 21 декабря 2021 года № 2152-ПП.
7. Рекомендации по оценке аэрации территории в жилой застройке г. Москвы. 2-е изд., перераб. и доп. / отв. ред. И.К. Лифанов. М. : МАКС Пресс, 2006. 160 с.
8. Семашко К.И. Руководство по оценке и регулированию ветрового режима жилой застройки. М. : Стройиздат, 1986. 59 с.
9. Лифанов И.К., Гутников В.А., Скотченко А.С. Моделирование аэрации в городе : учебник. М. : Диалог-МГУ, 1998. 134 с.
10. Оленьков В.Д., Колмогорова А.О., Сапогова А.Е. Компьютерное моделирование аэрационного режима жилой застройки с целью проветривания и ветрозащиты // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2021. Т. 21. № 1. С. 5–12.
11. Оленьков В.Д. Учет ветрового режима городской застройки при градостроительном планировании с использованием технологий компьютерного моделирования // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2017. Т. 17. № 4. С. 21–27. DOI: 10.14529/build170403
12. Оленьков В.Д., Колмогорова А.О., Бараков И.И. и др. Особенности учета ветрового режима при проектировании жилой застройки в целях проветривания и ветрозащиты // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2022. Т. 22. № 3. С. 14–23. DOI: 10.14529/build220302
13. Шукуров. И.С., Оленьков В.Д., Пайкан В., Аманов Р.М. Обеспечение экологической безопасности городов с учетом аэрационного режима воздуха // Вестник БГТУ. 2017. № 5. С. 41–44. DOI: 10.12737/article_590878faafb818.60730967
14. Коробейникова А.Е. Особенности формирования и оценки аэрационного режима жилой застройки на склоновых территориях в условиях арктической зоны РФ : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М. : Изд-во МГУ, 2002. 23 с.
15. Оленьков В.Д., Колмогорова А.О., Замула М.Д. Учет ветрового режима при проектировании жилой застройки // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2023. Т. 23. № 3. С. 5–13.
16. Полуй Б.М. Архитектура и градостроительство в суровом климате. Л. : Стройиздат, 1989. 304 с.
17. Чистяков С.Б. Оздоровление окружающей среды городов : сб. науч. тр. М. : ЦНИИП градостроительства, 1973. 200 с.
18. Серебровский Ф.Л. Аэрация населенных мест. М. : Стройиздат, 1985. 172 с.
19. Римша А.Н. Градостроительство в условиях жаркого климата : учебник для вузов. М. : Стройиздат, 1979. 312 с.
20. Горохов В.А. Городское зеленое строительство : учеб. пособ. для вузов. М. : Стройиздат, 1991. 416 с.
21. Лазарева И.В. Рекомендации по использованию нарушенных территорий для градостроительства. М. : ЦНИИП градостроительства, 1983. 104 с.
22. Поддаева О.И., Кубенин А.С., Чуринов П.С. Архитектурно-строительная аэродинамика : учеб. пособ. 2-е изд. М. : МГСУ, 2017. 88 с.
23. Симиу Э., Сканлан Р. Воздействие ветра на здания и сооружения / пер. с англ. Б.Е. Маслова, А.В. Швецовой; под ред. канд. техн. наук Б.Е. Маслова. М. : Стройиздат, 1984. 360 с.
24. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. Изд. 4-е, стереотипное. М. : Наука, 1988. 736 с.
25. Оленьков В.Д. Нарушенные территории в градостроительстве: восстановление, использование, аэра-

ционный режим : монография // М-во образования Рос. Федерации. Юж.-Урал. гос. ун-т. Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2002. 192 с.

26. Сумеркин Ю.А., Теличенко В.И. Оценка экологической безопасности придомовых территорий жилых районов // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 6. С. 99–103.
27. Куртнер Д.А., Торберг Г.А., Е.Д. Швецова. Зонирование сельскохозяйственного поля на основе нечеткого моделирования // АГРОФИЗИКА. 2012. № 1. С. 18–23.
28. СНиП 2.01.01–82. Строительная климатология и геофизика // Госстрой СССР. М. : Стройиздат, 1983. 136 с.
29. Пивкин В.М. Климатологические основы районной планировки и градостроительства в Сибири. Л. : Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1984. 260 с.

Об авторах: **Валентин Данилович Оленьков** — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Градостроительство, инженерные сети и системы»; **Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет) (НИУ ЮУрГУ)**; 454080, г. Челябинск, пр-т Ленина, д. 76; e-mail: olenkovvd@susu.ru;

Алена Олеговна Колмогорова — старший преподаватель кафедры «Градостроительство, инженерные сети и системы»; **Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет) (НИУ ЮУрГУ)**; 454080, г. Челябинск, пр-т Ленина, д. 76; e-mail: kolmogorovaao@susu.ru;

Михаил Дмитриевич Замула — инженер-проектировщик; **ООО Голос. Проект**; 454100, г. Челябинск, ул. Аношкина, д. 12; e-mail: m.zamula@golos.click;

Алексей Викторович Алеманов — аспирант кафедры «Градостроительство, инженерные сети и системы»; **Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет) (НИУ ЮУрГУ)**; 454080, г. Челябинск, пр-т Ленина, д. 76; e-mail: alemanov98@mail.ru.

REFERENCES

1. Recommendations on the consideration of natural and climatic factors in the planning, construction and improvement of cities and group systems of populated areas. Moscow, TsNIIP of Urban Planning, 1980; 139. (rus.).
2. SP 131.13330.2020. Construction climatology SNiP 23-01–99*. *Gosstroy of Russia*. Moscow, SUE CPP, 2020. (rus.).
3. SP 42.13330.2016. Planning and construction of urban and rural settlements SNiP 2.07.01–89*. *Gosstroy of Russia*. Moscow, SUE CPP, 2016. (rus.).
4. MGSN 1.04–2005. Temporary norms and rules for the design of the layout and development of sections of the territory of high-rise buildings–complexes, high-rise urban complexes in the city of Moscow. Moscow, Publishing House of Standards, 2005; 34. (rus.).
5. MGSN 4.19–2005. Temporary norms and rules for the design of multifunctional high-rise buildings and buildings complexes in the city of Moscow. Moscow, Publishing House of Standards, 2005; 34. (rus.).
6. On approval of standards for urban planning design of the city of Moscow in the field of trade, service and provision of comfortable and favorable living conditions for citizens in residential facilities : The Government of Moscow Resolution No. 2152-PP dated December 21, 2021. (rus.).
7. Recommendations for assessing the aeration of the territory in residential buildings in Moscow. 2nd ed., reprint. and an additional. Ed. by I.K. Lifanov. Moscow, MAKSS Press, 2006; 160. (rus.).
8. Semashko K.I. *Guidelines for the assessment and regulation of the wind regime of residential buildings*. Moscow, Sroizdat, 1986; 59. (rus.).
9. Lifanov I.K., Gutnikov V.A., Scotchenko A.S. *Modeling of aeration in the city : textbook*. Moscow, Dialog-MSU, 1998; 134. (rus.).
10. Olenkov V.D., Kolmogorova A.O., Sapogova A.E. Computer modeling of the aeration regime of residential buildings for the purpose of ventilation and wind protection. *Bulletin of SUSU*. 2021; 21(1):5-12. (rus.).
11. Olenkov V.D. Accounting for the wind regime of urban development in urban planning using computer modeling technologies. *Bulletin of SUSU*. 2017; 17(4):21-27. DOI: 10.14529/build170403 (rus.).
12. Olenkov V.D., Kolmogorova A.O., Barakov I.I. et. al. Features of taking into account the wind regime in the design of residential buildings for the purpose of ventilation and wind protection. *Bulletin of SUSU*. 2022; 22(3):14-23. DOI: 10.14529/build220302 (rus.).
13. Shukurov I.S., Olenkov V.D., Paykan V., Amanov R.M. Ensuring environmental safety of cities taking into account the aeration regime of air. *Bulletin of BSTU*. 2017; 5:41-44. DOI: 10.12737/article_590878faafb818.60730967 (rus.).

14. Korobeynikova A.E. *Features of the formation and assessment of the aeration regime of residential buildings on sloping territories in the Arctic zone of the Russian Federation : abstract of the dissertation of Candidate of Technical Sciences*. Moscow, Publishing House of Moscow State University, 2002; 23. (rus.).
15. Olenkov V.D., Kolmogorova A.O., Zamula M.D. Consideration of the wind regime in the design of residential buildings. *Bulletin of SUSU*. 2023; 23(3):5-13. (rus.).
16. Poluy B.M. *Architecture and urban planning in a harsh climate*. Leningrad, Stroyizdat, 1989; 304. (rus.).
17. Chistyakov S.B. *Improvement of the urban environment : collection of scientific papers*. Moscow, TSNIIP of Urban Planning, 1973; 200. (rus.).
18. Serebrovsky F.L. *Aeration of populated places*. Moscow, Stroyizdat, 1985; 172. (rus.).
19. Rimsha A.N. *Urban planning in a hot climate : textbook for universities*. Moscow, Stroyizdat, 1979; 312. (rus.).
20. Gorokhov V.A. *Urban green construction : handbook for universities*. Moscow, Stroyizdat, 1991; 416. (rus.).
21. Lazareva I.V. Recommendations on the use of disturbed territories for urban planning. *TsNIIP urban planning*. Moscow, 1983; 104. (rus.).
22. Poddaeva O.I., Kubenin A.S., Churin P.S. *Architectural and construction aerodynamics : a textbook*. 2nd ed. Moscow, MGSU, 2017; 88. (rus.).
23. Simiu E., Scanlan R. *The impact of wind on buildings and structures*. Transl. from English by B.E. Maslova, A.V. Shvetsova. Ed. by B.E. Maslov, Candidate of Technical Sciences. Moscow, Stroyizdat, 1984; 360. (rus.).
24. Landau L.D., Lifshits E.M. *Hydrodynamics. 4th edition, stereotypical*. Moscow, Nauka, 1988; 736. (rus.).
25. Olenkov V.D. *Disturbed territories in urban planning: restoration, use, aeration regime : monograph*. Ministry of Education of the Russian Federation. Federation. South-Ural State University. Chelyabinsk, SUSU Publishing House, 2002; 192. (rus.).
26. Sumerkin Yu.A., Telichenko V.I. Assessment of environmental safety of adjacent territories of residential areas. *Industrial and civil engineering*. 2017; 6:99-103. (rus.).
27. Kurtener D.A., Torberg G.A., Shvetsova E.D. Zoning of an agricultural field based on fuzzy modeling. *AGROPHYSICS*. 2012; 1:18-23. (rus.).
28. SNiP 2.01.01–82. Building climatology and geophysics. *Gosstroy of the USSR*. Moscow, Stroyizdat, 1983; 136. (rus.).
29. Pivkin V.M. *Climatological Foundations of Regional Planning and Urban Construction in Siberia*. Leningrad, Stroiizdat, Leningrad Branch, 1984; 260. (rus.).

About the authors: **Valentin D. Olenkov** — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Department of Urban Planning, Engineering Networks and Systems; **South Ural State University (national research university) (NRU SUSU)**; 76 Lenin prospekt, Chelyabinsk, 454080, Russian Federation; e-mail: olenkovvd@susu.ru;

Alena O. Kolmogorova — Senior lecturer of Department of Urban Planning, Engineering Networks and Systems; **South Ural State University (national research university) (NRU SUSU)**; 76 Lenin prospekt, Chelyabinsk, 454080, Russian Federation; e-mail: kolmogorovaao@susu.ru;

Mikhail D. Zamula — engineer; **LLC Golos. Project**; 12 Anoshkina St., Chelyabinsk, 454100, Russian Federation; e-mail: m.zamula@golos.click;

Aleksey V. Alemanov — postgraduate student of Department of Urban Planning, Engineering Networks and Systems; **South Ural State University (national research university) (NRU SUSU)**; 76 Lenin prospekt, Chelyabinsk, 454080, Russian Federation; e-mail: alemanov98@mail.ru.

Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2026. № 1. С. 34–48.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 551.582+771.551.58

DOI: 10.22227/2311-1518.2026.1.34-48

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В АРХИТЕКТУРНО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ НА ОСНОВЕ БИОКЛИМАТИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ

Адхам Иминжанович Гиясов

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ); г. Москва, Российская Федерация

Ускоряющееся потепление климата и усиление эффекта городского теплового острова увеличивают тепловую нагрузку на население, инфраструктуру и экосистемы городов. В статье предложены методологическая рамка комплексной оценки теплового состояния городской среды и механизмы ее интеграции в градостроительные решения.

Целью исследования является разработка многоуровневой модели интегральной оценки влияния природно-климатических факторов на условия теплового и микроклиматического комфорта в городской среде на основе биоклиматических критериев. Задача исследования — разработка модели интегральной оценки природно-климатических факторов в архитектурно-градостроительной среде на основе биоклиматических критериев и индексов.

На основе биоклиматических критериев проведен анализ природно-климатических факторов теплового периода года, значимых для задач градостроительства.

В исследовании применен метод биоклиматической оценки, учитывающий тепловую реакцию человека на окружающую среду, что имеет ключевое значение для архитектурно-строительного проектирования и градостроительного планирования в жарких южных регионах.

Приведен пример построения биоклимаграммы для оценки теплового режима городской среды. По биоклимаграмме, отражающей периоды с различными тепловыми условиями и их продолжительность, определяется общий тепловой режим города и формулируются градостроительные требования для регулирования городского микроклимата.

Определены критерии комплексной оценки теплового состояния среды и процедура оценки теплового воздействия на человека. Предложенный подход может быть адаптирован к городам различных климатических зон и уровней доступности данных. Сформулирована методика оценки биоклиматических условий открытых городских пространств, в рамках которой тепловые условия классифицируются в зависимости от степени благоприятности использования открытых пространств для различных функциональных целей и от необходимости применения градостроительных средств улучшения биоклимата.

В итоге сформулированы методические указания по учету природно-климатических факторов в градостроительстве, основанные на комплексе санитарно-гигиенических критериев и графо-аналитических методах оценки.

Работа выполнена по научной проблеме «Биосферная совместимость», по аспектам «Изменение климата» и «Жилье и городская среда».

Ключевые слова: биоклимаграмма, городской тепловой остров, тепловая нагрузка, микроклимат, тепловое состояние человека, градостроительство, городская застройка, городская морфология

Благодарности. Работа выполнена согласно плану научно-исследовательских работ кафедры Архитектурно-строительного проектирования и физики среды Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ) в рамках темы «Функция, конструкция, среда в архитектуре зданий и городов» и научной проблемы «Биосферная совместимость», по аспектам «Изменение климата» и «Жилье и городская среда».

Для цитирования: Гиясов А.И. Модель оценки природно-климатических факторов в архитектурно-градостроительной среде на основе биоклиматических критериев // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2026. № 1. С. 34–48. DOI: 10.22227/2311-1518.2026.1.34-48

A MODEL FOR ASSESSING NATURAL AND CLIMATIC FACTORS IN THE ARCHITECTURAL AND URBAN PLANNING ENVIRONMENT BASED ON BIOCLIMATIC CRITERIA

Adham I. Giasov

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU); Moscow, Russian Federation

Accelerating global warming and the strengthening of the urban heat island effect are increasing the heat load on the population, infrastructure, and ecosystems of cities. This article proposes a methodological framework for a comprehensive assessment of the thermal state of the urban environment and mechanisms for integrating it into urban planning decisions.

The aim of the study is to develop a multi-level model for the integrated assessment of the impact of natural and climatic factors on thermal and microclimatic comfort conditions in the urban environment based on bioclimatic criteria.

The objective of the study is to develop a model for the integrated assessment of natural and climatic factors in the architectural and urban planning environment based on bioclimatic criteria and indices.

Using bioclimatic criteria, an analysis of natural and climatic factors of the warm season, significant for urban planning, was conducted.

The study uses a bioclimatic assessment method that takes into account the human thermal response to the environment, which is of key importance for architectural and construction design and urban planning in hot southern regions. An example of constructing a bioclimagram for assessing the thermal regime of an urban environment is presented. Using a bioclimagram that reflects periods with different thermal conditions and their durations, the overall thermal regime of a city is determined and urban planning requirements for regulating the urban microclimate are formulated.

Criteria for a comprehensive assessment of the thermal state of the environment and a procedure for assessing thermal impact on humans are defined. The proposed approach can be adapted to cities with different climatic zones and data availability levels.

A methodology for assessing the bioclimatic conditions of open urban spaces is formulated, within which thermal conditions are classified based on the degree of favorability of open spaces for various functional purposes and the need for urban planning measures to improve the bioclimate.

As a result, methodological guidelines for considering natural and climatic factors in urban planning are formulated, based on a set of sanitary and hygienic criteria and grapho-analytical assessment methods.

This work is based on the scientific problem "Biosphere Compatibility" and the aspects "Climate Change" and "Housing and the Urban Environment".

Keywords: bioclimagram, urban heat island, heat load, microclimate, human thermal state, urban planning, urban development, urban morphology

Acknowledgements. *The work was carried out in accordance with the research plan of the Department of Architectural and Construction Design and Environmental Physics at the Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU) within the framework of the topic "Function, Structure, and Environment in the Architecture of Buildings and Cities" and the scientific problem "Biospheric Compatibility" in the aspects of "Climate Change" and "Housing and Urban Environment".*

For citation: Giyasov A.I. A model for assessing natural and climatic factors in the architectural and urban planning environment based on bioclimatic criteria. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2026; 1:34-48. DOI: 10.22227/2311-1518.2026.1.34-48 (rus.).

Введение

Будущее городов зависит от наших сегодняшних действий. Пришло время формировать архитектурно-градостроительную концепцию будущего, обеспечивающую комфортную среду как в открытых городских пространствах, так и во внутренних пространствах зданий и сооружений.

По мере роста урбанизации и распространения высокотехнологичной архитектуры наряду с очевидными достижениями усиливаются и негативные явления. Нарушается экологическое равновесие, происходят климатические изменения. В городах повышается температура окружающей среды, усиливается эффект городского теплового острова. Управление и улучшение качества среды в открытых общественных пространствах и во внутренних пространствах зданий в увязке с комфортом пользователей требуют глубокого понимания влияния городской застройки на микроклимат как наружных территорий, так и внутренних помещений.

Городская застройка формирует разнообразную среду, которая влияет, с одной стороны, на сценарии использования открытых городских пространств, с другой — на комфорт (тепловой, акустический, визуальный и др.). В городской среде микроклиматические параметры — температура и влажность, движение воздуха, интенсивность солнечной радиации — меняются во времени и пространстве. Под влиянием сложной морфологии архитектурно-строительных объектов эти изменения могут быть более

или менее благоприятны для теплового, ветрового, инсоляционного и визуального комфорта пользователей городских пространств.

Открытые городские пространства — это улицы, площади, дворы, сады и парки. Качество их устройства во многом определяет качество жизни в городах. Их микроклиматические параметры важны для деятельности людей как на открытом воздухе, так и внутри зданий, поскольку влияют на характер использования пространств.

Среди различных аспектов взаимодействия человека с окружающей средой особо выделяется влияние метеорологических условий на его тепловое состояние с учетом биоклиматических факторов.

В данной статье рассматриваются микроклиматические и биоклиматические различия в пределах городских территорий. Предложены пути снижения тепловых нагрузок на организм человека.

Выбранное направление исследования остается малоизученным в архитектурно-строительной науке из-за сложной морфологии городских территорий и застройки, а также изменчивости метеорологических факторов. Проблемы влияния архитектурно-строительной морфологии городской среды на формирование микроклимата отражены в работах ряда отечественных и зарубежных исследователей [1–7].

Изучение взаимосвязи архитектурно-строительной морфологии городской среды с микроклиматом и тепловым комфортом является сложной задачей из-за большого количества переменных факторов окружающей среды и индивидуальных реакций

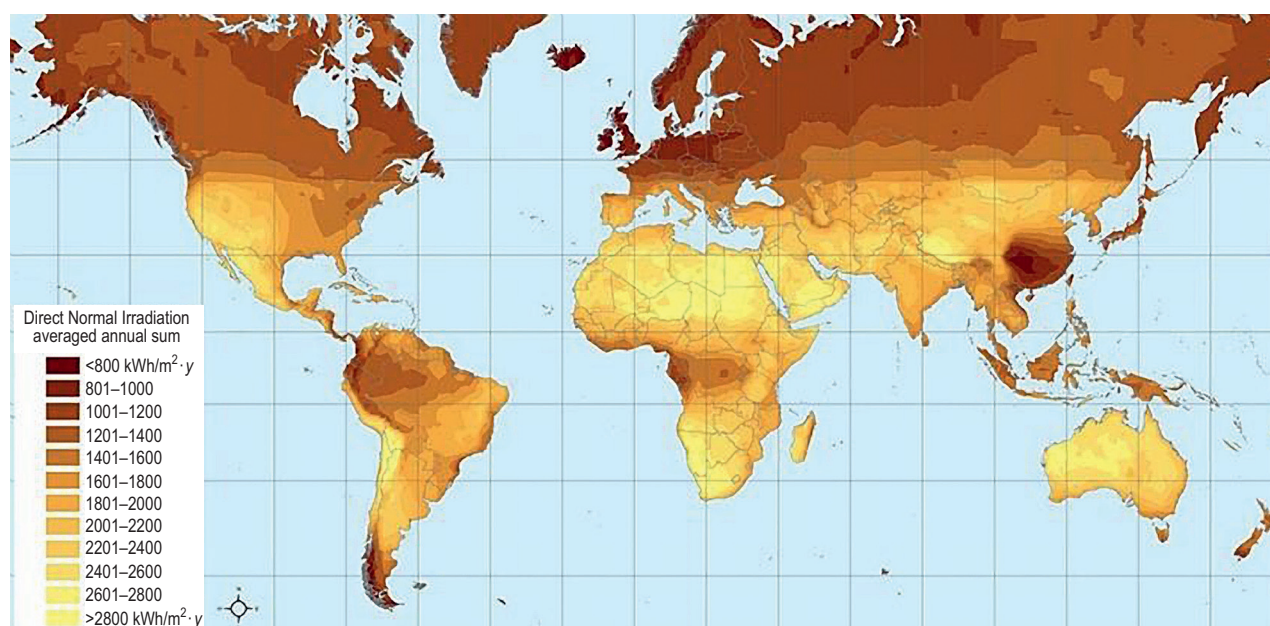


Рис. 1. Карта распределения солнечной радиации в мире

человека на них. Эта взаимосвязь рассмотрена в работах [8–11].

В этом контексте с целью упростить изучение взаимосвязи между архитектурно-строительной морфологией и тепловым комфортом в открытых общественных пространствах и внутренних пространствах зданий предложен набор морфологических показателей, связанных с климатическими параметрами; их применение и результаты представлены в исследованиях [12–15].

Программные средства для компьютерного моделирования и методы анализа космических снимков, используемые для оценки микроклимата и теплового комфорта среды, окружающей человека, описаны в работах [16–19].

Влияние архитектурной морфологии городской среды на микроклимат и тепловой комфорт в открытых городских пространствах в регионах с теплым климатом, а также в теплый период в других регионах рассматривается в работах отечественных и зарубежных авторов [20–23].

Несмотря на множество исследований, вопрос остается недостаточно разработанным для регионов с жарким климатом, где летом температура воздуха в тени нередко превышает 50 °С, и для засушливых зон (влажность 20–30 %), в частности для городов южного региона России (Краснодар, Волгоград, Ростов-на-Дону, Сочи, Херсон, Ялта, Нальчик, Астрахань, Махачкала и др.), а также для городов Центральной Азии, Ближнего Востока, Африки, Латинской Америки, Австралии и южной Европы, где летом фиксируются экстремальные температуры и продолжительность теплого периода составляет 6–10 месяцев.

Солнце является главным источником энергии для всех жизненных процессов на Земле; его энергия относится к возобновляемым источникам и может в практически неисчерпаемых объемах преобразовываться в электрическую и тепловую.

Доступ к солнечному излучению — ключевая предпосылка расширения применения биоклиматической архитектуры в городском контексте.

Тепло-ветровой режим застройки складывается под воздействием климатических факторов района, прежде всего инсоляции, и определяется температурой воздуха и температурой поверхностей территории и ограждающих конструкций.

В связи с этим на глобальной карте солнечной радиации выделяются области повышенной активности, а в нормативных документах Российской Федерации — пять характерных зон по интенсивности, лежащих в основе биоклиматического районирования мира и России (рис. 1, 2) [24].

Мероприятия по снижению интенсивности солнечной радиации и теплового излучения элементов городского ландшафта подлежат обязательному применению в населенных пунктах при условии, что в теплый период доля времени теплового дискомфорта, вызванного солнечной радиацией, превышает 20 %: при температуре воздуха выше 27–28 °С — для открытых городских пространств и выше 28–30 °С — для помещений.

Применение таких мероприятий рекомендуется уже при наличии периодов с температурами не ниже 24 °С (для открытых пространств) и 26 °С (для зданий) (рис. 3, 4).

Повышение температуры воздуха в городе по сравнению с окружающей природной местностью

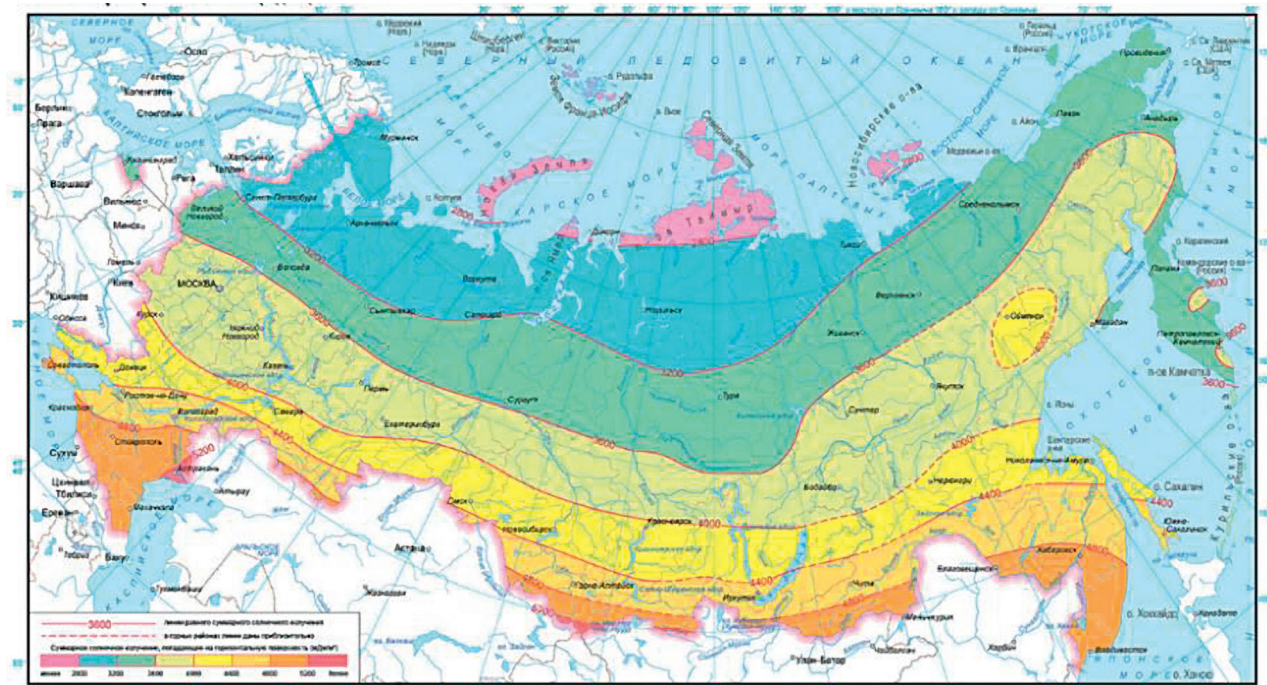


Рис. 2. Схема распределения суммарной годовой солнечной радиации на горизонтальную поверхность (с учетом фактической облачности), кВт·ч/м²

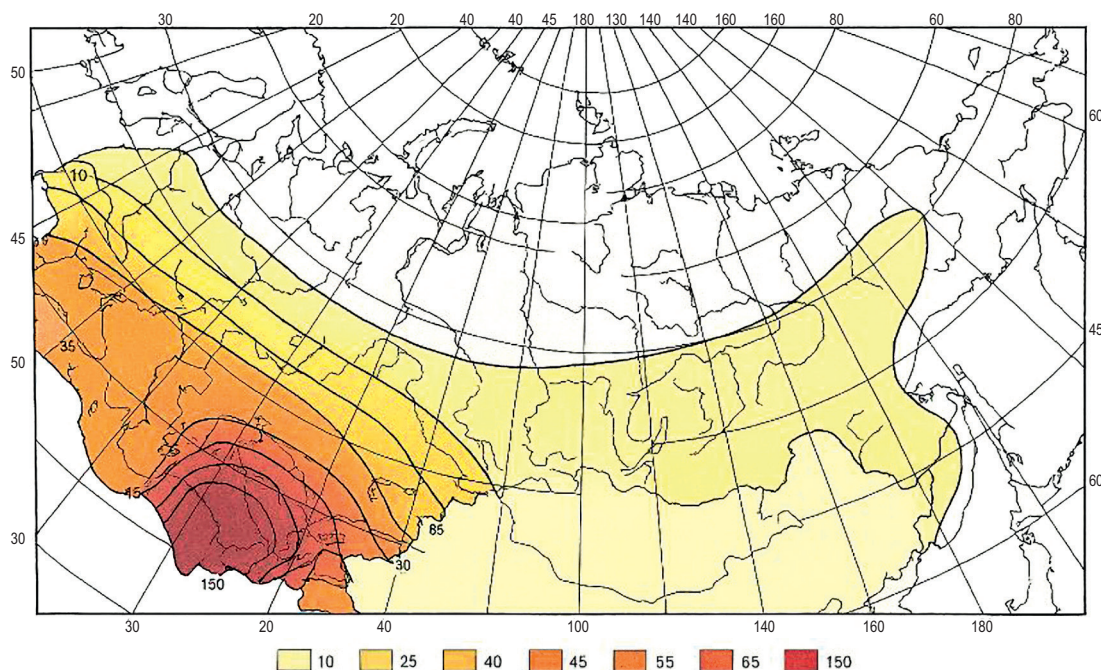


Рис. 3. Число дней с жарким тепловым дискомфортом в году

приводит к формированию городского теплового острова — области повышенной температуры воздуха куполообразной формы над городской территорией. Размер и характеристики теплового острова зависят от метеорологических условий и перечисленных особенностей города [4].

Целью исследования является разработка многоуровневой модели интегральной оценки влияния природно-климатических факторов на условия теп-

лового и микроклиматического комфорта в городской среде на основе биоклиматических критериев.

Задача исследования — разработка модели интегральной оценки природно-климатических факторов в архитектурно-градостроительной среде на основе биоклиматических критериев и индексов, позволяющей количественно оценивать их влияние на условия пребывания человека и обосновывать решения по планировке и застройке.

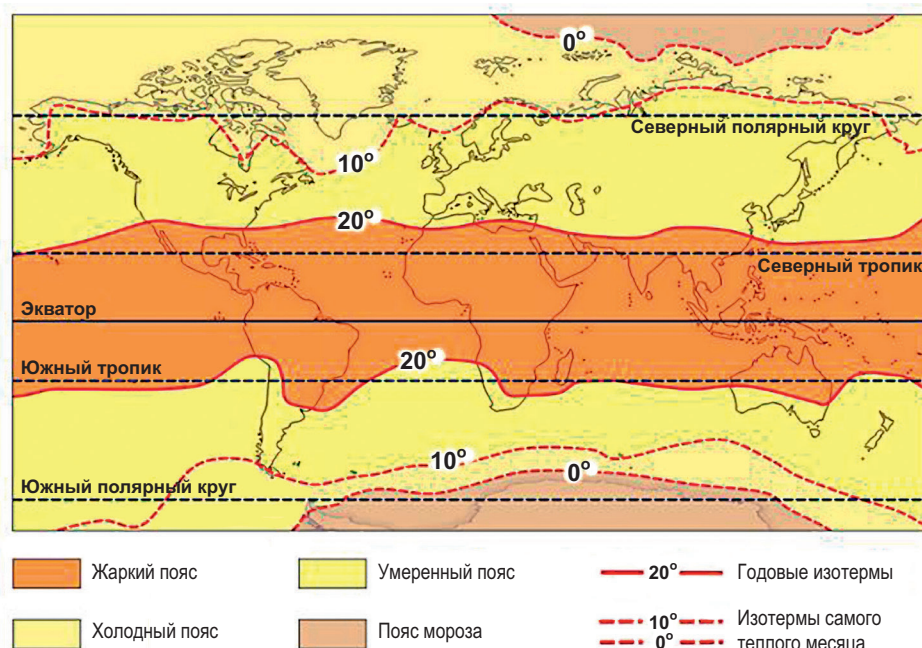


Рис. 4. Карта мировых тепловых поясов с изотермами годового цикла

Материалы и методы

В рамках исследования закономерностей влияния архитектурно-строительной морфологии городской среды на биоклимат, микроклимат и тепловой комфорт открытых и внутренних городских пространств, в конечном счете определяющих тепловое состояние человека, проанализированы результаты мониторинга основных метеорологических факторов для территорий с продолжительным теплым периодом.

Анализ выполнен на основе баз данных гидрометеорологических справочников Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова, Среднеазиатского научно-исследовательского гидрометеорологического института им. В.А. Бугаева, нормативных документов, справочных ежемесячников закавказских республик, а также современной глобальной базы NASA SSE.

В ходе исследования сформулированы методические указания по учету природно-климатических факторов в градостроительстве, основанных на комплексе санитарно-гигиенических критериев и графо-аналитических методов оценки природных факторов. Указания предназначены для использования при проектировании населенных пунктов в странах с теплым климатом и направлены на совершенствование качества окружающей среды в контексте биоклиматической архитектуры.

Результаты и их обсуждение

В городе температура воздуха, ветер и солнечная радиация меняются во времени и пространстве; морфология застройки, усиливая или сглаживая эти

колебания, задает уровень теплового, ветрового, инсоляционного и визуального комфорта пешеходов.

Усиление температурного режима города объясняется несколькими причинами: ростом промышленных и антропогенных тепловыделений, широким применением искусственных покрытий, увеличением этажности застройки, ослаблением ветрового обмена и снижением испарения. В итоге поступающая солнечная радиация преимущественно идет на турбулентное нагревание приземного воздуха.

Тепловое состояние человека в морфологически сложной городской среде следует изучать в контексте изменения климата в рамках модели «климат – город – человек» (рис. 5).

Города концентрируют население и застройку, усиливая контраст между модифицированной деятельной (подстилающей) поверхностью и окружающей местностью; температурная разница достигает 6–12 °C [9, 13]. Эффект городского теплового острова увеличивает частоту и интенсивность тепловых экстремумов, ухудшает условия труда и отдыха, повышает смертность во время волн жары (до 30 %), увеличивает пиковую нагрузку на энергосистемы. В российских и зарубежных нормативных документах климатические факторы учитываются преимущественно на уровне общего фона [25–27], тогда как биоклимат и тепловые риски городской среды часто остаются вне проектных регламентов. Возникает потребность в процедурной, воспроизводимой оценке теплового состояния городской среды и во внедрении ее результатов в планировочные решения и правила землепользования и застройки.

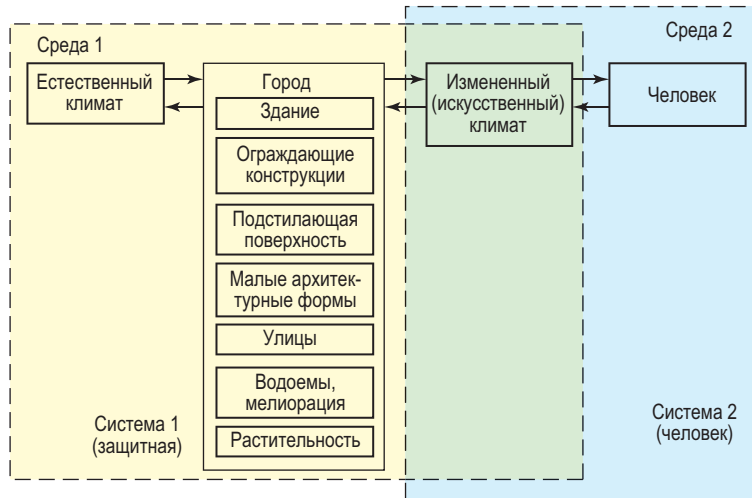


Рис. 5. Концептуальная модель «климат – город – человек»

Методика учета природно-климатических условий с градостроительных позиций заключается в выявлении особенностей природной среды, оценке ее пригодности для освоения в градостроительных целях и разработке требований, обеспечивающих высокие функционально-эксплуатационные, санитарно-гигиенические и архитектурно-эстетические качества городской среды.

В градостроительном проектировании подлежат учету воздействия и явления природной среды, влияющие на состояние и функционирование городского организма и тем самым на решение градостроительных задач.

Решение градостроительных задач по обеспечению благоприятных санитарно-гигиенических условий городской среды должно основываться на оценке природных элементов и комплексов, формирующих тепловое и санитарное состояние природного фона, а также определяющих возможность применения градостроительных средств для его улучшения.

Общим критерием природных факторов является степень благоприятности среды для градостроительного освоения; по этому критерию тепловое состояние человека подразделяется на четыре кате-

гории: благоприятное, ограниченно благоприятное, неблагоприятное, особо неблагоприятное.

Классификация проводится по разработанной автором экспериментальной методике оценки теплового состояния человека и биоклимата городской среды, предусматривающей использование цилиндрического термометра, моделирующего физическое тело, и показателя тепловой нагрузки FE , г/ч (величина влагопотери при испарении пота), в качестве количественного санитарно-гигиенического индикатора теплового состояния [13] (табл. 1, 2).

К благоприятным условиям следует относить такие, которые характеризуются наивысшим потенциалом благоприятности среды и не требуют специальных мер по ее улучшению.

К ограниченно благоприятным относятся условия, формируемые природными факторами или их элементами различной степени благоприятности. Благоприятность среды может быть повышена за счет применения градостроительных средств мелиорации. Степень компенсируемости неблагоприятных воздействий зависит от реальных градостроительных возможностей и мелиоративной эффективности применяемых средств.

Таблица 1. Биоклиматические критерии оценки теплового состояния среды

Факторы	Благоприятные	Ограниченно благоприятные	Неблагоприятные	Особо неблагоприятные
Теплый период, мес.	Более 6	3–6	Менее 3	Менее 0,3
Условия перегрева: • в зданиях, дни; • на открытых пространствах, процент от теплого периода	Отсутствуют, либо меньше 30 Менее 0,3	До 45 0,3–0,5	45–60 0,5–0,7	Более 60 Более 0,7
Продолжительность периодов переохлаждения на открытых городских пространствах, в процентах от длительности холодного периода	Менее 0,3	Менее 0,3–0,5	0,5–0,7	Более 0,7
Продолжительность отопительного сезона, мес.	Менее 6	6–7	7–8	Более 8

Таблица 2. Биоклиматические критерии оценки теплового состояния человека

Оценка благо-приятности	Показатели		
	Тепловые условия пространств	Режим использования	Меры регулирования
Благоприятная, FE = 50–200 г/ч	Днем на открытых пространствах теплового комфорта нет или он кратковременен	Свободный режим использования открытых пространств и внутренних помещений	Специальные меры по улучшению среды городской застройки не требуются. При необходимости допускается применение локальных солнцезащитных и ветрозащитных устройств на зданиях и элементах застройки
Ограниченно благоприятная, FE = 201–500 г/ч	Доля времени теплового дискомфорта на открытых территориях и в зданиях гражданского назначения не превышает 0,3 % длительности теплого периода	Нарушение функционально-эксплуатационного режима на открытых пространствах днем, в помещениях зданий во второй половине дня и вечером	Тепловой комфорт обеспечивается за счет солнцезащитных и ветрорегулирующих средств, а также специальных градостроительных решений на участках общественных зданий с применением инженерно-технических мер охлаждения, благоустройства и озеленения
Неблагоприятная, FE = 501–800 г/ч	Доля теплого периода с тепловым дискомфортом на открытых пространствах и в зданиях 0,3–0,5 процента, в указанные дни дискомфорт сохраняется большую часть суток или круглосуточно	Нарушение функционально-эксплуатационного режима отмечается на открытых пространствах и в помещениях зданий, в вечерние и ночные часы допускается использование открытых пространств для отдыха	Необходимы комплекс архитектурно-планировочных мер по улучшению среды городской застройки и внедрение инженерно-технических средств регулирования микроклимата в зданиях
Особо неблагоприятно, FE = 801–900 г/ч и более	Тепловой дискомфорт охватывает всю территорию застройки в течение более 0,5 % длительности теплого периода и имеет круглосуточный характер	Режим жизнедеятельности населения нарушен круглосуточно. Использование открытых пространств крайне низкое, ограничено деловыми перемещениями. Режим использования помещений ночной, 01:00–08:00	Требуются комплексные функционально-архитектурно-планировочные меры для улучшения среды застройки, а также применение инженерно-технических средств мелиорации биоклимата

Неблагоприятные условия среды характеризуются сочетанием факторов при минимальном уровне естественного потенциала благоприятности, поэтому для улучшения среды необходимо применять не только градостроительные, но и инженерно-технические средства.

К особо неблагоприятным условиям следует относить такие, которые исключают градостроительное освоение территорий как по совокупности неблагоприятных факторов, так и по отдельным факторам, препятствующим массовому гражданскому строительству. Например, экстремальные условия зон постоянного воздействия селевых потоков, высокой сейсмичности и т.п.

Комплексным показателем теплового и санитарного состояния окружающей среды является обеспеченность комфортных условий для нормального выполнения различных процессов жизнедеятельности человека — хозяйственно-бытовых, культурно-просветительных, производственных.

Качественные стороны теплового состояния среды рассматриваются по комплексу факторов:

температуре, относительной влажности, скорости движения воздуха и радиационным нагрузкам за счет солнечной радиации и излучения окружающих поверхностей, сочетание которых предопределяет комфортное или дискомфортное тепловое самочувствие человека, находящегося в типичных для города условиях: открытые территории застройки, полуоткрытые и закрытые пространства зданий. При этом, учитывая непосредственное воздействие природной среды на формирование теплоощущений человека в условиях открытого пространства, большое внимание следует уделять внешнему биоклимату.

Оценка теплового состояния среды с точки зрения биоклимата здания необходима для общего учета внешнеклиматических воздействий при разработке градостроительных требований и мероприятий по обеспечению благоприятной городской среды в целом.

Принимая во внимание существующие различия естественного метеофона населенных пунктов, в каждом конкретном случае рекомендуется определять периоды и требуемые пределы регулирования

радиационного, температурно-влажностного и ветрового режимов с учетом возможного мелиоративного эффекта в рассматриваемых условиях. При этом устанавливаются уровни снижения либо повышения интенсивности солнечной радиации, скорости ветра, температурного фона, необходимые для улучшения биоклимата открытых пространств.

При сравнении эффективности регулирования радиационного и ветрового режимов следует обратить внимание на величину и продолжительность возможного биоклиматического эффекта, на основании чего рекомендуется ориентироваться в выборе ведущих мероприятий.

В случаях, когда солнцезащита и ветрорегулирование не оказывают кардинального эффекта, важное значение приобретают мероприятия по улучшению температурно-влажностного режима.

Влияние солнечной радиации и теплового излучения на теплоощущения: при температуре воздуха 25–27 °С формируются оптимальные условия комфорта; при температурах выше 27 °С тепловая нагрузка возрастает, ощущения переходят от «тепло» к «жарко»; при 34–36 °С и выше — от «жарко» к «очень жарко». При этом эффект корригирования биоклимата путем солнцезащиты может быть эквивалентен по теплоощущениям человека снижению температуры воздуха на 3–6°.

Оценка эффективности мероприятий по регулированию радиационного режима открытых городских пространств производится по летним условиям, переводимым в более благоприятный класс на одну ступень за счет снижения суммарной солнечной радиации на 50 и 80–90 %. При снижении радиационного фона на 50 % биоклиматический эффект с учетом скорости ветра достигается при температуре воздуха до 30–33 °С, при снижении на 80 % — до 33–39 °С.

При более высоких температурах воздуха снижение интенсивности солнечной радиации на 50–80 % средствами солнцезащиты уменьшает или полностью исключает вероятность воздействия крайне тяжелых погодных условий на человека в условиях открытого пространства. Соответственно продлевается общий период теплового комфорта или период с допустимыми тепловыми нагрузками в течение года и перегревных дней.

При разработке мероприятий по регулированию ветровых условий в городе следует обеспечить оптимальные условия проветривания городских пространств с учетом санации воздушной среды, улучшения биоклимата и защиты в случае необходимости от активной пылевветровой деятельности и опасных ветровых явлений. Комплекс мероприятий рекомендуется назначать в зависимости от характера воздействия естественного ветрового фона на физиолого-гигиенические и функционально-эксплу-

атационные качества окружающей среды в различные сезоны года.

Ведущее положение при решении градостроительных задач должны занимать условия аэродинамического проветривания. Термическое проветривание — дополнительный фактор интенсификации движения воздуха. Пределы его воздействия по сезонам года и в течение суток ограничены, а эффективность зависит от перепада давления, возникающего при разности температур различных участков, а также от аэродинамических условий. На открытых пространствах территории застройки термическое проветривание имеет существенное значение в дневные часы, а в открытых и жилых помещениях — в вечерние и ночные.

Требуемую кратность снижения либо интенсификации скорости ветра рекомендуется определять с учетом биоклиматического эффекта, возможного в конкретных условиях. Так, интенсификация проветривания инсолируемых пространств при температуре выше 27 °С способствует улучшению теплового самочувствия человека.

При температуре воздуха до 38–39 °С движение воздушных потоков со скоростью 0,5–1 м/с благотворно влияет на теплоощущение человека за счет снижения температуры кожи и увеличения испарения пота.

Биоклиматический эффект интенсификации скорости ветра до 4 м/сек проявляется в зависимости от радиационного фона при температуре воздуха до 30–36 °С и равноценен снижению температуры воздуха на 3 °С. Повышение скорости до 5 м/с улучшает теплоощущения на солнце при температуре воздуха менее 33 °С и в тени — при температуре воздуха более 36 °С. При температуре воздуха свыше 39 °С более сильный ветер может усиливать нагрев тела.

В переходный период года весна – осень снижение скорости ветра в приземном слое воздуха до 1 м/с обеспечивает комфортность теплоощущений при температуре воздуха выше 12 °С, в прохладный период теплоощущение «прохладно» для нормально одетого человека — при температурах не ниже минус 20 °С. Соответственно увеличивается продолжительность комфортных условий.

В теплый период года ветрозащита эффективна при всех температурных показателях и скорости ветра выше 5 м/с. Это не ухудшает тепловое самочувствие человека, снимая одновременно неблагоприятное психогигиеническое раздражение.

Эффективность мероприятий по регулированию ветрового режима в теплое время года определяется по характеру изменения тепловых условий в течение суток перегревного периода: в дневные часы с учетом эффективной солнцезащиты, в вечерние

и ночные с учетом необходимого проветривания открытых пространств и зданий.

В населенных пунктах, где в приземном слое воздуха скорость ветра не превышает 3 м/с с повторяемостью не менее 30 % в любой расчетный срок, необходимо предусматривать мероприятия по интенсификации аэрации городской территории.

В долинных и котловинных пространствах мероприятия должны быть направлены на ликвидацию застойных явлений воздуха в застройке, улучшение биоклимата городской среды и снижение концентрации вредных веществ при наличии источников холодных и низких выбросов.

Сохранение естественного уровня скорости ветра в пределах городских территорий следует обеспечить в населенных пунктах, где постоянны скорости ветра от 2 до 5 м/с. Используемые при этом градостроительные меры должны способствовать созданию наиболее благоприятных биоклиматических, санитарных и функционально-эксплуатационных качеств городской среды, допуская снижение скорости движения воздушных потоков не ниже меньшего предела и интенсификацию — не выше большего.

При разработке ветрозащитных мероприятий следует учитывать, что минимально допустимая скорость ветра наружных пространств по биоклиматическим условиям должна быть не менее 2 м/с, по санитарным условиям — не ниже 1 м/с скорости ветра, менее 1 м/с не ликвидирует застоя воздуха в застройке.

Требуемый мелиоративный эффект улучшения температурно-влажностного режима рекомендуется определять для каждого города по фактическим показателям температуры, а влажности воздуха в дневные часы перегревного периода без учета предполагаемого регулирования радиационного и ветрового режимов.

Расчетная величина температурного эффекта определяется как разность между наибольшим значением среднемаксимальной температуры воздуха в перегревный период и температурой, соответствующей границе неблагоприятных условий. Для городов южного региона России, а также Узбекистана, Таджикистана, Кыргызстана и Туркменистана эта разность, как правило, составляет 3–5 °С. Например, для городов Краснодара, Сочи и Ташкента требуемый мелиоративный эффект при типичных радиационно-ветровых условиях, исходя из среднемаксимальной температуры июля около 37 °С и предельной температуры 33 °С, составляет около 4 °С.

Требуемая расчетная величина температурного эффекта может быть уменьшена при условии корегулирования радиационного в ветровые фоны и возможного максимального эффекта мелиорации градостроительными средствами в кратчайшие сроки

градостроительного освоения территории. При этом предельные значения температуры воздуха следует определять с учетом снижения интенсивности солнечной радиации и кратности изменения скорости ветра. Например, для Краснодара, Сочи и Ташкента при снижении уровня солнечной радиации на 50 % и интенсификации скорости ветра в 2 раза, общий биоклиматический эффект которых 3 °С, расчетная величина температурного эффекта составляет 1 °С.

Допустимая величина повышения влажности воздуха (дефицит влажности) за счет испарения воды с поверхности зеленых насаждений и водных устройств, при которой не ухудшается тепловое самочувствие человека, принимается по разности фактической средней относительной влажности воздуха и допустимой в заданных условиях физиолого-гигиеническим показателем и показателями комфортности среды. Для городов с относительной влажностью выше 30 % допустимо дополнительное повышение влажности в среднем не более чем на 15 %, при относительной влажности 20–30 % — до 15–20 %, при менее 20 % — допустимо повышение более чем на 20 %.

При окончательном назначении требований по компенсации дефицита влажности следует учитывать также реальную возможность обеспечения, особенно на пустынных безводных территориях.

С целью определения благоприятности условий предлагается графо-аналитический метод расчета, сущность которого заключается в методической градостроительной оценке природной среды путем определения количественной характеристики благоприятности условий. В качестве численного критерия оценки, позволяющего характеризовать различные условия на единой методической основе, рекомендуется использовать комплексный показатель благоприятности (ПБ):

$$ПБ = K_0 + K_k \cdot P_k,$$

где K_0 — коэффициент обеспеченности, характеризующий естественный потенциал благоприятности среды (E) относительно требуемого для градостроительных задач уровня (T), определяется как E/T ;

K_k — коэффициент градостроительной компенсации, отражающий необходимость применения дополнительных мер для обеспечения требуемых условий (T);

P_k — вероятность компенсации «дефицита» благоприятности в соответствии с уровнем научно-технического прогресса, материально-технической возможности к мелиоративной эффективности градостроительных средств ($K_э$).

Коэффициент обеспеченности в равной мере может представлять временную и пространственную

Таблица 3. Расчетные данные показателя благоприятности среды

Условия благоприятности среды	Расчетные величины				Индекс благоприятности
	Ко	Кк	Рк	ПБ	
Благоприятные	1	—	—1	1	1,0–0,7
Ограниченно благоприятные	$< 1 > 0$	$> 0 < 1$	0,5	$Ко + 0,5Рк$	0,7–0,5
Неблагоприятные	0	1	0,5	$0,5Рк$	0,5–0,2
Особо неблагоприятные	0	1	0–0,2	$0–0,2Рк$	0,2–0,0

характеристику условий, формируемых климатом, ландшафтом и грунтовой водой. Определяющая его величина Е зависит от качеств природных элементов и может быть различной. Величина Т зависит от социально-экономических факторов, как правило, постоянна для определенного отрезка времени и принимается за единицу. Теоретически возможно изменение Ко от 0 до 1. При Ко меньше единицы необходимы различные градостроительные, либо инженерно-строительные меры, либо комплекс этих мер.

Коэффициент компенсации Кк характеризует долю участия требуемых мелиоративных мер и равен $1 - Ко$. В реальных условиях его значение существенно зависит от мелиоративной эффективности (Кэ) и вероятности применения средств; фактический Кк может быть меньше требуемого, в общем случае $Кк \leq Кэ$.

Величина Рк равна 1 при 100 % вероятности компенсации и 0,5 при 50 % вероятности применения дополнительных мер.

Значения Ко, Кк и Рк, соответствующие определенной степени благоприятности среды, приведены в табл. 3.

Показатель благоприятности может быть определен по одному или нескольким элементам и комплексам природной среды. Во втором случае он представляет в зависимости от удобства оценки либо сумму, либо среднюю величину суммы определяемых показателей.

При определении биоклимата застроенных пространств используется биоклимаграмма суточного хода метеоэлементов, построенная на основе моделирования температурного режима застройки.

Оценка биоклимата открытых городских пространств определяется общим характером теплового состояния среды конкретного населенного пункта, устанавливаемым по биоклимаграмме, где указаны периоды с различными тепловыми условиями и их продолжительность. На основании этих данных формулируются градостроительные требования для мелиорации климата.

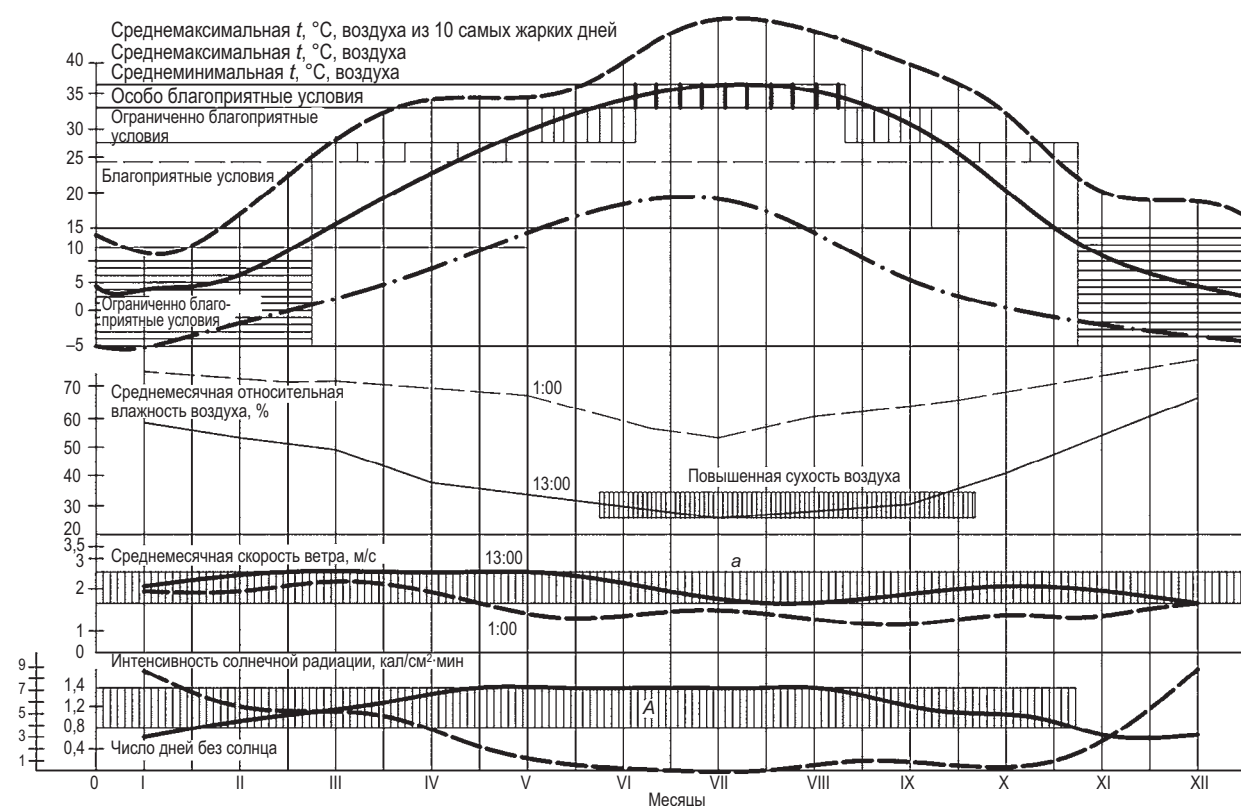


Рис. 6. Модель биоклимаграммы

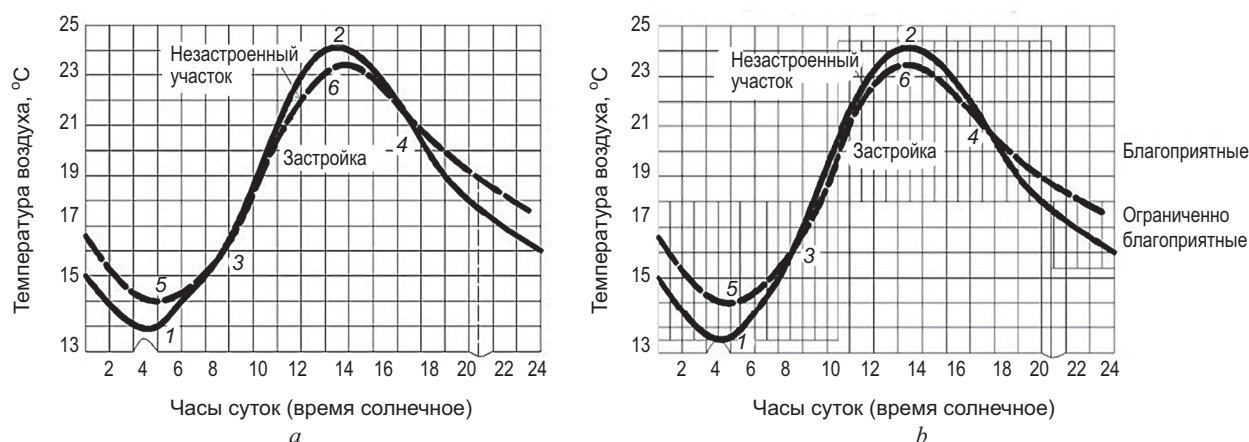
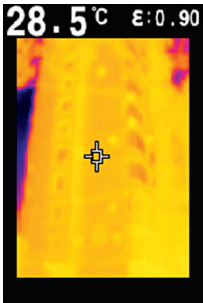
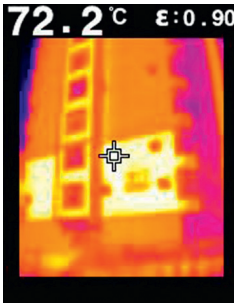
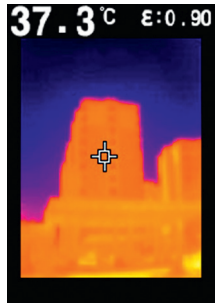
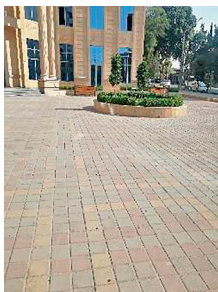
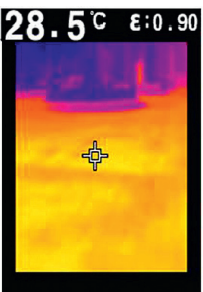


Рис. 7. Модель суточного хода температуры воздуха в городской застройке: *a* — исходная; *b* — скорректированная с учетом степени благоприятности условий среды

Таблица 4. Модель суточного хода температуры вертикальных (1) и горизонтальных (2) поверхностей в застройке

Общий вид застройки	Наблюдение через телевизор FLIR TG-165			Месторасположение застройки
	8:00 ч	13:00 ч	19:00 ч	
				
				

В качестве основы для построения биоклиматической диаграммы автором был использован совмещенный график годового изменения метеоданных, включая среднемесячную интенсивность солнечной радиации в полуденные часы, число пасмурных дней в месяц, среднемесячную скорость ветра и относительную влажность воздуха в 13 и 1 час, среднеминимальную и среднемаксимальную температуру воздуха в месяц, значения среднемаксимальной температуры воздуха за десять самых теплых дней, возможных в течение месяца. Среднеминимальная и среднемаксимальная температура воздуха изображаются методом построения гистограмм.

Пример построения совмещенного графика — биоклиматической диаграммы приведен на рис. 6.

Для моделирования суточного хода температуры воздуха в застройке в летний период на графике (рис. 7) наносится кривая суточного хода температуры воздуха на свободном от застройки участке по данным местной метеостанции или результатам микроклиматического районирования территории города. На оси абсцисс обозначается время восхода и захода солнца, а на температурной кривой выделяются точки 1 и 2, соответствующие максимальной к минимальной температуре и точки 3 и 4, соответствующие времени, когда температуры воздуха на открытой территории и в застройке равны между собой (через 2 ч после восхода солнца к за 2,5 ч до захода солнца).

На графике отмечаются точки 5 и 6, обозначающие максимальную и минимальную температуру

воздуха в застройке. Принимается, что минимальная температура в застройке и на незастроенном участке совпадает, а максимальная температура воздуха наступает в застройке открытой планировочной структуры на 15 мин, а для замкнутой структуры на 30 мин позже максимальной температуры открытой территории. Например, температура воздуха в застройке в весенние теплые месяцы для населенных пунктов в час максимума ниже температуры на свободном от застройки участке на 0,7 °C для замкнутой структуры и на 0,5 °C для открытой планировочной структуры. Температура воздуха в застройке в час минимума выше температуры воздуха на незастроенной территории на 1,5 и 1,2 °C соответственно.

Используя точки 3–6, строится кривая суточного хода температуры воздуха в застройке по форме, аналогичная температурной кривой для свободной территории.

Для определения различий между температурой незастроенных и застроенных пространств при моделировании температуры воздуха в застройке городов с высоким термическим фоном и малой подвижностью воздуха дополнительно используются графики их взаимосвязи и графики суточного хода температуры вертикальных и горизонтальных поверхностей (табл. 4).

Выводы

На основании результатов исследования сформулирована методика оценки биоклиматических условий открытых городских пространств. В ее рамках тепловые условия классифицируются по степени благоприятности использования открытых пространств для различных функциональных целей и по необходимости применения градостроительных средств улучшения биоклимата в увязке с физиолого-гигиенической классификацией типов погодных условий:

Тип 1. Благоприятные условия, соответствующие комфортному состоянию среды, физиолого-гигиенические показатели человека характеризуются нормальной или слабой нагрузкой на аппарат терморегуляции. Открытые городские пространства могут полноценно использоваться для отдыха, игр, бытовых занятий, производственной и оздоровительной деятельности. В специальных градостроительных мероприятиях нет необходимости, поскольку тепловой комфорт обеспечивается индивидуальными средствами солнцезащиты даже при относительно высокой температуре воздуха.

Тип 2. Ограниченно благоприятные условия, характеризующиеся типами погоды, создающими умеренную нагрузку на организм человека. Комфортность среды в теплое время года снижена воздействием отдельных метеоэлементов и может быть

легко восстановлена путем применения простейших градостроительных средств — солнцезащитных или ветрозащитных, а также средств благоустройства и озеленения. Режим использования открытых пространств летом нарушается в послеполуденные часы. В холодный период комфортное состояние достигается подбором соответствующей одежды.

Тип 3. Неблагоприятные условия, типы погоды, создающие значительную нагрузку на аппарат терморегуляции человека: летом перегрев организма, зимой переохлаждение. Использование открытых пространств летом практически исключается в течение всего дня, зимой — ограничено деловые передвижения, непродолжительные прогулки, спортивные и подвижные игры. Для улучшения теплового состояния среды необходимо применение комплекса архитектурно-планировочных мероприятий и средств.

Тип 4. Особо неблагоприятные условия: погода, создающая чрезмерную нагрузку на организм человека. Использование наружных пространств допускается лишь по деловой необходимости и на краткое время. Требуются специальные градостроительные решения и инженерная защита, направленные на снижение тепловых рисков.

Отмечается, что комфортное состояние среды не может быть обеспечено исключительно градостроительными средствами. Для этого необходимо включить в общий комплекс градостроительных мероприятий архитектурно-строительные решения.

Учет природно-климатических факторов в архитектурно-градостроительной практике методами биоклиматической оценки территорий различного масштаба с учетом морфологии городской среды дает проектировщику широкие возможности при решении градостроительных задач и выявлении типологических особенностей зданий.

Общий характер теплового состояния среды конкретного города/населенного пункта определяется по биоклимаграмме, отражающей периоды с различными тепловыми условиями и их длительность, на ее основе формулируются градостроительные требования по регулированию городского микро- и биоклимата.

В ходе исследования сформулированы методические указания по учету природно-климатических факторов в градостроительстве, основанные на комплексе санитарно-гигиенических критериев и графо-аналитических методов оценки природных факторов. Указания предназначены для использования при проектировании населенных пунктов в странах с теплым климатом и направлены на совершенствование качества окружающей среды в биоклиматической архитектуре.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мягков М.С., Лицкевич В.К., Губернский Ю.Д., Конова Л.И. Город, архитектура, человек и климат. Издательство Архитектура-С, 2007. 344 с.
2. Айзеништат Б.А., Лукина Л.П. Биоклимат и микроклимат Ташкента. Л. : Гидрометеиздат, 1982. 28 с.
3. Olgyay V. Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism: New and Expanded Edition. New Jersey, USA : Princeton University Press, 2015. 190 p.
4. Гиясов А.И., Сокольская О.Н. Модель «острова тепла» урбанизированных территорий и его трансформация // Вестник МГСУ. 2025. Т. 20. Вып. 2. С. 180–192. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.2
5. Алин А.С., Пашковская А.А. Характеристика биоклимата города Краснодара // Региональные географические исследования. Краснодар, 2020. 286 с.
6. Мурад Д. Биоклиматическая архитектура: обзор опыта создания внешнего комфорта городской среды в условиях сухого и жаркого климата // Известия КГАСУ. 2015. № 3 (33). С. 13–23.
7. Nikolopodlou M., Baker N., Steemers K. Can urban microclimatic analysis using image-processing techniques be employed to evaluate thermal comfort conditions: Proceedings of PLEA (Passive Low Energy Architecture) // Architecture, City, Environment-2000. Pp. 628–629.
8. Егорычев О.О., Дуничкин И.В. Вопросы прогнозирования микроклимата городской среды для оценки ветроэнергетического потенциала застройки // Вестник МГСУ. 2013. № 6. С. 123–131.
9. Гиясов А.И. Значение городского острова тепла в регулировании микро- и экоклимата // Вестник ЮУрГУ. Сер. «Строительство и архитектура». 2023. Т. 23. № 1. С. 5–15. URL: <https://vestnik.susu.ru/building/article/view/13011>
10. Айзеништат Б.А. Метод оценки теплового состояния человека с помощью физического тела в форме вертикального цилиндра // Труды САНИГМИ им. В.А. Бугаева. Вопросы прикладной климатологии и биометеорологии. М. : Гидрометеиздат, 1978. Вып. 57 (138). С. 38–43.
11. Oke T.R. Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites: Instruments and Observing Methods, Report. No. 81. WMO/TD. No. 1250. 2006, Nguyen Khanh Van. Bioclimatology study in modern geography // Ukrainian Geographical Journal. 2012. No. 3. Pp. 35–39.
12. Olgyay V. Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism: New and Expanded Edition. New Jersey, USA : Princeton University Press, 2015. 190 p.
13. Гиясов А.И. Биоклиматическое районирование — предпосылка для архитектурно-строительного и градостроительного проектирования, планирование территорий // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. № 1. С. 24–35.
14. Болдуин Р., Милбенк Н.О., Роу Г.Д. Здоровье, строительство и климат. Климат и здоровье человека : тр. Междунар. симп. ВМО/ВОЗ/ЮНЕП. Т. 1. Ленинград : Гидрометеиздат, 1988. С. 160–165.
15. Basic J. Regionalization and Evaluation of Seasonal Human Bioclimate of Semnan Province // Journal of Basic and Applied Scientific Research. Appl. Sci. Res., 2012. Vol. 2 (5). Pp. 4740–4750.
16. Хайруллин К.Ш. Масштабы влияния урбанизации на мезоклимат по данным спутниковой и наземной информации // Метеорологический вестник. 2008. Т. 1. № 1. С. 52–54.
17. Константинов П.И., Грищенко М.Ю., Варенцов М.И. Картографирование островов тепла городов Заполярья по совмещенным данным полевых измерений и космических снимков на примере г. Апатиты (Мурманская область) // Исследование Земли из космоса. 2015. № 3. С. 27–33.
18. Исследование городских территорий по тепловым снимкам. URL: http://www.geogr.msu.ru/cafedra/karta/materials/heat_img/files/2/urbanizirovannye_territorii.htm
19. Nikolopoulou M., Lykoudis S. Use of outdoor spaces and microclimate in a mediterranean urban area: Building and Environment. 2007. No. 42. Pp. 3691–3707.
20. Липовка А.Ю., Федченко И.Г. Морфологическая периодизация массовой жилой застройки Красноярска // Урбанистика. 2021. № 3. С. 56–72. DOI: 10.7256/2310-8673.2021.3.36434 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=36434
21. Коркунова В.А., Игнатов Г.Е. Ландшафтная архитектура открытых пространств городской среды // Архитектура и дизайн: история, теория, инновации. 2020. № 4. С. 30–36.
22. Givoni B. et al. Outdoor comfort research issues // Energy and Buildings. 2003. Vol. 35. Pp. 77–86.
23. Ahmed K.S. Comfort in Urban spaces: Defining the Boundaries of Outdoor Thermal Comfort for the Tropical Urban Environments // Energy and Buildings. 2003. No. 35. Pp. 103–110.
24. СП 370.1325800.2017. Устройства солнцезащитные зданий. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. М. : Стандартинформ, 2018. 56 с.
25. СП 131.13330.2020. Строительная климатология. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. М., 2020. 234 с.

26. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. М., 2017. 22 с.
27. Научно-прикладной справочник «Климат России». Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации — Мировой центр данных ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». URL: www.meteo.ru

Об авторе: **Адхам Иминжанович Гиясов** — доктор технических наук, профессор кафедры архитектурно-строительного проектирования и физики среды; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ORCID: 0000-0002-2471-5065, ResearcherID: T-8804-2018; e-mail: adham52@mail.ru.

REFERENCES

1. Myagkov M.S., Litskevich V.K., Gubernsky Yu.D., Konova L.I. *City, architecture, man and climate*. Publisher, Arkhitektura-S, 2007; 344. (rus.).
2. Aizenshtat B.A., Lukina L.P. *Bioclimate and microclimate of Tashkent*. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1982; 128. (rus.).
3. Olgyay V. *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalis: New and Expanded Edition*. New Jersey, USA, Prienston University Press, 2015; 190.
4. Giasov A.I., Sokolskaya O.N. The “heat island” model of urbanized territories and its transformation. *Bulletin of MGSU*. 2025; 20(2):180-192. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.2
5. Alin A.S., Pashklovskaya A.A. Characteristics of the bioclimate of the city of Krasnodar. *Regional geographical studies*. Krasnodar, 2020; 286.
6. Murad D. Bioclimatic architecture: a review of the experience of creating external comfort of the urban environment in dry and hot climates. *Izvestiya KSUACE*. 2015; 3(33):13-23. (rus.).
7. Nikolopodlou M., Baker N., Steemers K. Can urban microclimatic analysis using image-processing techniques be employed to evaluate thermal comfort conditions: Proceedings of PLEA (Passive Low Energy Architecture). *Architecture, City, Environment-2000*. 628-629.
8. Egorychev O.O., Dunichkin I.V. Issues of forecasting the microclimate of the urban environment for assessing the wind energy potential of development. *Bulletin of MGSU*. 2013; 6:123-131. (rus.).
9. Giasov A.I. The importance of the urban heat island in regulating the micro and ecoclimate. *Bulletin of SUSU, Series Construction and Architecture*. 2023; 23(1):5-15. URL: <https://vestnik.susu.ru/building/article/view/13011> (rus.).
10. Aizenshtat B.A. Method for assessing the thermal state of a person using a physical body in the form of a vertical cylinder. *Proceedings of the SARNIGMI named after V.A. Bugaev Issues of Applied Climatology and Biometeorology*. Moscow, Gidrometeoizdat, 1978; 57(138):38-43. (rus.).
11. Oke T.R. Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites: Instruments and Observing Methods, Report. No. 81. WMO/TD. No. 1250. 2006, Nguyen Khanh Van. Bioclimatology study in modern geography. *Ukrainian Geographical Journal*. 2012; (3):35-39.
12. Olgyay V. *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalis: New and Expanded Edition*. New Jersey, USA, Prienston University Press, 2015; 190.
13. Giasov A.I. Bioclimatic zoning — a prerequisite for architectural, construction and urban planning, territorial planning. *Bulletin of MGSU*. 2023; 18(1):24-35. (rus.).
14. Baldwin R., Milbank N.O., Rowe G.D. Health, construction and climate. Climate and human health. *Proceedings of the international symposium WMO/WHO/UNEP*. Vol. 1. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1988; 160-165. (rus.).
15. Basic J. Regionalization and Evaluation of Seasonal Human Bioclimate of Semnan Province. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*. Appl. Sci. Res, 2012; 2(5):4740-4750.
16. Khairullin K.Sh. The Scale of Urbanization Impact on the Mesoclimate Based on Satellite and Ground-Based Information. *Meteorological Bulletin*. 2008; 1(1):52-54. (rus.).
17. Konstantinov P.I., Grishchenko M.Yu., Varentsov M.I. Mapping Heat Islands in Arctic Cities Based on Combined Field Measurements and Space Imagery: The Case of Apatity (Murmansk Region). *Earth Research from Space*. 2015; 3:27-33. (rus.).
18. Study of Urban Areas Based on Thermal Images. URL: http://www.geogr.msu.ru/cafedra/karta/materials/heat_img/files/2/urbanizi-rovannye_territorii.htm
19. Nikolopoulou M., Lykoudis S. *Use of outdoor spaces and microclimate in a mediterranean urban area: Building and Environment*. 2007; 42:3691-3707. (rus.).

20. Lipovka A.Yu., Fedchenko I.G. Morphological periodization of mass residential development in Krasnoyarsk. *Urban studies*. 2021; 3:56-72. DOI: 10.7256/2310-8673.2021.3.36434 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=36434
21. Korkunova V.A., Ignatov G.E. Landscape architecture of open spaces of the urban environment. *Architecture and design: history, theory, innovation*. 2020; 4:30-36. (rus.).
22. Givoni B. et al. Outdoor comfort research issues. *Energy and Buildings*. 2003; 35:77-86.
23. Ahmed K.S. Comfort in Urban spaces: Defining the Boundaries of Outdoor Thermal Comfort for the Tropical Urban Environments. *Energy and Buildings*. 2003; 35:103-110.
24. SP 370.1325800.2017. Sun Protection Devices for Buildings. Ministry of Construction, Housing, and Communal Services of the Russian Federation. Moscow, Standartinform, 2018; 56. (rus.).
25. SP 131.13330.2020. Construction Climatology. Ministry of Construction, Housing, and Communal Services of the Russian Federation. Moscow, 2020; 234. (rus.).
26. SP 20.13330.2016. Loads and Impacts. Ministry of Construction, Housing, and Communal Services of the Russian Federation. Moscow, 2017; 22. (rus.).
27. *Scientific and Applied Handbook "Climate of Russia"*. All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information — World Data Center of the Federal State Budgetary Institution "VNIIGMI-MCD". URL: www.meteo.ru (rus.).

About the author: **Adham I. Giyasov** — Doctor of Engineering, Sciences and Professor in the Department of Architectural and Construction Design and Environmental Physics; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-2471-5065, ResearcherID: T-8804-2018; e-mail: adham52@mail.ru.

НАДЗЕМНАЯ ТЕРРИТОРИЯ ДЕТСКИХ САДОВ КАК ТЕРРИТОРИАЛЬНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ РЕСУРС

Ион Спиридонович Когутяк, Наталья Владимировна Бакаева

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ); г. Москва, Российская Федерация

В условиях уплотнения жилой застройки и роста стоимости земельного ресурса возрастает конфликт между требованиями к обеспеченности дошкольными образовательными организациями (ДОО) и возможностью формирования нормативных участков. Предметом исследования является надземная территория дошкольной организации, формируемая на эксплуатируемой крыше, рассматриваемая как форма развития территориально-строительного ресурса. Целью работы является обоснование условий целесообразности переноса прогулочных зон ДОО на эксплуатируемые крыши и разработка измеримых критериев, позволяющих сопоставлять такие решения с действующими нормативами градостроительного проектирования. Исследование включает нормативный анализ федеральных и региональных нормативных требований, сравнительный анализ реализованных отечественных и зарубежных объектов с числовыми показателями площадей кровель и вместимости, а также расчетный эксперимент, оценивающий территориальный и экономический эффект на примере Москвы. Показано, что нормативы градостроительного проектирования (НГП) Москвы фиксируют для встроенных и встроенно-пристроенных ДОО удельную площадь участка 20 м² на одно место, тогда как исторически рекомендуемые площади групповых площадок составляют 7–9 м² на ребенка. Предложены коэффициенты территориальной компенсации и функциональной обеспеченности, позволяющие интерпретировать крыши как надземный аналог прогулочной территории. Расчетный эксперимент демонстрирует, что при используемых параметрах плотности жилой застройки и цен реализации жилья в Москве экономический эффект от высвобождения земли превышает дополнительные капитальные и эксплуатационные затраты на устройство эксплуатируемой крыши; получена граница окупаемости по цене реализации жилья. Результаты могут использоваться при обосновании проектных решений встроенных ДОО в плотной городской среде и при корректировке локальных нормативов градостроительного проектирования.

Ключевые слова: дошкольная образовательная организация, эксплуатируемая крыша, прогулочные площадки, территориально-строительный ресурс, нормативы градостроительного проектирования, экономическая эффективность

Для цитирования: Когутяк И.С., Бакаева Н.В. Надземная территория детских садов как территориально-строительный ресурс // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2026. № 1. С. 49–61. DOI: 10.22227/2311-1518.2026.1.49-61

ABOVE-GRADE TERRITORY OF KINDERGARTENS AS A TERRITORIAL-CONSTRUCTION RESOURCE

Ion S. Kogutyak, Natalia V. Bakaeva

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

In the context of residential densification and rising land values, the conflict between statutory requirements for preschool provision and the feasibility of allocating standard land plots is becoming increasingly acute. The subject of this study is the above-grade territory of a preschool educational organization formed on an accessible roof and considered as a form of territorial-construction resource development. The aim of the paper is to substantiate the conditions under which outdoor play areas of preschool educational organizations can be relocated to accessible roofs and to develop measurable criteria for comparing such solutions with the current urban planning standards. The study combines a regulatory analysis of federal and regional requirements, a comparative analysis of implemented Russian and international case studies with numerical indicators of roof area and capacity, and a calculation experiment assessing the territorial and economic effects using Moscow as a case study. It is shown that the urban planning standards of Moscow establish a specific site-area indicator of 20 m² per place for built-in and built-in-attached preschool facilities, whereas the historically recommended area of group playgrounds is 7–9 m² per child. Territorial compensation and functional adequacy coefficients are proposed, making it possible to interpret accessible roofs as an above-grade analogue of the outdoor play area. The calculation experiment demonstrates that, under the adopted parameters of residential density and housing sale prices in Moscow, the economic effect of releasing land exceeds the additional capital and operating costs associated with constructing an accessible roof; a break-even threshold in terms of housing sale price is also identified. The results may be used to substantiate design solutions for built-in preschool facilities in dense urban environments and to refine local urban planning standards.

Keywords: preschool educational organization, accessible roof, outdoor play areas, territorial-construction resource, urban planning standards, economic efficiency

Введение

Социальная значимость градостроительной деятельности состоит в обеспечении дошкольными организациями в шаговой доступности, которая сталкивается с ограничениями земельного фонда в условиях уплотнения застройки и функций территории поселений. При традиционном подходе детский сад предполагает формирование отдельного земельного участка, значительная часть которого отводится под прогулочные площадки и сопутствующие разрывы. В плотной городской среде, где каждый квадратный метр земли конкурирует с жилыми и общественными функциями, участок дошкольной образовательной организации (ДОО) становится не только санитарно-педагогическим, но и территориально-строительным ресурсом, влияющим на пространственную и экономическую модель квартала. Параллельно в строительной практике закрепляется возможность комплексного благоустройства эксплуатируемых крыш и допускается устройство вспомогательных площадок на крышах зданий ДОО, включая доступ детей при соблюдении дополнительных требований безопасности. Тем не менее нормативная система по-прежнему трактует прогулочную территорию преимущественно как наземный компонент, что затрудняет согласование решений, в которых основная часть прогулочных зон переносится на уровень выше.

Научная проблема состоит в отсутствии унифицированных измеримых критериев, позволяющих переводить наземные нормативы площади участка в эквивалент надземной территории и связывать такое преобразование с экономико-планировочной целесообразностью. Гипотеза исследования заключается в том, что эксплуатируемая крыша встроенной или встроенно-пристроенной ДОО при выполнении нормативных требований безопасности и эксплуатации может рассматриваться как дублирование территориально-строительного ресурса, обеспечивающее эквивалентную или достаточную функциональную обеспеченность прогулочных зон и формирующее положительный территориальный и экономический эффект. Целью работы является обоснование условий целесообразности переноса прогулочных зон ДОО на эксплуатируемые крыши и разработка измеримых критериев, позволяющих сопоставлять такие решения с действующими нормативами градостроительного проектирования [1–4].

Материалы и методы

Исследование опирается на три взаимосвязанных блока. Первый блок представляет собой нормативный анализ: рассмотрены федеральные и московские документы, регулирующие проектирование зданий дошкольных образовательных организаций, устройство эксплуатируемых крыш и требования к наружным зонам пребывания детей. Второй блок основан на сравнительном анализе реализованных объектов, для которых по открытым материалам одновременно зафиксированы вместимость учреждения и площадь открытых зон на крыше. Третий блок составляет расчетный эксперимент, связывающий вместимость ДОО, нормативную площадь участка и экономический результат переноса прогулочных функций на крышу. Нормативную и методическую базу исследования составили документы федерального и московского уровня [1–4], эмпирическую базу реализованных объектов — открытые публикации и проектные материалы по российским, австралийским и канадским кейсам [5–12], стоимостные параметры расчетного эксперимента — отраслевые и рыночные источники [13–16], требования доступности, микроклимата, безопасности и надежности — профильные своды правил, технические регламенты и научные публикации [17–28], зарубежные нормы и рекомендации по наружным пространствам детских учреждений — материалы Австралии и Канады [29–34], а визуальные материалы для сопоставления планировочных и композиционных решений — дополнительные открытые источники [35–38].

Результаты

Нормативы градостроительного проектирования города Москвы задают дифференцированные удельные показатели площади земельного участка ДОО в зависимости от вместимости и типологии. Для отдельно стоящих дошкольных организаций установлены значения 35 м² на одно место при вместимости до 150 мест и 32 м² на одно место при вместимости от 151 до 350 мест. Для встроенных и встроенно-пристроенных ДОО соответствующий показатель снижен до 20 м² на одно место, при этом допускается, что расчет ведется без учета площади застройки здания ДОО, а удаление площадок от входов в ДОО не превышает 50 м. Смысловое содержание этого показателя в плотной застройке принципиально иное: участок в таких случаях трактуется преимущественно как носитель прогулочной функции и связан

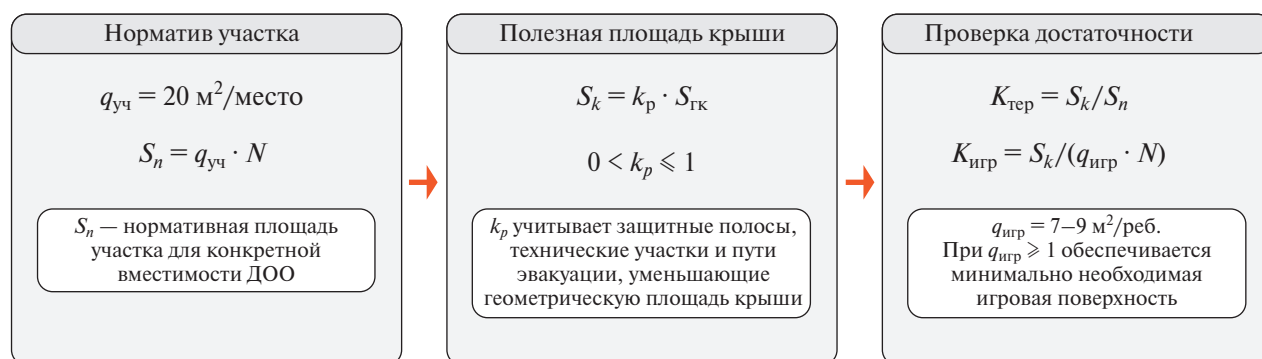


Рис. 1. Концептуальная схема обоснования эксплуатируемой крыши ДОО как надземной формы территориально-строительного ресурса

ных с ней разрывов, тогда как здание ДОО включено в состав территории жилого комплекса.

Сопоставление указанного норматива с санитарными рекомендациями предыдущих редакций показывает, что базовый функциональный «минимум» прогулочной территории исторически связывался с площадями групповых площадок. Так, санитарные правила фиксировали рекомендуемые площади групповых площадок порядка 7 м² на одного ребенка раннего возраста и 9 м² на одного ребенка дошкольного возраста, а также требование устройства теневого навеса из расчета не менее 1 м² на ребенка. Следовательно, величина 20 м² на место в московских нормативах градостроительного проектирования (НГП) может быть интерпретирована как укрупненный сводный показатель, включающий не только собственно игровые поверхности, но и долю функционально необходимых разрывов, проходов, озеленения, зон разделения потоков и хозяйственной составляющей, которые в условиях отдельно стоящего учреждения формируются на земле, а в условиях встроенного учреждения частично «растворяются» в структуре жилой терри-

тории. В связи с чем разработана обобщенная схема обоснования эксплуатируемой крыши ДОО как надземной формы территориально-строительного ресурса (рис. 1).

Данное соотношение иллюстрируется на рис. 2, где нормативная удельная площадь участка сопоставлена с рекомендуемым диапазоном площадей групповых площадок 7–9 м²/ребенка. Разница между 20 и 7–9 м² на место составляет порядка двукратного значения, что количественно подтверждает необходимость введения коэффициентов интерпретации при переносе прогулочных функций на крышу: прямое равенство площадей «крыша = участок» методологически неоправданно без учета функционального состава и ограничений эксплуатации надземной территории [1, 2].

Для количественной трактовки эксплуатируемой крыши как надземной территории вводится нормативная площадь участка, соответствующая вместимости ДОО. Нормативная площадь участка представляет собой суммарную площадь земли, которую нормативная система предписывает зарезервировать под обслуживание ДОО, включая прогулоч-

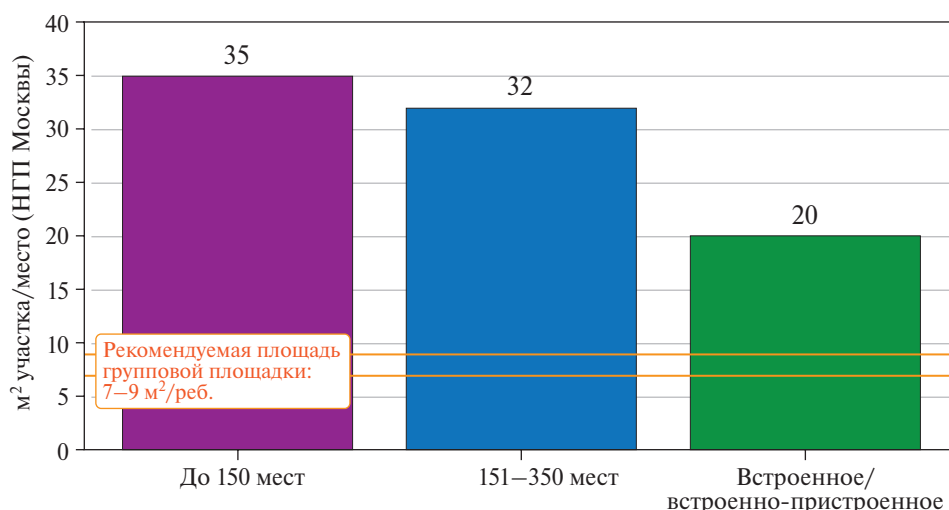


Рис. 2. Удельные показатели площади участка ДОО по НГП Москвы и сопоставление с рекомендуемыми площадями групповых площадок (7–9 м²/реб.) [1, 2]

Таблица 1. Удельные показатели площади участка ДОО по НГП Москвы (ПП № 2151-ПП)

Вместимость	Типология	q_{uch} , м ² /место
До 150 мест	Отдельно стоящая	35
151–350 мест	Отдельно стоящая	32
Любая вместимость	Встроенная/встроенно-пристроенная	20

Таблица 2. Показатели реализованных объектов с открытыми зонами на крыше (по данным открытых источников) [5–12]

Объект	Страна	Мест, N	Площадь крыши, м ²	м ² /место	K_{igr} ($q = 9$)	K_{ter} ($q = 20$)
ДОО в составе ЖК FØRST (Москва, РФ)	РФ	95	327	3,44	0,38	0,17
ДОО «Изумрудный город» (Прокшино, Новая Москва, РФ)	РФ	220	539	2,45	0,27	0,12
Rooftop Child Care (Surry Hills, Sydney, AU)	Австралия	38	285	7,5	0,83	0,38
Harbour Family and Children's Centre (Docklands, Melbourne, AU)	Австралия	150	1150	7,67	0,85	0,38
Gastown Child Care Centre (Vancouver, CA)	Канада	74	1022	13,81	1,53	0,69

ные зоны и сопутствующие элементы благоустройства. В общем виде она выражается произведением удельного норматива на вместимость учреждения:

$$S_n = q_{uch} \cdot N, \quad (1)$$

где S_n — нормативная площадь участка ДОО, м²;
 q_{uch} — удельный норматив площади участка на одно место, м²/место;
 N — вместимость ДОО, мест.

Физический смысл выражения (1) состоит в переходе от нормы, выраженной в удельных единицах, к требуемому объему земельного ресурса для конкретного учреждения.

Площадь надземной территории, доступной для прогулок и игр, определяется площадью эксплуатируемой крыши, фактически включенной в наружные зоны ДОО. Для оценки степени дублирования территориального ресурса вводится коэффициент территориальной компенсации, равный отношению площади крыши к нормативной площади участка:

$$K_{ter} = S_k / S_n, \quad (2)$$

где S_k — площадь эксплуатируемой крыши, функционально отнесенная к прогулочным зонам ДОО, м².

При значении коэффициента территориальной компенсации K_{ter} , равном единице, площадь надземной территории эквивалентна нормативной площади участка; при значении коэффициента ниже единицы крыша воспроизводит лишь часть территориального ресурса. Физически коэффициент отражает долю земельного норматива, переведенную в надземный формат.

В расчетах величина S_k трактуется как полезная площадь наружных зон на крыше, допускаемых к пребыванию групп. На стадиях предпроектной оценки и при использовании данных открытых источников исходной величиной часто выступает

геометрическая площадь поверхности крыши S_k^r . Для перехода от геометрической площади к полезной вводится переходный коэффициент k_n , определяемый как отношение полезной площади к геометрической:

$$k_n = S_k / S_k^r.$$

Физический смысл коэффициента заключается в учете неизбежных потерь площади вследствие обязательных полос безопасности у ограждений, технических участков, путей эвакуации и планировочных элементов благоустройства. Дальнейший анализ выборки показывает, что для случая, когда надземная территория выступает основным прогулочным пространством ДОО (объект Gastown Child Care Centre), значение k_n стремится к 0,65; в каждом конкретном проекте оно подлежит уточнению по планировочным решениям и может варьироваться в зависимости от функциональной программы и климатических ограничений [12, 33].

Поскольку нормативная площадь участка включает элементы, не сводимые к игровой поверхности (разрывы, озеленение, хозяйственная зона), для педагогически значимой оценки вводится коэффициент функциональной обеспеченности прогулочных площадок. В качестве базового ориентира принимается удельная площадь групповой прогулочной площадки q_{igr} , отражающая минимально рекомендуемую игровую поверхность на ребенка (7–9 м²/реб. по санитарным рекомендациям). Тогда коэффициент функциональной обеспеченности записывается как:

$$K_{igr} = \frac{S_k}{q_{igr} \cdot N}, \quad (3)$$

где q_{igr} — нормативно-рекомендуемая площадь групповой прогулочной площадки на одного ребенка, м²/место (табл. 1).

Коэффициент K_{igr} показывает, обеспечивает ли крыша минимально достаточную площадь для орга-



Рис. 3. Планировочные схемы (вид сверху) исследуемых объектов: 1 — ДОО в составе ЖК FØRST (Москва, РФ); 2 — ДОО «Изумрудный город» (Прокшино, Новая Москва, РФ); 3 — Rooftop Child Care (Surry Hills, Sydney, AU); 4 — Harbour Family and Children's Centre (Docklands, Melbourne, AU); 5 — Gastown Child Care Centre (Vancouver, CA). Источник: составлено автором по материалам [8, 12, 35–38]

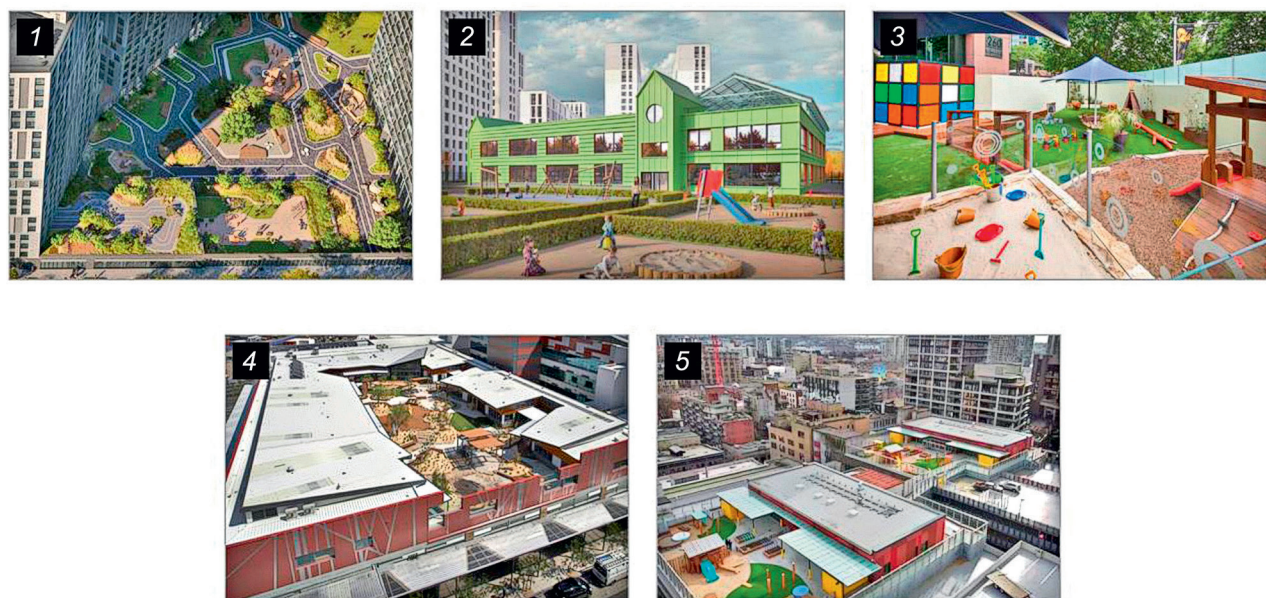


Рис. 4. Фотоматериалы исследуемых объектов: 1 — ДОО в составе ЖК FØRST (Москва, РФ); 2 — ДОО «Изумрудный город» (Прокшино, Новая Москва, РФ); 3 — Rooftop Child Care (Surry Hills, Sydney, AU); 4 — Harbour Family and Children's Centre (Docklands, Melbourne, AU); 5 — Gastown Child Care Centre (Vancouver, CA). Источник: составлено автором по материалам [12, 35–38]

низации прогулок и игр: при $K_{igr} \geq 1$ надземная территория обеспечивает не менее q_{igr} на ребенка. Физический смысл (3) состоит в сопоставлении реально создаваемой игровой поверхности с минимальным функциональным запросом, не включая прочие компоненты участка.

На рис. 3 приведены планировочные схемы дошкольных образовательных организаций в г. Москве и за рубежом.

На рис. 4 можно видеть внешний вид исследуемых объектов.

Планировочные схемы (вид сверху) и фотоматериалы исследуемых объектов представлены на рис. 3 и 4, а их расчетно-площадные параметры сведены в табл. 2. Рис. 3 позволяет сопоставить размещение объектов в городской ткани и конфигурацию надземных территорий, а рис. 4 иллюстрирует характер благоустройства и степень насыщенности

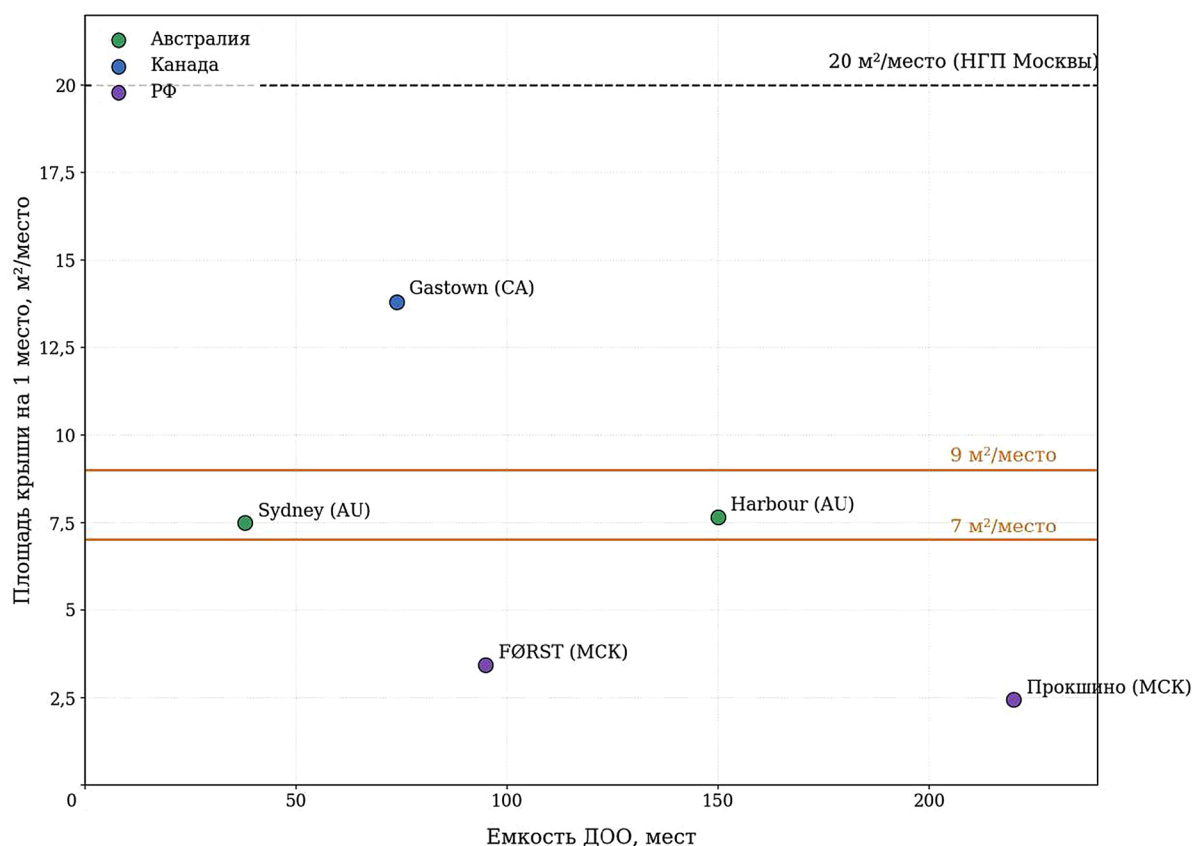


Рис. 5. Удельная площадь крыши на 1 место в выборке реализованных объектов и сопоставление с ориентирами 7–9 и 20 м²/место [5–12]

прогулочной программы на крыше. В выборке реализованных объектов наблюдается устойчивое различие между проектами, где крыша выступает как дополнительная прогулочная зона, и объектами, где крыша является основным (или единственным) открытым пространством учреждения. Так, для ряда российских проектов удельная площадь зон на крыше составляет 2–3,5 м² на место, что соответствует значениям коэффициента функциональной обеспеченности K_{igr} ниже 0,4 и указывает на добавочный характер решения: крыша повышает разнообразие и инсоляционный потенциал прогулок, но не воспроизводит в полном объеме функциональный минимум групповых площадок. Зарубежные объекты в рассматриваемой выборке демонстрируют иной уровень: удельная площадь открытых зон на крыше составляет 7,5–13,8 м² на место, что приводит к K_{igr} порядка 0,8–1,5 и означает близость к рекомендуемым санитарным площадям прогулочных поверхностей.

Графическое сопоставление удельной площади крыши с вместимостью представлено на рис. 5. На этом же рисунке показано, что достижение значения 20 м² на место, закрепленного НГП Москвы для встроенных ДОО, требует существенно большего объема территории на крыше, чем минимально-функциональный уровень 7–9 м² на ребенка, и на

практике встречается реже; следовательно, перенос нормы 20 м²/место на крышу должен интерпретироваться через функциональный состав и применимость надземных поверхностей.

Для объекта Gastown Child Care Centre, демонстрирующего сценарий, при котором надземная территория выступает основным прогулочным пространством, удельная площадь открытых зон на крыше составляет 13,81 м²/место (табл. 2). При принятом ориентире полезной поверхности q_{igr} , равном 9 м²/место, переходный коэффициент k_n оценивается по выражению:

$$k_n \approx \frac{q_{igr}}{S_k / N} = \frac{9}{13,81} = 0,65.$$

Следовательно, для обеспечения полезной площади 9 м²/место требуется геометрическая площадь крыши порядка 13,8 м²/место. Соответствующий коэффициент территориальной компенсации относительно нормы НГП Москвы для встроенных ДОО определяется следующим образом:

$$K_{ter} \approx 13,8/20 = 0,69.$$

Полученное значение применимо как расчетный ориентир для технико-экономической оценки и уточняется по функциональному составу зон и кон-

структивным ограничениям конкретного проекта [12].

Расчетный эксперимент построен на простой логике преобразования территориального ресурса. Если в традиционной схеме ДОО требует формирования участка площадью S_n , то в схеме с надземной прогулочной территорией фактическая площадь отдельного участка S_f может быть сокращена вплоть до нуля (при размещении ДОО в составе территории жилого комплекса). Тогда высвобождаемая площадь земли определяется разностью нормативного и фактического значения:

$$\Delta S = S_n - S_f \quad (4)$$

где ΔS — высвобождаемая площадь земли, м²;

S_f — фактически формируемая площадь участка ДОО, м².

Физический смысл (4) заключается в измерении «территориального выигрыша» как прямого уменьшения площади земли, выведенной из оборота иных функций при переходе к надземной прогулочной территории.

Высвобождение земли в условиях квартальной застройки трансформируется в дополнительный потенциал общей площади жилищного строительства, определяемый коэффициентом плотности (отношением суммарной площади этажей к площади участка) и долей реализуемой площади в общей площади строительства. В общем виде дополнительная реализуемая площадь оценивается как:

$$\Delta A_{pr} = \Delta S \cdot K_{pl} \cdot k_{pr} \quad (5)$$

где ΔA_{pr} — дополнительная реализуемая площадь, м²;

K_{pl} — коэффициент плотности застройки;

k_{pr} — доля реализуемой площади в суммарной площади строительства.

Физический смысл (5) состоит в переводе высвобождаемого земельного ресурса в измеримый строи-

тельный потенциал, отражающий экономическую мотивацию использования надземной территории.

Экономический эффект решения определяется разностью между предельной прибылью от дополнительной реализуемой площади и приведенными затратами на устройство и эксплуатацию крыши. Если P_{pr} — цена реализации 1 м², C_{st} — себестоимость строительства 1 м², ΔC_{rf} — дополнительные капитальные затраты на устройство эксплуатируемой крыши в расчете на 1 м² крыши, а Δc_{ex} — годовые дополнительные эксплуатационные расходы на 1 м² крыши, то чистый приведенный эффект можно записать следующим образом:

$$\text{ЧДД} = (P_{pr} - C_{st}) \cdot \Delta A_{pr} - \Delta C_{rf} - \text{ПС}(\Delta c_{ex}), \quad (6)$$

где ЧДД — чистый приведенный эффект, руб.;

P_{pr} — цена реализации 1 м², руб/м²;

C_{st} — себестоимость строительства 1 м², руб/м²;

ΔA_{pr} — дополнительная реализуемая площадь, м²;

ΔC_{rf} — дополнительные капитальные затраты на устройство эксплуатируемой крыши, руб.;

$\text{ПС}(\Delta c_{ex})$ — приведенная стоимость дополнительных эксплуатационных расходов за расчетный период.

Физический смысл выражения (6) состоит в сопоставлении потока выгод от высвобождаемого территориально-строительного ресурса с затратами, возникающими при переводе прогулочных функций на крышу (табл. 3).

Для практической верификации формула (6) была параметризована для Москвы. В качестве исходных нормативных данных принята величина q_{uch} , равная 20 м²/место для встроенных и встроенно-пристроенных ДОО по НПП Москвы. Дополнительные затраты на устройство эксплуатируемой крыши оценены в виде укрупненного показателя по данным производителей кровельных систем и рыночных сметных ориентиров; себестоимость строительства

Таблица 3. Расчетный эксперимент (Москва): параметры и результаты базового сценария [1, 13–16]

Показатель	Значение
Вместимость ДОО N	150 мест
Удельный норматив НПП q_{uch}	20 м ² /место
Нормативная площадь участка S_n	3000 м ²
Фактический участок S_f	0 м ²
Высвобождение земли ΔS	3000 м ²
Коэффициент плотности K_{pl}	3,5
Доля реализуемой площади k_{pr}	0,85
Дополнительная реализуемая площадь ΔA_{pr}	8925 м ²
Дополнительные капитальные затраты на крышу ΔC_{rf}	75,0 млн руб.
Приведенная стоимость дополнительной эксплуатации ПС(Δc_{ex})	9,4 млн руб.
Себестоимость строительства C_{st} (Москва)	155,1 тыс. руб/м ²
Граница окупаемости по цене реализации P_{pr}^*	164,6 тыс. руб/м ²
ЧДД при $P_{pr} = 420$ тыс. руб/м ²	2,28 млрд руб.

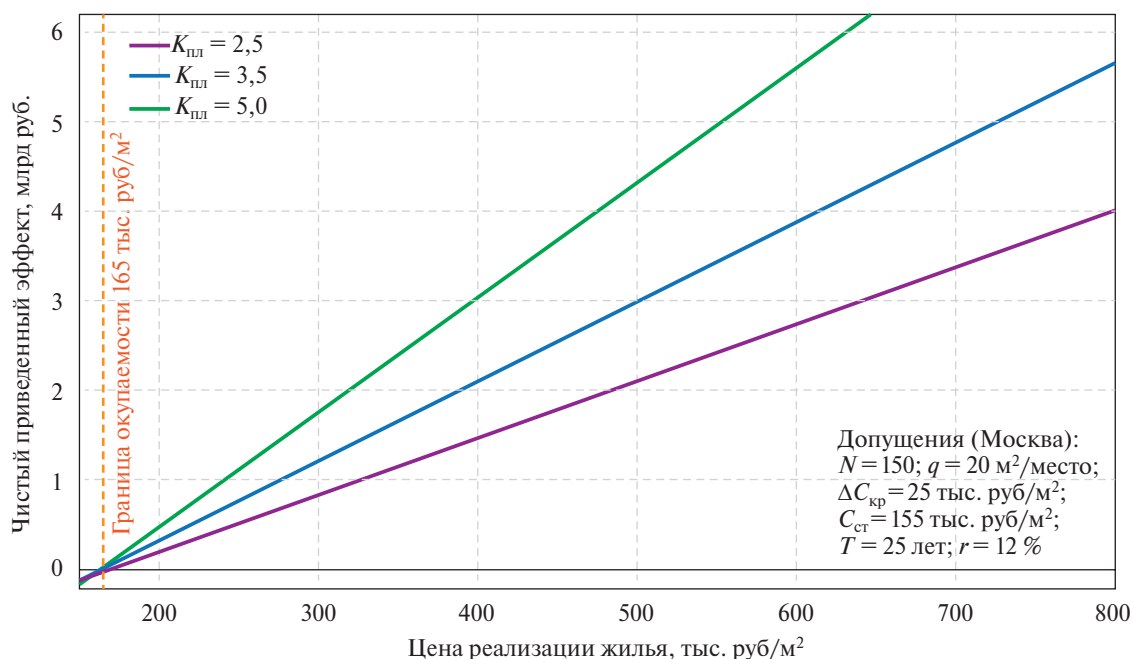


Рис. 6. Расчетный эксперимент (Москва): зависимость чистого приведенного эффекта от цены реализации жилья при различных значениях коэффициента плотности застройки [13–16]

жилья принята по данным расчетов ДОМ.РФ, опубликованных в отраслевой аналитике, а диапазон цен реализации жилья — по публикациям рынка новостроек. Результаты чувствительности ЧДД к цене реализации при различных значениях коэффициента плотности показаны на рис. 6. Полученная граница окупаемости порядка 165 тыс. руб/м² означает, что при цене реализации выше указанного уровня, характерной для рынка Москвы (рис. 6), решение с надземной прогулочной территорией обеспечивает положительный приведенный эффект даже при учете эксплуатационных расходов на протяжении 25 лет [1].

Обсуждение

Полученные результаты позволяют уточнить методологическую рамку обсуждения эксплуатируемых крыш ДОО. Во-первых, сопоставление нормативов выявляет, что московский показатель 20 м²/место относится к земельному участку как к территориальному ресурсу, а не к чистой игровой поверхности. Поэтому прямое требование обеспечивать на крыше именно 20 м²/место не является единственно возможным способом доказательства функциональной достаточности; более содержательным является критерий K_{igr} , соотносящий крышу с минимальной площадью групповых площадок, а затем — проверка полноты функционального состава (теневые навесы, разделение возрастных групп, физкультурные элементы, озеленение) в границах доступной площади. При этом НГП Москвы фиксируют пре-

дельную удаленность площадок от входов ДОО, что фактически допускает размещение прогулочных зон в пространстве жилой территории при соблюдении требования доступности; следовательно, надземная территория может рассматриваться как один из вариантов выполнения этого условия, особенно когда на уровне земли отсутствует достаточный непрерывный фрагмент территории [1].

Во-вторых, нормативная реализуемость решений по эксплуатируемым крышам требует перехода от градостроительных норм к строительным и пожарным требованиям. СП по проектированию зданий ДОО допускают устройство открытых зон на крышах при соблюдении специальных требований к ограждениям, эвакуации и пожарной безопасности, что задает рамку допустимости решения на уровне здания [3]. Доступ на крышу должен формироваться в «теплом контуре» учреждения с учетом требований доступности для маломобильных групп населения, а сама крыша должна иметь защищенные ограждения, исключающие падение, и конструктивно-инженерные решения, обеспечивающие надежность гидроизоляции и водоотвода на протяжении жизненного цикла [3, 17].

Во-третьих, функциональная состоятельность надземной территории зависит не только от площади, но и от микроклимата и организации тени. Эмпирические исследования по тепловому воздействию на детских площадках показывают значимость затенения и растительности для снижения теплового стресса, что особенно актуально на крышах, где ветровые и радиационные нагрузки выше,

чем на уровне земли [18]. Доступные озелененные крыши рассматриваются как прием, повышающий качество городской среды и обеспечивающий восстановительные эффекты даже при ограниченной площади, что позволяет обосновывать включение зеленых элементов в структуру площадок на крышах [19].

Наконец, расчетный эксперимент подтверждает экономическую мотивацию внедрения надземных прогулочных территорий в плотной городской застройке. Даже при консервативных предпосылках по себестоимости строительства и по стоимости устройства эксплуатируемой крыши граница окупаемости по цене реализации жилья оказывается существенно ниже среднерыночных уровней Москвы, что позволяет трактовать такие решения как рациональный инструмент балансировки функций квартала при дефиците земли [15, 16]. Вместе с тем экономический результат является производным от градостроительных ограничений: если коэффициент плотности застройки и градостроительные регламенты не позволяют материализовать высвобождение земли в дополнительную реализуемую площадь, эффект будет снижаться, и оценка целесообразности должна выполняться параметрически по формуле (6) [22, 26]. В международной практике минимальные требования к наружным площадям также выражаются в удельных показателях: например, национальные регламенты Австралии устанавливают не менее 7 м^2 «незагроможденной» наружной территории на ребенка, что по смыслу сопоставимо с коэффициентом K_{igr} и подтверждает корректность удельного подхода к оценке достаточности надземных площадок [29, 30]. Подобная трактовка закреплена и в муниципальных рекомендациях: в руководствах города Ванкувера прямо обсуждаются кровельные игровые пространства как способ обеспечить открытые зоны на плотных участках при повышенных требованиях к ветровым, конструктивным и защитным решениям [31–33].

Заключение

Эксплуатируемая крыша встроенной или встроенно-пристроенной дошкольной организа-

ции может быть интерпретирована как надземная форма территориально-строительного ресурса при условии, что она обеспечивает функциональную достаточность прогулочных зон и удовлетворяет строительным и пожарным требованиям. Показано, что нормативы градостроительного проектирования Москвы фиксируют удельную площадь участка $20 \text{ м}^2/\text{место}$ для встроенных ДОО, тогда как исторические санитарные рекомендации связывали минимальный функциональный уровень прогулочной территории с площадями групповых площадок $7\text{--}9 \text{ м}^2/\text{ребенка}$; это различие требует введения коэффициентов интерпретации при переносе прогулочных функций на крышу [1, 2]. Введен переходный коэффициент $k_{п}$, позволяющий переходить от геометрической площади крыши к полезной площади прогулочных зон; по результатам сопоставления реализованных объектов ориентировочно $k_{п}$ близок к 0,65, при этом в каждом проекте он уточняется по планировочным решениям. Предложены коэффициент территориальной компенсации K_{ter} и коэффициент функциональной обеспеченности K_{igr} , позволяющие в измеримом виде сопоставлять площадь крыши с нормативными уровнями и выявлять характер решения (полная замена или добавочное расширение прогулочной территории). Анализ реализованных объектов показал, что зарубежные примеры чаще достигают значений K_{igr} , близких к единице и выше, тогда как отечественные проекты в выборке преимущественно используют крышу как дополнительную прогулочную зону, не претендуя на полную замену наземной территории. Расчетный эксперимент для Москвы выявил положительный экономический эффект сценария «встроенная ДОО + эксплуатируемая крыша» при типичных параметрах плотности и рыночных цен, а также дал границу окупаемости по цене реализации жилья, что подтверждает гипотезу о целесообразности рассматриваемых решений в плотной застройке [15, 16]. Полученные результаты могут быть использованы при подготовке материалов обоснования проектных решений и при развитии локальных нормативов, регламентирующих учет надземных территорий ДОО в составе территориального баланса.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Об утверждении нормативов градостроительного проектирования города Москвы... : Постановление Правительства Москвы от 23.12.2015 № 2151-ПП (ред. действ.). URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293764/4293764878.htm> (дата обращения: 02.03.2026).
2. СанПиН 2.4.1.3049–13. Санитарно-эпидемиологические требования к устройству, содержанию и организации режима работы дошкольных образовательных организаций (утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 15.05.2013 № 26). URL: <https://docs.cntd.ru/document/499026621> (дата обращения: 02.03.2026).

3. СП 252.1325800.2016. Здания дошкольных образовательных организаций. Правила проектирования (с изменениями). URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293749/4293749457.pdf> (дата обращения: 02.03.2026).
4. СП 2.4.3648–20. Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи (утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.09.2020 № 28). URL: <https://docs.cntd.ru/document/566085656> (дата обращения: 02.03.2026).
5. Вечерняя Москва. В жилом комплексе на улице Виктора Маслова появится детский сад с площадкой на крыше (о ДОО в составе ЖК FØRST). 2024. URL: <https://vm.ru/news/1197397-v-zhilom-komplekse-na-ulice-viktora-maslova-poyavitsya-detskij-sad-s-ploshadkoj-na-kryshe> (дата обращения: 02.03.2026).
6. Архсовет Москвы. Детский сад с площадкой на крыше в составе ЖК FØRST (описание проекта, параметры): 2024. URL: <https://archsovet.msk.ru/article/obzor-proekta/detskij-sad-s-ploshchadkoj-na-kryshe-v-sostave-zhk-f%C3%98rst> (дата обращения: 02.03.2026).
7. РИА Недвижимость. Детсад со спортивной и прогулочной зонами на крыше построят в Новой Москве (ЖК «Изумрудный город», Прокшино). 2024. URL: <https://realty.ria.ru/20240221/detsad-1928651197.html> (дата обращения: 02.03.2026).
8. City of Sydney. Development Application Assessment: 37 Reservoir Street, Surry Hills (rooftop outdoor space 258 m², terrace 27 m², 38 children). URL: <https://cdn.cityofsydney.nsw.gov.au/publications/da-assessments/37-reservoir-street-surry-hills.pdf> (дата обращения: 02.03.2026).
9. Development Victoria. Harbour Family and Children's Centre (описание объекта, площадь кровельного ландшафта 1150 m², 150 детей). URL: <https://developmentvictoria.vic.gov.au/project/harbour-family-and-childrens-centre> (дата обращения: 02.03.2026).
10. Architecture AU. Harbour Family and Children's Centre, Docklands (описание, параметры объекта). URL: <https://architectureau.com/articles/harbour-family-and-childrens-centre/> (дата обращения: 02.03.2026).
11. Fast+Epp. Gastown Child Care Centre (outdoor play spaces 11,000 sq ft; 74 spaces). URL: <https://www.fastandep.com/project/gastown-child-care-centre/> (дата обращения: 02.03.2026).
12. Canadian Architect. Gastown Child Care Centre/Architrix Studio (описание проекта). URL: <https://www.canadianarchitect.com/gastown-child-care-centre-architrix-studio/> (дата обращения: 02.03.2026).
13. ТехноНИКОЛЬ. Система плоской крыши ТН-КРОВЛЯ Инверс: ориентировочная сметная стоимость материалов (руб/м²). URL: <https://nav.tn.ru/systems/ploskaya-krysha/tn-krovlya-invers/> (дата обращения: 02.03.2026).
14. Кровли.рф. Сколько стоит эксплуатируемая крыша (оценка диапазона 12 000–60 000 руб/м²). URL: <https://xn--b1afkqqn.xn--p1ai/skolko-stoit-ekspluatiruemaya-krovlya> (дата обращения: 02.03.2026).
15. ЕРЗ.РФ. В 2025 году себестоимость строительства 1 кв. м жилья в столицах... (данные ДОМ.РФ о себестоимости в Москве 155,1 тыс. руб/м²). 2025. URL: <https://erzrf.ru/news/v-2025-godu-sebestoimost-stroitelstva-1-kv-m-zhilya-v-stolitsakh-i-primorye-prodolzhila-rost-a-na-severnom-kavkaze--snizilas> (дата обращения: 02.03.2026).
16. РБК Недвижимость. Жилье в новостройках Москвы в феврале подешевело... (средняя стоимость 1 м² в новостройках Москвы). 2026. URL: <https://realty.rbc.ru/news/6952f5639a7947333661ae5f> (дата обращения: 02.03.2026).
17. СП 59.13330.2020. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001. М. : Минстрой России, 2020.
18. *Lehnert M. et al.* The effects of surfaces and shading on thermal exposure in playgrounds // *Sustainable Cities and Society*. 2024. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212095524000695> (дата обращения: 02.03.2026).
19. *Mesimäki M., Hauru K., Kotze D.J.* Do small green roofs have the possibility to offer a moment of respite in the middle of urban everyday hassle? // *Urban Forestry & Urban Greening*. 2019. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866718301729> (дата обращения: 02.03.2026).
20. *Brussoni M. et al.* Risky Play and Children's Safety: Balancing Priorities for Optimal Child Development // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2012. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3499858/> (дата обращения: 02.03.2026).
21. *Ramsden R. et al.* Children's outdoor play at early learning and child care centres: examining the impact of environmental play features on children's play behaviour // *PLOS ONE*. 2025. URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0318538> (дата обращения: 02.03.2026).
22. СП 17.13330.2017. Кровли. Актуализированная редакция СНиП II-26-76. М. : Минстрой России, 2017.
23. СП 1.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы. М. : МЧС России, 2020.

24. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ.
25. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ.
26. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85*. М. : Минстрой России, 2016.
27. ГОСТ Р 52169–2012. Оборудование и покрытия детских игровых площадок. Безопасность конструкции и методы испытаний. М. : Стандартинформ, 2013.
28. ГОСТ 27751–2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. М. : Стандартинформ, 2015.
29. ACECQA. Quality Area 3: Physical environment. Minimum outdoor space calculations (Regulation 108: 7 m² per child). URL: <https://www.acecqa.gov.au/national-quality-framework/guide-nqf/section-4-operational-requirements/quality-area-3-physical-environment> (дата обращения: 02.03.2026).
30. AustLII. Education and Care Services National Regulations (Regulation 108: 7 square metres of unencumbered outdoor space per child). URL: https://classic.austlii.edu.au/au/legis/qld/consol_reg/eacsnr422/s108.html (дата обращения: 02.03.2026).
31. City of Vancouver. Childcare Design Guidelines (раздел Rooftop Play Spaces). PDF. URL: <https://guidelines.vancouver.ca/guidelines-childcare-design.pdf> (дата обращения: 02.03.2026).
32. Government of British Columbia. ChildcareBC Design Guidelines (состав проектной документации и требования к наружным пространствам). PDF. URL: https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/family-and-social-supports/child-care/info-partners-prov/childcarebc_design_guidelines.pdf (дата обращения: 02.03.2026).
33. City of Vancouver. Childcare Technical Guidelines (технические требования к ограждениям, зазорам и безопасным решениям для наружных пространств). PDF. URL: <https://guidelines.vancouver.ca/guidelines-technical-childcare.pdf> (дата обращения: 02.03.2026).
34. Westcoast Child Care Resource Centre, UBC SALA. Making outdoor play spaces places: The 7Cs (о влиянии плотности и рекомендуемых соотношениях площади наружного пространства). PDF. URL: <https://sala.ubc.ca/wp-content/uploads/documents/7Cs.pdf> (дата обращения: 02.03.2026).
35. Официальный сайт жилого комплекса FØRST (ЖК FØRST). Изображения и сведения о проекте. URL: <https://zhk-forst.ru/> (дата обращения: 04.03.2026).
36. Комплекс градостроительной политики и строительства Москвы. В ЖК «Прокшино» начали строить детский сад на 220 мест (фотоматериалы). URL: <https://stroimsk.ru/news/v-zhk-prokshino-nachali-stroit-dietskii-sad-na-220-miest> (дата обращения: 07.03.2026).
37. Conway + Wise. Surry Hills Rooftop (фотоматериалы). URL: https://www.conwaywise.com.au/surry_hills_rooftop (дата обращения: 07.03.2026).
38. Landezine. Harbour Family & Children's Centre (планировочные и фотоматериалы). URL: https://landezine.com/wp-content/uploads/2013/01/HabourFCC_HASSELL_Plan_01-300x300.jpg (дата обращения: 04.03.2026).

Об авторах: **Наталья Владимировна Бакаева** — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры градостроительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; e-mail: natbak@mail.ru;

Ион Спиридонович Когутяк — аспирант кафедры градостроительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; e-mail: official.i.s@yandex.ru.

REFERENCES

1. On Approval of the Urban Planning Standards of the City of Moscow... : Government of Moscow Decree No. 2151-PP dated 23 December 2015 (current version). URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293764/4293764878.htm> (accessed: 02.03.2026). (rus.).
2. SanPiN 2.4.1.3049–13. Sanitary and Epidemiological Requirements for the Arrangement, Maintenance and Organization of the Operating Regime of Preschool Educational Organizations (approved by Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation No. 26 dated 15 May 2013). URL: <https://docs.cntd.ru/document/499026621> (accessed: 02.03.2026). (rus.).
3. SP 252.1325800.2016. Buildings of Preschool Educational Organizations. Design Rules (as amended). URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293749/4293749457.pdf> (accessed: 02.03.2026). (rus.).

4. SP 2.4.3648–20. Sanitary and Epidemiological Requirements for Organizations of Education and Training, Recreation and Rehabilitation of Children and Youth (approved by Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation No. 28 dated 28 September 2020). URL: <https://docs.cntd.ru/document/566085656> (accessed: 02.03.2026). (rus.).
5. Vechernyaya Moskva. A kindergarten with a rooftop playground will appear in the residential complex on Viktora Maslova Street. 2024. URL: <https://vm.ru/news/1197397-v-zhilom-komplekse-na-ulice-viktora-maslova-poyavitsya-detskij-sad-s-ploshadkoj-na-kryshe> (accessed: 02.03.2026). (rus.).
6. Arkhsovet Moskvy. A kindergarten with a rooftop playground in the FØRST residential complex. 2024. URL: <https://archsovet.msk.ru/article/obzor-proekta/detskij-sad-s-ploshchadkoj-na-kryshe-v-sostave-zhk-f%C3%98rst> (accessed: 02.03.2026). (rus.).
7. RIA Nedvizhimost'. A kindergarten with rooftop sports and outdoor play areas will be built in New Moscow (Izumrudnyi Gorod residential complex, Prokshino). 2024. URL: <https://realty.ria.ru/20240221/detsad-1928651197.html> (accessed: 02.03.2026). (rus.).
8. City of Sydney. Development Application Assessment: 37 Reservoir Street, Surry Hills (rooftop outdoor space 258 m², terrace 27 m², 38 children). PDF. URL: <https://cdn.cityofsydney.nsw.gov.au/publications/da-assessments/37-reservoir-street-surry-hills.pdf> (accessed: 02.03.2026).
9. Development Victoria. Harbour Family and Children's Centre (project description; roof landscape area 1,150 m²; 150 children). URL: <https://developmentvictoria.vic.gov.au/project/harbour-family-and-childrens-centre> (accessed: 02.03.2026).
10. Architecture AU. Harbour Family and Children's Centre, Docklands (project description and parameters). URL: <https://architectureau.com/articles/harbour-family-and-childrens-centre/> (accessed: 02.03.2026).
11. Fast + Epp. Gastown Child Care Centre (outdoor play spaces 11,000 sq ft; 74 spaces). URL: <https://www.fastandep.com/project/gastown-child-care-centre/> (accessed: 02.03.2026).
12. Canadian Architect. Gastown Child Care Centre/Architrix Studio (project description). URL: <https://www.canadianarchitect.com/gastown-child-care-centre-architrix-studio/> (accessed: 02.03.2026).
13. TECHNINICOL. TN-KROVLYA Invers flat roof system: estimated material cost (RUB/m²). URL: <https://nav.tn.ru/systems/ploskaya-krysha/tn-krovlya-invers/> (accessed: 02.03.2026). (rus.).
14. Krovli.rf. How much does an accessible roof cost? URL: <https://xn--b1afkqgn.xn--p1ai/skolko-stoit-ekspluatiruemaya-krovlya> (accessed: 02.03.2026). (rus.).
15. ERZ.RF. In 2025, the construction cost of 1 sq m of housing in capital cities... 2025. URL: <https://erzrf.ru/news/v-2025-godu-sebestoimost-stroitelstva-1-kv-m-zhilya-v-stolitsakh-i-primorye-prodolzhila-rost-a-na-severnom-kavkaze--snizilas> (accessed: 02.03.2026). (rus.).
16. RBK Nedvizhimost'. Housing in Moscow new buildings became cheaper in February... 2026. URL: <https://realty.rbc.ru/news/6952f5639a7947333661ae5f> (accessed: 02.03.2026). (rus.).
17. SP 59.13330.2020. Accessibility of Buildings and Structures for Persons with Reduced Mobility. Updated edition of SNiP 35-01–2001. Moscow, Ministry of Construction of Russia, 2020. (rus.).
18. Lehnert M. et al. The effects of surfaces and shading on thermal exposure in playgrounds. *Sustainable Cities and Society*. 2024. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212095524000695> (accessed: 02.03.2026).
19. Mesimäki M., Hauru K., Kotze D.J. Do small green roofs have the possibility to offer a moment of respite in the middle of urban everyday hassle? *Urban Forestry & Urban Greening*. 2019. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866718301729> (accessed: 02.03.2026).
20. Brussoni M. et al. Risky Play and Children's Safety: Balancing Priorities for Optimal Child Development. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2012. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3499858/> (accessed: 02.03.2026).
21. Ramsden R. et al. Children's outdoor play at early learning and child care centres: examining the impact of environmental play features on children's play behaviour. *PLOS ONE*. 2025. URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0318538> (accessed: 02.03.2026).
22. SP 17.13330.2017. Roofs. Updated edition of SNiP II-26–76. Moscow, Ministry of Construction of Russia, 2017. (rus.).
23. SP 1.13130.2020. Fire Protection Systems. Evacuation Routes and Exits. Moscow, EMERCOM of Russia, 2020. (rus.).
24. Technical Regulations on Fire Safety Requirements : Federal Law No. 123-FZ dated 22 July 2008. (rus.).
25. Technical Regulations on the Safety of Buildings and Structures : Federal Law No. 384-FZ dated 30 December 2009. (rus.).
26. SP 20.13330.2016. Loads and Actions. Updated edition of SNiP 2.01.07–85*. Moscow, Ministry of Construction of Russia, 2016. (rus.).

27. GOST R 52169–2012. Equipment and Surfacing of Children’s Playgrounds. Structural Safety and Test Methods. Moscow, Standartinform, 2013. (rus.).
28. GOST 27751–2014. Reliability of Building Structures and Foundations. Basic Provisions. Moscow, Standartinform, 2015. (rus.).
29. ACECQA. Quality Area 3: Physical Environment. Minimum outdoor space calculations (Regulation 108: 7 m² per child). URL: <https://www.acecqa.gov.au/national-quality-framework/guide-nqf/section-4-operational-requirements/quality-area-3-physical-environment> (accessed: 02.03.2026).
30. AustLII. Education and Care Services National Regulations (Regulation 108: 7 square metres of unencumbered outdoor space per child). URL: https://classic.austlii.edu.au/au/legis/qld/consol_reg/eacsnr422/s108.html (accessed: 02.03.2026).
31. City of Vancouver. Childcare Design Guidelines (section “Rooftop Play Spaces”). PDF. URL: <https://guidelines.vancouver.ca/guidelines-childcare-design.pdf> (accessed: 02.03.2026).
32. Government of British Columbia. ChildcareBC Design Guidelines (project documentation requirements and requirements for outdoor spaces). PDF. URL: https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/family-and-social-supports/child-care/info-partners-prov/childcarebc_design_guidelines.pdf (accessed: 02.03.2026).
33. City of Vancouver. Childcare Technical Guidelines (technical requirements for fences, clearances and safe solutions for outdoor spaces). PDF. URL: <https://guidelines.vancouver.ca/guidelines-technical-childcare.pdf> (accessed: 02.03.2026).
34. Westcoast Child Care Resource Centre, UBC SALA. Making Outdoor Play Spaces Places: The 7Cs (on the effects of density and recommended outdoor space ratios). PDF. URL: <https://sala.ubc.ca/wp-content/uploads/documents/7Cs.pdf> (accessed: 02.03.2026).
35. FØRST Residential Complex. Official website: images and project information. URL: <https://zhk-forst.ru/> (accessed: 04.03.2026).
36. Moscow Urban Planning Policy and Construction Complex. Construction of a 220-place kindergarten has begun in the Prokshino residential complex. URL: <https://stroimsk.ru/news/v-zhk-prokshino-nachali-stroit-dietskii-sad-na-220-miest> (accessed: 07.03.2026). (rus.).
37. Conway + Wise. Surry Hills Rooftop (photo materials). URL: https://www.conwaywise.com.au/surry_hills_rooftop (accessed: 07.03.2026).
38. Landezine. Harbour Family & Children’s Centre (plan and photo materials). URL: https://landezine.com/wp-content/uploads/2013/01/HabourFCC_HASSELL_Plan_01-300x300.jpg (accessed: 04.03.2026).

About the authors: **Natalia V. Bakaeva** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Urban Planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: natbak@mail.ru;

Ion S. Kogutyak — Postgraduate Student of the Department of Urban Planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: official.i.s@yandex.ru.

Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2026. № 1. С. 62–70.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 628.19

DOI: 10.22227/2311-1518.2026.1.62-70

АНТРОПОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Юрий Леонидович Сколубович¹, Александр Иванович Кармалов²,
Анна Александровна Цыба¹

¹ Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин);
г. Новосибирск, Российская Федерация;

² ООО «Томскгидропроект», г. Томск, Российская Федерация

Статья посвящена анализу воздействия антропогенных факторов на качество воды из подземных источников водоснабжения. Рост населения, расширение промышленного и сельскохозяйственного производства, а также неправильное обращение с отходами приводят к проникновению различных загрязнителей в водоносные горизонты. Эти процессы создают серьезные экологические и санитарные проблемы, поскольку загрязненные воды могут оказывать негативное влияние на здоровье населения, вызывать ухудшение состояния окружающей среды и деградацию природных ресурсов, что в долгосрочной перспективе затрудняет использование подземных вод как безопасного источника питьевой воды. В статье рассмотрены основные источники антропогенного загрязнения водоносных горизонтов и характерные загрязняющие вещества, вызывающие изменения химического, микробиологического состава подземных вод, что приводит к формированию осадков на технологическом оборудовании. В ходе анализа микробиологического состава было выявлено большое разнообразие микроорганизмов, которые могут оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на качество воды и состояние оборудования, усиливая коррозионную активность. В результате можно сделать вывод, что антропогенное загрязнение подземных источников водоснабжения ведет не только к ухудшению качества воды, делая ее непригодной для питья, но и увеличивает износ оборудования систем. Важными мерами профилактики являются наличие зоны санитарной охраны (ЗСО) вокруг водозаборных сооружений, своевременное техническое обслуживание оборудования, а также системы водоподготовки и обеззараживания, обеспечивающие безопасность и качество подземных вод.

Ключевые слова: подземные источники водоснабжения, антропогенное загрязнение, качество воды, экология, микробиологический состав подземных вод, коррозия

Для цитирования: Сколубович Ю.Л., Кармалов А.И., Цыба А.А. Антропогенное загрязнение подземных источников водоснабжения: проблемы и решения // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2026. № 1. С. 62–70. DOI: 10.22227/2311-1518.2026.1.62-70

ANTHROPOGENIC CONTAMINATION OF UNDERGROUND WATER SOURCES: PROBLEMS AND SOLUTIONS

Yuri L. Skolubovich¹, Alexander I. Karmalov², Anna A. Tsyba¹

¹ Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin); Novosibirsk, Russian Federation;

² LLC Tomskgidroproekt; Tomsk, Russian Federation

Article is dedicated to analyzing the impact of anthropogenic factors on the quality of water from underground water sources. Population growth, expansion of industrial and agricultural production, as well as improper waste management, lead to the infiltration of various pollutants into aquifers. These processes create serious ecological and sanitary problems, as contaminated water can negatively affect public health, cause environmental degradation, and lead to the deterioration of natural resources. In the long term, this complicates the use of underground water as a safe drinking water source. The article reviews the main sources of anthropogenic contamination of aquifers and the characteristic pollutants that cause changes in the chemical and microbiological composition of groundwater, as well as the formation of deposits on technological equipment. During the analysis of the microbiological composition, a wide diversity of microorganisms was identified, which can have both positive and negative impacts on water quality and equipment condition, often increasing corrosion activity. As a result, it can be concluded that anthropogenic pollution of underground water sources not only degrades water quality, making it unsuitable for drinking, but also accelerates the wear and tear of system equipment. Key preventive measures include establishing a sanitary protection zone (SPZ) around water intake facilities, timely maintenance of equipment, as well as water treatment and disinfection systems to ensure the safety and quality of underground water.

Keywords: underground water sources, anthropogenic pollution, water quality, ecology, microbiological composition of groundwater, corrosion

For citation: Skolubovich Yu.L., Karmalov A.I., Tsyba A.A. *Anthropogenic Contamination of Underground Water Sources: Problems and Solutions. Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology.* 2026; 1:62-70. DOI: 10.22227/2311-1518.2026.1.62-70 (rus.).

Для жизнедеятельности как человека, так и животных, растений и насекомых необходима вода. Она является основой поддержания здоровья, роста и развития всех живых организмов, поэтому ухудшение ее качества — это не только экологическая проблема, но и угроза для здоровья населения и биоразнообразия.

Для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения используют как поверхностные, так и подземные источники. В России доля подземных вод в хозяйственно-питьевом водопользовании составляет около 47 %. Более 60 % городов и поселков обеспечиваются питьевой водой за счет использования подземных источников, а в сельской местности этот показатель достигает 80–85 % [1, 2]. Подземные воды зачастую являются единственным надежным источником питьевой воды для населения, поскольку они хорошо защищены от поверхностного загрязнения слабопроницаемыми глинистыми слоями. В естественных условиях гидрохимический состав подземных вод определяется природными закономерностями их формирования и с течением времени в регионе практически не меняется [3].

Тем не менее воздействие антропогенных факторов привело к загрязнению подземных вод. Особенно уязвимы грунтовые и напорные воды верхних горизонтов водоносных пластов, которые находятся в тесной гидравлической связи с поверхностными водами. Загрязнение происходит при фильтрации вредных веществ с поверхности. Источниками загрязнения могут служить предприятия жилищно-коммунального хозяйства, промышленность, агропромышленный комплекс и другие. Особенно опасны объекты, связанные с добычей и переработкой нефти, где аварийные разливы и утечки нефти и нефтепродуктов в процессе добычи, транспортировки, переработки и хранения приводят к загрязнению подземных вод.

Одним из значительных источников загрязнения является диффузный сток с сельскохозяйственных угодий, ферм, складов отходов и удобрений, промышленных площадок, транспортной инфраструктуры и застроенных территорий. Неорганизованный сток с сельскохозяйственных угодий способствует загрязнению водоносных горизонтов соединениями азота и пестицидами. Стоки с сельскохозяйственных угодий, пастбищ и животноводческих ферм существенно влияют на содержание в водных объектах биогенных веществ, органических соединений и пестицидов.

По данным исследований, в России зафиксировано около 6 тысяч участков техногенного загрязнения подземных вод, преимущественно в При-

волжском, Сибирском и Центральном федеральных округах [4]. Большинство участков с опасностью классом «чрезвычайно опасный» выявлены в районах расположения крупных промышленных предприятий и транспортных узлов.

В результате подземные воды содержат разнообразные органические и неорганические загрязнители. Среди них — тяжелые металлы (ртуть, медь, мышьяк, никель, свинец, цинк, хром), ароматические и токсичные вещества, а также другие вредные соединения. Биологическое загрязнение, вызываемое микроорганизмами при попадании в воду хозяйственно-бытовых стоков, отходов выгребных ям и скотомогильников, представляет серьезную угрозу для здоровья населения [3, 5, 6]. Не меньшую опасность для качества подземных вод представляет тепловое загрязнение, связанное со сбросом горячих технологических сточных вод.

Параллельно, за счет увеличения водонепроницаемых площадей, таких как дороги, тротуары и здания, происходит значительное снижение естественного проникновения воды в грунт. Это приводит к снижению уровня естественной фильтрации и восполнения подземных источников, что усугубляет проблему дефицита воды и ухудшает ее качество.

Антропогенное загрязнение подземных источников водоснабжения может иметь следующие негативные последствия:

- загрязнения приводят к дефициту пресной воды. Спрос на воду может превысить предложение, согласно прогнозам ученых, к 2030 г. нехватка пресной воды может достичь 40 % от мирового потребления [7]. Это означает, что потребность в воде будет значительно превышать ее доступность, что создаст критическую ситуацию для населения и экономики;
- попадание органики, удобрений, химических веществ, моющих средств и других загрязнителей в подземные воды вызывает ухудшение их качества и приводит к выходу из строя водозаборных сооружений;
- ухудшение качества питьевой воды негативно сказывается на здоровье человека и животных, вызывая различные заболевания и ухудшая общее состояние населения;
- загрязненная вода представляет риск для здоровья: она связана с респираторными заболеваниями, раком, диареей, неврологическими и сердечно-сосудистыми расстройствами. Особенно опасны азотсодержащие химикаты, являющиеся причиной онкологических заболеваний.

Исходя из вышеперечисленного, можно сделать вывод, что большинство населенных пунктов вынуж-

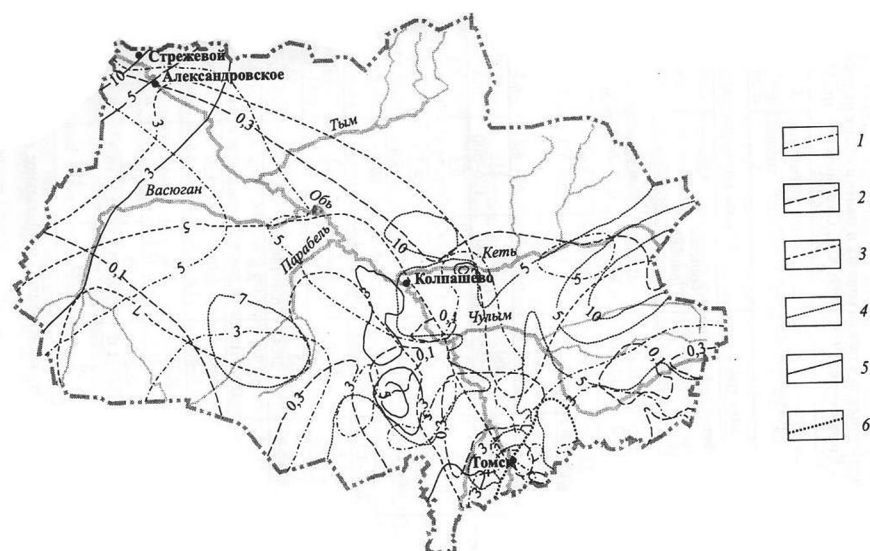


Рис. 1. Распределение компонентов химического состава подземных вод палеогеновых и палеозойских отложений: 1–5 изолинии содержания в подземных водах, мг/л: 1 — железа общего; 2 — марганца; 3 — солей жесткости; 4 — окисляемости; 5 — аммония; 6 — граница выступа палеозойского фундамента

ждено использовать для своих потребностей неочищенную воду, которая не соответствует требованиям СанПиН 2.1.3685–21 и СанПиН 2.1.3684–21. В связи с этим особенно актуальными являются задачи изучения условий формирования и сохранения качества питьевых подземных вод. Одним из способов предотвращения загрязнения воды является создание зоны санитарной охраны вокруг водозаборных сооружений. Также важным аспектом является соблюдение правил обслуживания водоподъемного оборудования, что помогает избежать загрязнения скважины во время ее ремонта или замены. Для безопасного использования подземных вод в питьевых целях обязательно необходимо проводить водоподготовительные мероприятия. Обеспечение чистой питьевой водой — важное условие устойчивого развития городов и регионов, которое отвечает потребностям людей, способствует повышению качества их жизни и здоровья [8].

Подземные воды Томской области, являющиеся основным источником централизованного водоснабжения, не соответствуют гигиеническим нормативам, поскольку в них наблюдаются повышенные концентрации железа (3,3–8,7 мг/л при допустимой норме 0,3 мг/л) и марганца (0,11,3–0,44 мг/л при допустимой норме 0,1 мг/л). Также в некоторых случаях отмечается повышенное содержание аммиака, кремния, а по обобщенным и органолептическим показателям — повышенная жесткость, перманганатная окисляемость, цветность и мутность [9]. Эти особенности связаны с природными условиями региона и являются характерной чертой местных вод (рис. 1). Такие показатели требуют особого внимания при использовании подземных вод, поскольку повышенные уровни железа и марганца могут негативно сказываться на качестве воды и здоровье населения. По составу водорастворенные газы, в основном, азотные. Насыщенность водо-

Таблица 1. Сравнительный состав водорастворенных газов подземных вод

Объем газа/ глубина зале- гания	O ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄	O ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄
	об. %/л				мл/л			
Обь-Томское междуречье и правобережье р. Томи								
Водоносный горизонт четвертичных отложений								
30–45	3–13	63–82	7–22	1–12	1,3–3,9	21–33	2–10	0,4–5,4
Водоносный комплекс палеогеновых отложений								
30–70	2–12	60–78	3–13	3–44	0,6–4,9	21–40	1–9,5	4–16
Водоносный комплекс меловых отложений								
30–78	1–5	40–92	1–13	7–41	0,3–3,5	15–30	0,3–5,2	2–24,6
Северский водозабор (палеогеновый комплекс)								
16–38	3–17	69–90	2–9	0,2–21	0,5–6,4	13–29	0,5–1,6	0,03–4

носных отложений палеогена органическими веществами, имеющими как природное, так и антропогенное происхождение, способствует образованию метана в подземных водах в повышенных количествах на отдельных участках. В таких районах воды приобретают метаново-азотный состав (табл. 1), что было установлено на отдельных участках в долине реки Томи на ее левом берегу.

В условиях застойного режима в водоводах и скважинах, например, при остановках работы, перекрытии задвижек и других технологических операциях, процессы метанообразования значительно усиливаются. Микробная деятельность в таких условиях может оказывать негативное влияние на состояние инженерных сооружений водозабора: способствовать дополнительному накоплению метана и создавать активную коррозионную среду [10].

В настоящее время в Томской области отмечается тенденция к уменьшению доли питьевой воды, несоответствующей гигиеническим нормативам по санитарно-химическим и микробиологическим показателям. Согласно анализу санитарно-эпидемиологического состояния объектов централизованного водоснабжения [9], в 2023 г. из общего числа эксплуатируемых водопроводов в области 74,3 % не соответствовали санитарным требованиям из-за отсутствия необходимого комплекса сооружений водоподготовки.

Одновременно наблюдается проблема микробиологического загрязнения подземных вод, обусловленная интенсивной техногенной нагрузкой. В Томской области [11] большинство объектов хозяйственно-питьевого водоснабжения расположены вблизи промышленных и хозяйственных предприятий, которые являются потенциальными источниками загрязнения подземных вод. Среди них — химические производства, теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), заводы по разделению изотопов, предприятия сублимационной и ремонтно-механической направленности, тепличные хозяйства промышленного масштаба, золоотвалы и другие объекты. Вблизи таких промышленных и хозяйственных объектов в подземных водах могут присутствовать бактериальные загрязнения, включающие разнообразные физиологические группы микроорганизмов, что ведет к деструкции минеральных и органических веществ и участвует в биогеохимических циклах углерода, азота, серы.

Микробиологические загрязнения могут проникать в подземные воды в результате загрязнения поверхностными сточными водами с территории промышленных предприятий, сельскохозяйственных угодий и зон складирования отходов. Кроме того, утечки из хвостохранилищ, отстойников и золоотвалов вносят не только токсичные вещества, но и питательные субстраты для микроорганизмов.

Наибольшую опасность для водозаборных сооружений представляют уробактерии, аммонифицирующие микроорганизмы, нитрифицирующие бактерии, денитрифицирующие бактерии, сульфатредуцирующие бактерии, нефтеокисляющие бактерии, а также железоокисляющие и железовосстанавливающие бактерии.

Размножение уробактерий в водопроводных системах, использующих воду из подземных источников, может происходить из-за проникновения поверхностных вод, содержащих карбамид, мочевины и органические остатки из сточных вод тепличных хозяйств, сельскохозяйственных угодий и других источников загрязнения. Эти бактерии, а также аммонифицирующие микроорганизмы, разлагая растворенную органику, образуют в воде источники аммиака. Аммиак является питательной средой для нитрифицирующих бактерий, что способствует их активному развитию и увеличению микробиологического загрязнения системы. В результате такие процессы приводят к ухудшению качества питьевой воды: превышению нормативных показателей по аммиаку, нитритам и нитратам, появлению неприятного запаха и привкуса, повышению цветности и мутности. Также происходит засорение фильтрующих элементов из-за накопления бактериальной биомассы, снижение пропускной способности трубопроводов из-за образования биопленок и усиливаются процессы коррозии.

Нитрифицирующие микроорганизмы в подземных водах появляются при поступлении азотсодержащих соединений (аммиак, аммоний из сточных вод, сельскохозяйственных стоков или разложения органики) и в аэробных условиях (при наличии кислорода). В аэробной среде эти бактерии инициируют процесс нитрификации: сначала превращают аммиак в нитриты, а затем окисляют нитриты до нитратов. Однако в условиях дефицита кислорода эти бактерии, а также другие микроорганизмы, такие как денитрифицирующие, начинают усиленно размножаться, что способствует развитию анаэробных процессов и может привести к электрохимической коррозии металлов в инфраструктуре водозабора.

Полное отсутствие кислорода (глубокие водонесные горизонты, в застойных зонах трубопроводов, а также в йодсодержащих средах), наличие сульфатов и органических кислот приводит к развитию сульфатредуцирующих бактерий. Они используют простые органические кислоты, образующиеся в результате разложения органики аэробными микроорганизмами, для окисления сульфатов, что приводит к образованию сероводорода. Это ухудшает качество воды, вызывает запах тухлых яиц, образует черные отложения на стенках труб и способствует точечной и щелевой коррозии, разру-

шению сварных швов, ускоряет износ труб, насосов и другого оборудования. Кроме того, сероводород ускоряет коррозию бетона и может способствовать образованию токсичных соединений, таких как метилртуть.

Нефтеокисляющие бактерии попадают в подземные воды через различные источники загрязнения, такие как утечки нефти и нефтепродуктов из аварийных или неправильно эксплуатируемых нефтепроводов, резервуаров и хранилищ. Кроме того, они могут проникать через сбросы промышленных предприятий, содержащие отходы, богатые нефтепродуктами, а также поверхностные сточные воды, загрязненные нефтепродуктами, которые фильтруются и просачиваются в грунт. Эти микроорганизмы разлагают нефть и ее производные, потребляя кислород и выделяя органические кислоты и углекислый газ. Они также способствуют образованию биопленок на поверхностях грунтов, что снижает проницаемость водоносных пластов. В результате ухудшается качество воды (появляются неприятные запахи и привкусы), усиливаются коррозионные процессы, снижается пропускная способность и эффективность водоочистки из-за повышенного содержания органических веществ и взвешенных частиц [12–14].

Материалы и методы

Исследования воздействия антропогенных факторов на качество подземных вод в водозаборных сооружениях Томской области проводились в период максимальной интенсивности техногенного загрязнения, когда в зоне санитарной охраны водозаборов располагалось множество промышленных объектов. Основным методом работы стали комплексные полевые и лабораторные исследования, включающие мониторинг состояния эксплуатационных скважин и наблюдательной сети в районах влияния Томского и Северского водозаборов.

На начальном этапе была составлена подробная карта текущего состояния водозаборных сооружений, на которой отображено расположение и характеристики всех эксплуатационных скважин, а также элементов системы мониторинга. В ходе многолетних режимных наблюдений были выявлены значительные изменения в естественной структуре фильтрационных потоков подземных вод, связанных с формированием депрессионных поверхностей.

Особое внимание было уделено изучению микробиологического состава подземных вод. В ходе работ был проведен количественный анализ различных физиологических групп микроорганизмов, что позволило выполнить комплексную экологическую оценку состояния подземного водоносного горизонта. Оценка экологического состояния проводилась согласно нормативам микробиологической лаборатории с учетом взаимосвязи микробиологического и химического состава воды.

Результаты

Результаты микробиологического анализа подземных вод представлены в табл. 2. Полученные данные свидетельствуют о наличии микроорганизмов, осуществляющих в аэробных и анаэробных условиях деструкцию минеральных и органических веществ и участвующих в биогеохимических циклах углерода, азота, серы. Очевидно, что причиной такой ситуации является наличие в охранной зоне водозабора разнообразных промышленных и хозяйственных объектов.

Микрофлора, присутствующая в подземных водах, негативно влияет на все компоненты водозаборных сооружений, повышая коррозионную активность воды. Повреждения, вызванные микроорганизмами, проявляются на металлических поверхностях в виде глубоких коррозионных отверстий и лагун (рис. 2).

Таблица 2. Результаты микробиологического анализа воды

Бактерии, кл/мл	Фоновое	Гидротехнические сооружения					Разрушают
		До фильтра	После фильтра	Скважина № 6	Скважина № 8	Скважина № 14	
Гетеротрофы	< 1500	145	10	590	330	580	Белоксодержащую органику до CO ₂ и NH ₃
Нефтеокисляющие	< 1300	0	0	0	75	0	Нефть до CO ₂
Уробактерии	< 350	0	0	0	1300	1700	Мочевину до NH ₃
Аммонифицирующие	< 500	0	0	0	5000	4000	Органику до NH ₃
Нитрифицирующие	–	1	1	1	1	1	Окисляют аммиак до NO ₂ и NO ₃
Денитрифицирующие	< 5 00	1	1	10	1 000 000	100 000	Нитраты до NO ₂ , N ₂ и NO ₃
Сульфатредуцирующие	< 300	0	0	10	1	100	Органику до уксусной кислоты, а сульфаты до H ₂ S



Рис. 2. Коррозионные повреждения водоподъемных и фильтровых труб

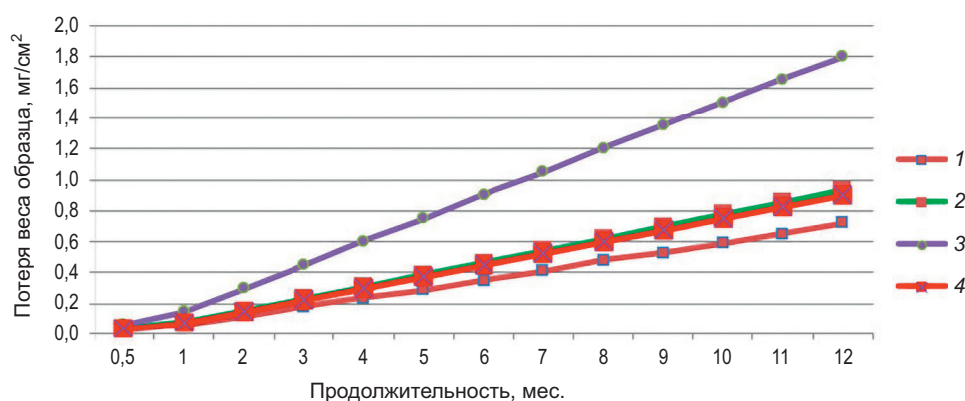


Рис. 3. Коррозионная активность микрофлоры: 1 — воздействие воды; 2 — воздействие гетеротрофных бактерий; 3 — воздействие сульфатредуцирующих бактерий; 4 — воздействие денитрифицирующих бактерий

Таким образом, микроорганизмы, попадающие в подземные воды вследствие техногенных загрязнений, оказывают негативное воздействие на все компоненты водопроводной системы, усиливая коррозионную активность воды. В сочетании с гетеротрофными, аммонифицирующими, нитрифицирующими, денитрифицирующими и сульфатредуцирующими бактериями формируется агрессивная коррозионная среда (рис. 3) [12–16], что повышает риск повреждений и сокращает срок службы инфраструктуры.

Пусковым механизмом коррозии является загрязнение водоносного горизонта поверхностными водами, содержащими белковую и нефтяную органику. Коррозионные процессы могут особенно активно проявляться в определенные периоды, связанные с дождями и паводками, когда в водоносный горизонт поступают

не только органические вещества, но и поверхностная почвенная микрофлора.

В результате жизнедеятельности бактерий выделяется гидрат окиси железа, что способствует переводу закиси железа в нерастворимую окись, осаждающуюся на внутренних поверхностях водопроводных систем (рис. 4).

На основании рассмотренных примеров можно сделать вывод, что антропогенные загрязнения негативно влияют на качество исходной воды, что, в свою очередь, ведет к ухудшению состояния оборудования и трубопроводов системы водоснабжения. Это подчеркивает важность контроля и снижения источников загрязнения для обеспечения эффективной работы системы и сохранения ее долговечности.



Рис. 4. Осадки на внутренних поверхностях водопроводных труб

Заключение

Анализ современных исследований и наблюдений свидетельствует, что антропогенное загрязнение подземных источников водоснабжения представляет значительную угрозу для качества питьевой воды, здоровья населения и стабильности работы систем водоснабжения. Основными источниками загрязнений являются промышленные предприятия, сельскохозяйственные угодья, транспортные и коммунальные объекты, которые вносят в воду разнообразные вредные вещества. В результате воздействия этих факторов ухудшается качество воды и увеличивается износ водопроводного оборудования. Для предотвращения загрязнения подземных вод необходимо совершенствовать меры охраны водных ресурсов и создавать зоны санитарной охраны вокруг

водозаборных сооружений. Важными направлениями являются развитие мусороперерабатывающих комплексов, внедрение современных технологий утилизации и переработки отходов, совершенствование законодательства в сфере водоохраны и усиление ответственности за действия, наносящие вред водным объектам. Не менее важны проведение просветительской работы, регулярный мониторинг водных ресурсов, создание экологически безопасных технологий водопользования, строительство новых очистных сооружений, регулирование использования удобрений и внедрение инновационных методов. Также необходимо расширять практики повторного использования воды в промышленности, что способствует снижению уровня загрязнений и повышению экологической безопасности водных ресурсов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Димакова Н.А., Шарапов Р.В. Проблема загрязнения подземных вод // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 2. С. 79–82.
2. Демин А.П. Региональные различия в обеспечении населения России централизованным водоснабжением и безопасной питьевой водой // Региональные исследования. 2019. № 2 (64). С. 80–91.
3. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2024 году : Проект Государственного доклада. М. : Минприроды России; ФГБУ «ВНИИ Экология», 2025. 721 с. URL: <https://www.mnr.gov.ru> (дата обращения: 05.10.2025).
4. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. М. : Минприроды России; ФГБУ «ВНИИ Экология», 2025. URL: <https://www.mnr.gov.ru> (дата обращения: 05.10.2025).
5. Святенко А.И., Бучек И.Ю. Анализ загрязненности шахтных вод в карьерах открытой добычи железной руды // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2010. № 7. С. 44–48.
6. Шарапов Р.В. Принципы мониторинга подземных вод // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2012. № 3. С. 27–30.
7. UN World Water Development Report 2021: Valuing water supply, sanitation services. URL: <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2021/en/valuing-water-supply-sanitation-services> (дата обращения: 05.10.2025).
8. Николаенко И.В., Сколубович Ю.Л., Мельникова Н.С. Методика количественной оценки устойчивости систем водоснабжения // Известия вузов. Строительство. 2025. № 3. С. 41–51.
9. Об экологической ситуации в Томской области в 2023 году : доклад. URL: <https://depnature.tomsk.gov.ru/news/front/view?id=136495> (дата обращения: 05.10.2025).
10. Ламинский А.И., Климова Н.А., Пушкарева А.Г. Ведение мониторинга подземных вод в зонах санитарной охраны водозаборов № 1 и 2 г. Северск : технический отчет. Томск, 2010. 175 с.

11. Кармалов А.И. Повышение эффективности эксплуатации водозаборных скважин на основе методов химической регенерации и применения полимерных фильтров : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2025.
12. Кармалов А.И., Сколубович Ю.Л., Чупин Р.В., Мелехов Е.С. Исследование процессов вторичного минералообразования в водопроводных скважинах питьевого назначения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 4. С. 735–745.
13. Кармалов А.И., Филимонова С.В. Анализ причин кольматации и коррозии оборудования водозаборных скважин в условиях повышенной техногенной нагрузки // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 9–1. С. 16–20.
14. Кармалов А.И., Герб Л.В., Товкач В.В. Долгосрочная эксплуатация артезианских скважин: проблемы и решения // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2023. № 4. С. 8–15.
15. Мартыненко Г.Д., Найманов А.Я., Найманова А.А., Кармалов А.И. Реконструкция сооружений повторного использования промывной воды фильтров станции обезжелезивания // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 10. С. 14–20.
16. Сиволов Г.Е., Кармалов А.И., Медриш Г.Л., Писков М.В., Панчук С.А., Зорин А.П. Опыт эксплуатации и совершенствование системы обеззараживания воды с использованием гипохлорита натрия // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 9–1. С. 28–32.

Об авторах: **Юрий Леонидович Сколубович** — доктор технических наук, профессор, ректор; **Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)**; 620008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, д. 113; e-mail: rector@sibstrin.ru;

Александр Иванович Кармалов — канд. техн. наук, директор; **ООО «Томскгидропроект»**; 634021, г. Томск, ул. Елизаровых, д. 79/2; e-mail: karmalov@vodokanal.tomsk.ru;

Анна Александровна Цыба — старший преподаватель, кафедра «Водоснабжения и водоотведения»; **Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)**; 620008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, д. 113; e-mail: a.tsyba@sibstrin.ru.

REFERENCES

1. Dimakova N.A., Sharapov R.V. The problem of groundwater pollution. *Modern high-tech technologies*. 2013; 2:79-82. (rus.).
2. Demin A.P. Regional differences in the provision of centralized water supply and safe drinking water to the Russian population. *Regional studies*. 2019; 2(64):80-91. (rus.).
3. On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2024 : Draft State Report. Moscow, Ministry of Natural Resources of Russia; Federal State Budgetary Institution “VNII Ekologiya”, 2025; 721. URL: <https://www.mnr.gov.ru> (date of access: 05.10.2025). (rus.).
4. The Water Strategy of the Russian Federation for the period up to 2035. Moscow, Ministry of Natural Resources of Russia; Federal State Budgetary Institution VNII Ekologiya, 2025. URL: <https://www.mnr.gov.ru> (date of access: 05.10.2025). (rus.).
5. Svyatenko A.I., Buchek I.Yu. Analysis of mine water pollution in open-pit mining of iron ore. *Mechanical engineering and life safety*. 2010; 7:44-48. (rus.).
6. Sharapov R.V. Principles of groundwater monitoring. *Mechanical engineering and life safety*. 2012; 3:27-30. (rus.).
7. UN World Water Development Report 2021: Valuing water supply, sanitation services. URL: <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2021/en/valuing-water-supply-sanitation-services> (date of access: 05.10.2025).
8. Nikolaenko I.V., Skolubovich Yu.L., Mel'nikova N.S. Methodology for quantifying the sustainability of water supply systems. *Izvestiya vuzov. Construction*. 2025; 3:41-51. (rus.).
9. On the environmental situation in the Tomsk region in 2023 : Report. URL: <https://depnature.tomsk.gov.ru/news/front/view?id=136495> (date of access: 05.10.2025). (rus.).
10. Laminskij A.I., Klimova N.A., Pushkareva A.G. *Monitoring of groundwater in the sanitary protection zones of water intakes No. 1 and 2 in Seversk : a technical report*. Tomsk, 2010; 175. (rus.).
11. Karmalov A.I. *Improving the efficiency of water intake wells operation based on chemical regeneration methods and the use of polymer filters : abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences*. Irkutsk, Irkutsk National Research Technical University, 2025. (rus.).
12. Karmalov A.I., Skolubovich Yu.L., Chupin R.V., Melexov E.S. Investigation of secondary mineral formation processes in drinking water wells. *Izvestiya vuzov. Investment. Construction. Realty*. 2024; 14(4):735-745. (rus.).
13. Karmalov A.I., Filimonova S.V. Analysis of the causes of coloration and corrosion of water intake well equipment under conditions of increased anthropogenic load. *Water supply and sanitary engineering*. 2011; 9-1:16-20. (rus.).

14. Karmalov A.I., Gerb L.V., Tovkach V.V. Long-term operation of artesian wells: problems and solutions. *The best available water supply and sanitation technologies*. 2023; 4:8-15. (rus.).
15. Martynenko G.D., Naimanov A.Ya., Naimanova A.A., Karmalov A.I. Reconstruction of facilities for the reuse of flushing water filters of the de-icing station. *Water supply and sanitary equipment*. 2020; 10:14-20. (rus.).
16. Sivolov G.E., Karmalov A.I., Medrish G.L., Piskov M.V., Panchuk S.A., Zorin A.P. Operational experience and improvement of the water disinfection system using sodium hypochlorite. *Water supply and sanitary equipment*. 2011; 9-1:28-32. (rus.).

About the authors: **Yuriy L. Skolubovich** — Grand PhD in Engineering, Professor, Rector; **Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)**; 113 Leningradskaya St., Novosibirsk, 620008, Russian Federation; e-mail: rector@sibstrin.ru;

Alexander I. Karmalov — PhD in Engineering Associate Professor, Director; **LLC Tomskgidroproekt**; 79/2 Elizarovyh St., Tomsk, 634021, Russian Federation; karmalov@vodokanal.tomsk.ru;

Anna A. Tsyba — Senior lecturer, Department of “Water Supply and Sanitation”; **Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)**; 113 Leningradskaya St., Novosibirsk, 620008, Russian Federation; e-mail: a.tsyba@sibstrin.ru.

Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2026. № 1. С. 71–79.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 544.576

DOI: 10.22227/2311-1518.2026.1.71-79

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ДООЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Леонид Иванович Соколов^{1,2}, Ирина Михайловна Смирнова²,
Людмила Михайловна Воропай³

¹ Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН); г. Москва, Российская Федерация;

² Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ – РГГРУ); г. Москва, Российская Федерация;

³ Вологодский государственный университет (ВоГУ); г. Вологда, Российская Федерация

Ультразвук и акустическая кавитация обеспечивают эффективную обработку сложных сточных вод гальванического производства за счет каталитических процессов и высокой скорости смешивания ударными волнами, которая сопровождается сонохимическими реакциями. Исследовано состояние вопроса о процессах, связанных с ультразвуком и акустической кавитацией, с точки зрения физико-химической модели, позволяющей прогнозировать и контролировать результат. Изучены влияние энергетических ультразвуковых эффектов на степень очистки сточных вод гальванического цеха и кинетика процессов при разной продолжительности озвучивания в двух типах ультразвуковых реакторов. Показано, что механизм ультразвукового воздействия включает увеличение удельной поверхности образующихся нерастворимых компонентов стока и ее активацию. Установлены изменения значений pH, электропроводности, концентраций катионов и анионов, температуры сточных вод в зависимости от продолжительности озвучивания при частоте 20–22 кГц, интенсивностью от 1,5 до 10 Вт/см². Проведены исследования эффективности видоизменения степени окисления ионов тяжелых металлов (Fe⁺³, Cr⁺³) из сточных вод с использованием ультразвукового воздействия.

Ключевые слова: гальваническое производство, сточная вода, катионы, анионы, ультразвук, кавитация

Для цитирования: Соколов Л.И., Смирнова И.М., Воропай Л.М. Интенсификация процесса доочистки сточных вод гальванического производства с использованием ультразвукового воздействия // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2026. № 1. С. 71–79. DOI: 10.22227/2311-1518.2026.1.71-79

INTENSIFICATION OF THE PROCESS OF POST-TREATMENT OF WASTEWATER FROM ELECTROPLATING USING ULTRASONIC EXPOSURE

Leonid I. Sokolov^{1,2}, Irina M. Smirnova², Lyudmila M. Voropai³

¹ Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN); Moscow, Russian Federation;

² Russian State Geological Exploration University named after Sergo Ordzhonikidze (MGRI – RGGRU); Moscow, Russian Federation;

³ Vologda State University (VSU); Vologda, Russian Federation

Ultrasound and acoustic cavitation ensure efficient treatment of complex wastewater from galvanic production due to catalytic processes and high mixing rate by shock waves, which is accompanied by sonochemical reactions. The state of the issue of processes related to ultrasound and acoustic cavitation is considered from the point of view of a physico-chemical model that allows predicting and controlling the result. The influence of energetic ultrasonic effects on the degree of wastewater treatment in the galvanic workshop and the kinetics of processes with different duration of sounding in two types of ultrasonic reactors are studied. It is shown that the mechanism of ultrasonic action includes an increase in the specific surface area of the formed insoluble components of the drain and its activation. Changes in pH, electrical conductivity, cation and anion concentrations, and wastewater temperature have been established depending on the duration of voicing at a frequency of 20–22 kHz and an intensity from 1.5 to 10 W/cm². Studies have been conducted on the effectiveness of removing heavy metal ions (Fe⁺³, Cr⁺³) from wastewater using ultrasonic exposure.

Keywords: electroplating, waste water, cations, anions ultrasound, cavitation

For citation: Sokolov L.I., Smirnova I.M., Voropai L.M. Intensification of the process of post-treatment of wastewater from electroplating using ultrasonic exposure. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2026; 1:71-79. DOI: 10.22227/2311-1518.2026.1.71-79 (rus.).

Введение

Источниками загрязнения природной среды тяжелыми металлами являются различные отрасли экономики, но в первую очередь гальваническое производство, характерное для предприятий машино- и станкостроения, где для удаления тяжелых металлов из сточных вод используют реагентный и электрокоагуляционный методы очистки. Недостатками этих методов являются высокий расход реагента и электроэнергии, большие площади для очистных сооружений и их высокая стоимость. Поэтому возникает необходимость в совершенствовании существующих технологий очистки для решения задач снижения эксплуатационных затрат, экономии ресурсов, разработки простых и компактных конструкций очистных сооружений [1].

Одним из перспективных методов воздействия на загрязнители сточных вод для интенсификации технологических процессов очистки является метод, основанный на использовании механических упругих колебаний и волн ультразвукового диапазона, частотой выше 20 кГц. Ультразвук и акустическая кавитация улучшают процессы очистки и доочистки сточных вод за счет эффективного смешивания, ускорения скорости реакции, усиления массопереноса, деструкции и восстановления. По сравнению с другими методами ультразвуковое воздействие при очистке сточных вод более эффективно с точки зрения общей потребляемой мощности на моль загрязняющего вещества и может осуществляться путем окисления гидроксильными радикалами во время акустической кавитации. Наиболее успешно ультразвуковые колебания (УЗ) используются в технологиях очистки воды [2–4] и в процессах, свя-

занных с жидкофазными состояниями реагентов, поскольку только в жидкой фазе возникает специфическая ультразвуковая кавитация [5], обеспечивающая максимальные энергетические воздействия на различные вещества и загрязнители за счет образующихся в воде масс пульсирующих газовых пузырьков, в которых создаются ударные волны с высоким импульсным давлением (рис. 1).

При прохождении ультразвуковой волны через воду в стадии отрицательного давления начинается рост воздушного пузырька, который в стадии положительного давления схлопывается. Схлопывание — коллапс пузырька — происходит за счет значительной разности между гидростатическим давлением сточной воды и давлением внутри полости кавитационного пузырька, а также резкого повышения акустического давления в жидкой фазе в цикле сжатия ультразвуковой волны, когда вода устремляется к центру пузырька. При этом происходит концентрирование энергии, а в центре пузырька создается высокое давление, за счет которого формируется расходящаяся сферическая ударная волна. По теории «горячей точки» (hot spot theory) в микрообъеме 10^{-5} – 10^{-6} см возникает давление порядка тысяч атмосфер, а температура может повышаться до тысячи и более градусов Цельсия [6–8]. Таким образом, водяной пар, находящийся в полости кавитационного пузырька в момент его коллапса, подвергается действию высоких температур и давлений, вследствие чего молекулы воды претерпевают так называемый сонолиз, протекающий по реакциям:

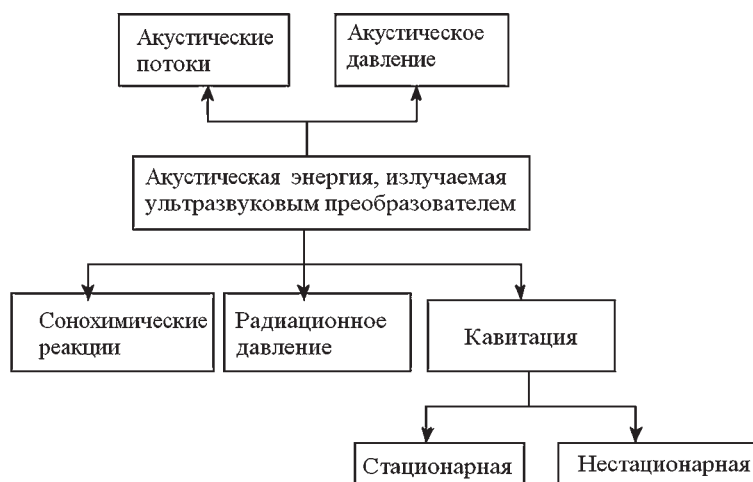
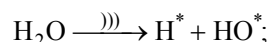
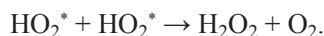
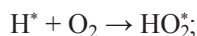
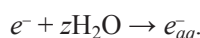


Рис. 1. Физические явления, сопровождающие распространение ультразвуковой волны в сточной воде



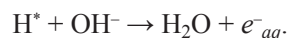
Это ускоряет химические реакции, происходящие при очистке сточных вод, так как именно в водной среде активными частицами чаще всего являются продукты разложения воды. Образующиеся активные частицы переходят в очищаемую сточную воду, где инициируют и интенсифицируют окислительно-восстановительные и радикальные реакции. Образующиеся радикалы, такие как O^- и HO^* , очень реакционноспособны, являются мощными окислителями. При ультразвуковом воздействии на сточную воду появляются гидратированные электроны, образующиеся вследствие ионизации молекул воды в момент коллапса кавитационного пузырька:



Наличие сольватированных электронов e_{aq}^- в сточной воде зависит от pH среды. В кислой среде сольватированные электроны участвуют в образовании атомарного водорода по реакции:



В щелочной среде наблюдается другой процесс:



Действие УЗ объясняется не только кавитационным эффектом ультразвука, но и возникающим вихревым акустическим пограничным слоем, где происходит интенсификация процесса переноса тепла, изменение концентрации ионов. Учитывая столь широкий диапазон факторов воздействия акустических колебаний [9, 10], высокую токсичность стоков, содержа-

щих тяжелые металлы, а также недостатки традиционных методов очистки, представляется актуальной задача изучения воздействия ультразвука на загрязнители сточных вод с точки зрения ультразвуковой интенсификации процессов очистки.

Цель работы — исследовать влияние ультразвукового излучения, как способа инициирования и интенсификации окислительно-восстановительных реакций, на химические показатели очищаемой сточной воды гальванического производства.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являются производственные стоки гальванического производства ЗАО ВПЗ (г. Вологда), которые на локальных очистных сооружениях подвергаются обезвреживанию в баках-реакторах в кислой среде при $\text{pH} = 2,5$ гидросульфитом натрия для восстановления Cr^{+6} , затем нейтрализуются щелочью и отстаиваются с выделением осадка. При этом требуется их доочистка. Поэтому для исследования в данной работе использовали гальванические сточные воды на выходе из отстойника.

В задачу исследования входило изучение влияния энергетических ультразвуковых эффектов на степень доочистки сточных вод. При выполнении экспериментов использовали два типа ультразвуковых реакторов: первый реактор «контактный» КР1 (цилиндрический) имел два ультразвуковых излучателя (мощность 140 Вт, частота колебаний 20–22 кГц), которые были вмонтированы в стенки таким образом, что внутренние стенки реактора выполняли функцию излучателя в течение 3–5 мин (рис. 2); второй реактор Р2 был изготовлен в виде закрытой ванны с вмонтированными в дно двумя излучателями (мощность 140 Вт, частота колебаний 20–22 кГц).



Рис. 2. Экспериментальный ультразвуковой реактор для обработки сточных вод

В реакторах отсутствует дополнительный подогрев обрабатываемых сточных вод. В ранее выполненных исследованиях установлено повышение температуры при озвучивании от 40 до 60 °С в зависимости от вязкости среды; число кавитации также зависит от вязкости среды и изменяется от 500 до 900 [11]. Изменения температуры, значений pH среды в процессе озвучивания объясняются кавитационными эффектами.

Для эксперимента отбирали 2,5–5 л воды, помещали в ультразвуковой реактор и подвергали озвучиванию в течение 5, 15, 30, 40, 60 мин. После отбора проб определяли показатели исходных гальванических стоков, которые представлены в табл. 1 и 2.

На втором этапе исследований будут проведены исследования очистки сточных вод в проточном режиме на опытно-промышленной установке (рис. 3), изготовленной ООО «АЛЕКСАНДРА-ПЛЮС» (г. Вологда). В данной работе представлены результаты исследований первого этапа.

При выполнении эксперимента использовали современные физико-химические методы анализа. Наличие восстановленных катионных и анионных примесей определяли методами перманганатной и бихроматной окисляемости. Концентрации катионов кальция, магния, хлорид-ионов определяли титриметрическим методом анализа.

Фотометрический метод анализа использовали для определения эффективности очистки сточных вод от ионов железа, хрома, аммония, нитрит-ионов, нитрат-ионов. Для установления количественного содержания сульфат-ионов использовали турби-

Таблица 1. Показатели гальванических стоков после восстановления Cr^{+6} и нейтрализации

Значение pH	Температура T , °С	Электропроводность mS	Солесодержание, мг/дм ³
8,73	18	0,4	8,25

диметрический метод анализа. После озвучивания проб в течение 5, 15, 30, 40, 60 мин определяли изменение температуры, pH среды, солесодержание, электропроводность, остаточную концентрацию основных компонентов.

Результаты исследования и их обсуждение

Изучено влияние ультразвукового воздействия на реальные сточные воды, содержащие в качестве загрязняющих веществ: нитриты, нитраты, хлориды, сульфаты, катионы аммония, кальция, магния, железа, хрома. Указанные сточные воды испытывались в слабой щелочной среде, которая создавалась уже после восстановления Cr^{+6} с последующей нейтрализацией очищаемого стока, что обеспечивало стабилизацию нитритов натрия. В задачу исследования входил поиск условий, при которых происходит окисление растворенных в воде загрязнителей под УЗ воздействием. Результаты исследования представлены в табл. 2 и показывают, что наибольшее содержание в изучаемых гальваностоках (до УЗ-воздействия на них) характерно для хрома, которое превышает значение ПДК для водоемов рыбохозяйственного значения (ПДК для $\text{Cr}^{+3} = 0,07 \text{ мг/дм}^3$)



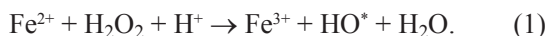
Рис. 3. Опытно-промышленный ультразвуковой реактор для обработки сточных вод

в тысячу раз. Содержание кальция и магния ниже значения ПДК.

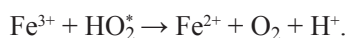
Содержание катионов аммония и нитрит-анионов превышает значения ПДК (соответственно, 0,5 мг/дм³ и 0,2 мг/дм³), содержание хлорид-, сульфат-, нитрат-анионов ниже значения ПДК.

Установлено, что температура сточной воды при обработке ультразвуком зависит от продолжительности озвучивания и «дозы» облучения (произведение мощности на продолжительность обработки). Результаты исследования представлены на рис. 4.

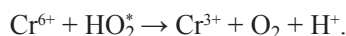
Резкое увеличение температуры происходит в течение первых 25 мин озвучивания, а после 25 мин рост температуры прекращается. В сточной воде идут окислительно-восстановительные реакции между ионами растворенных загрязнителей и продуктами ультразвукового расщепления воды, возникающими в кавитационных пузырьках и переходящими в раствор после их схлопывания, что приводит к увеличению скорости конвекции и, следовательно, усилению скорости химической реакции окисления нитрита. Например, при воздействии ультразвука на подкисленную сточную воду в присутствии воздуха Fe(II) окисляется до Fe(III) по реакции:



При УЗ-воздействии на сточную воду протекают также и восстановительные реакции, например восстановление Fe(III) при облучении в слабокислой или нейтральной водной среде на воздухе:



Аналогично под воздействием ультразвука происходит и восстановление Cr⁺⁶ до Cr⁺³ в кислой среде по реакции:



Результаты исследований (табл. 2) показывают, что энергетические ультразвуковые эффекты инициируют протекание окислительно-восстановительных реакций растворимых соединений азота. При этом наблюдается уменьшение содержания восстановленных форм азота — катионов аммония и нитрит-ионов и одновременное увеличение концентрации нитрат-ионов. Восстановленные формы азота, такие как катионы аммония, образуют растворимые соединения. При озвучивании их концентрация в сточных водах уменьшается за счет дегазации аммиака. Одновременно в озвученной среде протекают реакции окисления катионов аммония до нитрат-ионов (NO₃⁻). Поэтому концентрация нитрат-анионов при кавитации возрастает, но уменьшается концентрация катионов аммония. Результаты свидетельствуют, что процесс снижения концентрации ионов аммония (NH₄⁺) начинается в первые 5 мин после начала озвучивания (эффективность очистки 10 %) и продолжается на протяжении озвучивания — 60 мин (эффективность очистки 90,6 %). Низкочастотные ультразвуковые волны вызывают уменьшение концентрации нитрит-ионов (NO₂⁻) за счет процессов окисления до нитрат-анионов. Убыль концентрации после озвучивания проб воды в первом реакторе составляет 89,6 %; во втором реакторе — 89,4 %.

За счет окисления катионов аммония и нитрит-ионов наблюдается увеличение концентрации нитрат-ионов. Процесс окисления усиливается за счет образования пероксида водорода при схлопывании кавитационных пузырьков. Минимальное увеличение концентрации нитрат-ионов наблюдается через 40 мин после озвучивания в сравнении с исходной концентрацией и увеличивается в пять раз при проведении обработки в реакторе первого типа и в 4,6 раза при озвучивании проб воды реактором второго типа.

Дополнительным фактором влияния смещения равновесия в сторону восстановления нитрата слу-

Таблица 2. Изменение состава гальванических стоков в процессе озвучивания

Компоненты сточных вод			Ca ⁺²	Mg ⁺²	Fe ⁺³	Cr ⁺³	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃	NO ₂
Концентрация компонентов при времени озвучивания, мг/дм ³	Исходная концентрация, мг/дм ³		32	9,6	0,18	76,4	29,5	24,85	21,52	1,09	10,5
	5 мин	KP1	32,08	8,22	0,09	52,18	17,24	20,18	19,32	1,41	9,13
		P2	32,11	8,31	0,09	52,51	17,41	20,36	19,52	1,32	9,21
	15 мин	KP1	32,75	5,31	0,06	42,32	9,36	16,32	16,54	1,92	7,92
		P2	32,85	5,42	0,07	42,74	10,01	16,81	16,92	1,78	8,01
	20 мин	KP1	33,38	3,64	0,05	28,19	9,02	13,55	8,56	3,22	5,02
		P2	33,49	3,75	0,06	28,95	9,02	13,69	8,92	3,18	5,11
	30 мин	KP1	33,75	2,82	0,02	15,32	8,13	8,13	4,19	4,58	3,71
		P2	33,64	2,92	0,03	16,18	8,48	8,61	4,05	4,65	3,72
	40 мин	KP1	34,21	1,3	0,02	1,91	10,92	6,35	3,08	5,42	2,14
		P2	34,65	1,32	0,03	2,87	10,65	6,35	3,29	5,03	2,44
	60 мин	KP1	34,8	1,29	0,02	1,9	11,74	7,14	2,02	5,42	1,09

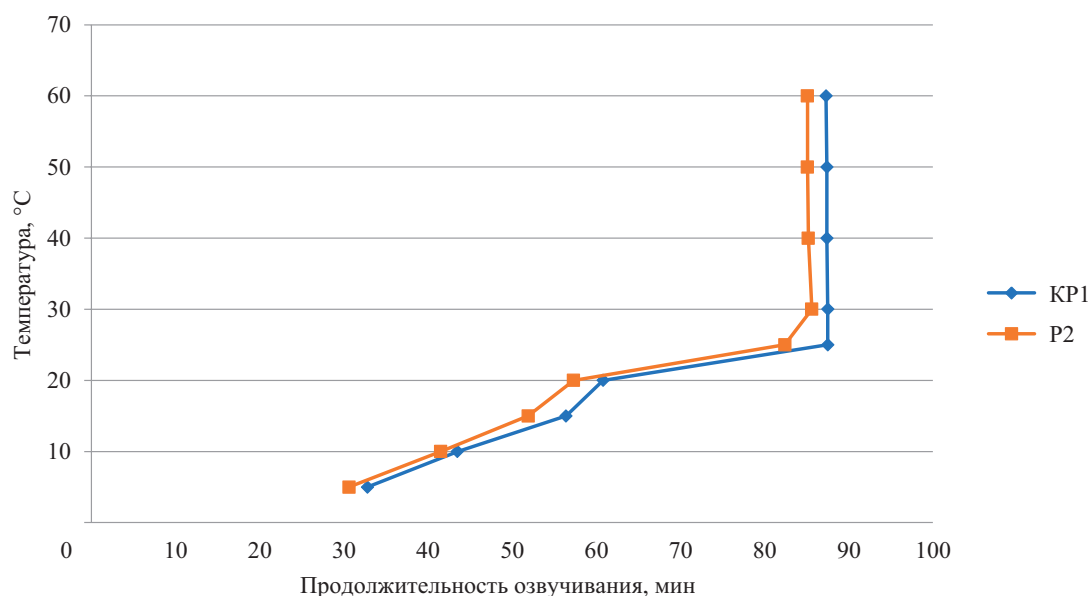


Рис. 4. Влияние продолжительности озвучивания на изменение температуры сточных вод гальванического производства для двух типов ультразвуковых реакторов KP1 и P2

жит и температурный фактор. Изгиб кривой наблюдается при достижении температуры 25 °C (рис. 4). Последний эффект приводит к дегазации, в том числе и удалению кислорода как возможного окислителя. Как указывалось выше, в условиях УЗ-воздействия этот эффект нивелируется за счет увеличения окислительной способности пероксида водорода.

В сточных водах присутствуют также сульфат и хлорид-ионы. В результате ультразвукового воздействия наблюдается скачкообразное изменение их концентраций. Установлено, что концентрация сульфат-ионов через 30 мин озвучивания уменьшается с 29,5 до 8,13 мг/дм³ в первом типе реактора, и, соответственно, во втором типе реактора до 8,48 мг/дм³. После 40-минутного озвучивания вновь наблюдается увеличение концентрации сульфат-ионов до 10,92 мг/дм³ после обработки сточных вод в контактном реакторе KP1; после озвучивания в реакторе P2 это значение составляет 10,65 мг/дм³.

Такая же закономерность изменения концентрации наблюдается после озвучивания сточных вод, содержащих хлорид-ионы. При 40-минутном озвучивании концентрация хлорид-ионов уменьшается до 74,4 % в первом и втором типах реакторов. При дальнейшем увеличении времени озвучивания происходит незначительное увеличение концентрации хлорид-ионов из-за увеличения растворимости соединений хлора и способности к гидролизу солей хлоридов металлов, образованных слабыми основаниями. Это подчеркивает важность учета таких физико-химических характеристик сточных вод, как растворимость и способность к гидролизу.

Одновременно определяли влияние времени озвучивания на изменение значений pH среды и электропроводность озвученных сред. Эти пока-

затели зависят от концентрации ионов и образующихся нерастворимых соединений. Вследствие освобождения ионов OH⁻ раствор приобретает щелочные свойства и значение pH повышается. Результаты исследования приведены на рис. 5.

Результаты исследований показывают, что после озвучивания происходит подщелачивание за счет увеличения концентрации катионов кальция и уменьшения концентрации катионов хрома и железа. Одновременно с подщелачиванием наблюдается уменьшение электропроводности озвученной среды за счет образования коллоидных систем и осадка, включая Cr(OH)₃, и далее до растворения последнего с образованием гидроксокомплексов. Снижение электропроводности, в отличие от изменений значений pH, происходило не линейно, а через экстремумы.

Максимальное увеличение концентрации ионов кальция установлено в ультразвуковом реакторе второго типа, где излучатели смонтированы в дно ванны. Одновременно наблюдается повышение температуры на 48–50 °C через 40 мин после озвучивания. Увеличение концентрации ионов кальция после озвучивания в течение 60 мин в реакторе первого типа составляет 8,75 % от исходной концентрации; в реакторе второго типа — 9,13 %.

Таким образом, при выборе условий УЗ обработки сточных вод необходимо учитывать увеличение концентраций малорастворимых соединений после озвучивания, что можно отнести к недостаткам УЗ технологии. Для исключения этого недостатка рекомендуется сточные воды подвергнуть фильтрованию для удаления взвешенных нерастворимых примесей.

Содержание катионов магния, железа, хрома, аммония после озвучивания сточных вод уменьшается. Наиболее эффективно удаляются ионы магния,

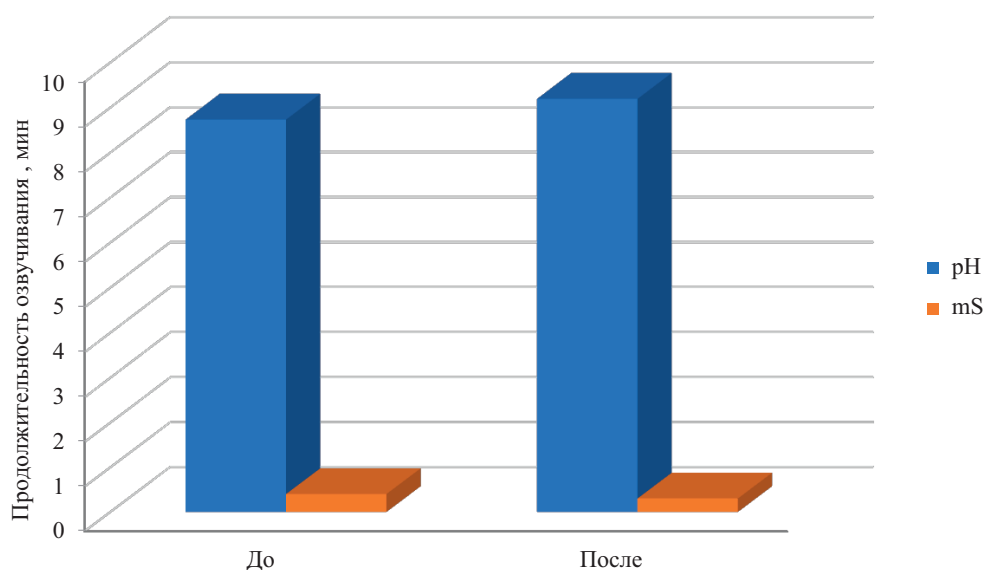


Рис. 5. Изменение значений pH и электропроводности (mS) при озвучивании гальваностокков во времени

хрома и аммония в контактном реакторе КР1. Такое расположение УЗ-излучателей обеспечивает более равномерное перемешивание гальваностокков во всех участках реактора и инициирование реакций массообмена с образованием осадков, что подтверждается увеличением массы осадков после озвучивания и уменьшением содержания в озвученных средах.

Наиболее эффективно снижаются в озвученных пробах воды концентрации ионов хрома. Эффективность очистки сточных вод от ионов хрома после 40-минутного озвучивания составляет 96–97 % в реакторе первого типа; в реакторе второго типа — 95–96 %. При дальнейшем увеличении времени озвучивания эффективность их очистки практически не изменяется. Ионы железа так же, как и ионы хрома, подвергаются гидролизу с образованием коллоидов, которые после отстаивания озвученных вод образуют осадки. Эффективность обработки гальваностокков в процессе их доочистки составляет для реактора первого типа — 88–89 %, для второго — 82–83 % при времени озвучивания 40 мин.

Выводы

1. Установлено, что при ультразвуковой обработке гальваностокков катионы и анионы, в них присутствующие, можно разделить на две группы. Представители первой группы (Mg^{+2} , Cr^{+3} , Fe^{+3} , NH_4^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_2^-) подвергаются «глобулизации» и окислительно-восстановительным реакциям, что способствует технологической интенсификации и эффективности процесса очистки сточных вод. Для второй группы (Ca^{+2} , NO_3^-) под воздействием ультразвука наблюдается увеличение концентраций

при озвучивании от 5 до 60 мин. Это следует учитывать при моделировании и последующем проектировании технологического процесса ультразвуковой очистки сточных вод.

2. Полученные экспериментальные данные подтверждают, что ультразвук в режиме кавитации в сточной воде приводит к образованию активных радикалов, которые влияют на изменения pH воды: при 22 кГц в воде образуются гидроксильные радикалы HO^* и pH воды увеличивается.

3. При обработке сточной воды ультразвуком частотой 22 кГц и выше прослеживается изменение ее электропроводности, причем снижение электропроводности, в отличие от изменения pH, происходит не линейно, а через экстремумы.

4. Экспериментально установлено изменение температуры сточной воды, причем ее абсолютное значение зависит от количества энергии, вводимой при обработке воды, и способности стока поглощать ее. С увеличением продолжительности воздействия ультразвука происходит увеличение температуры на 5 °C через каждые 10 мин воздействия. Вводимая ультразвуковая энергия, затухая, поглощается водной средой, а часть этой поглощенной энергии переходит в тепловую. Зависимость повышения температуры сточной воды от продолжительности озвучивания имеет слабый экспоненциальный, а не линейный характер: со временем поглощение средой вводимой энергии увеличивается, т.е. ее сопротивление становится выше, и если раньше эта энергия шла на образование ультразвуковых потоков, то в дальнейшем состояние стока оказывается таким, что энергия «гаснет» в нем, в большей степени расходуясь нерационально, приводя к увеличению температуры.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кривобородова Е.Г. Очистка сточных вод от тяжелых металлов с использованием ультразвука : дис. ... канд. техн. наук. М., 2006. 137 с.
2. Nemelcov A.B., Zvyagintseva T.N., Shevchenko N.M., Rasin A.B., Ermacova S.P. Ultrasound-assisted extraction of polysaccharides from brown Alga *Fucosevanescens*. Structure and biological activity of the new fucoidan fractions // *Journal of Applied Phycology*. 2018. Vol. 30. Issue 3. Pp. 2039–2046.
3. Попова Н.В., Соनावайн Ш., Абдуллина А.Р. Исследование влияния эффектов низкочастотного ультразвука на процессы сбраживания виноматериалов // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии»*. 2019. Т. 7. № 1. С. 79–88.
4. Yang X., Li S., Oladejo A.O., Wang Y., Huang S., Zhou C. et al. Effects of ultrasound-assistant α -amylase degradation treatment with multiple modes on the extraction of rice protein // *Ultrasonic sonochemistry*. 2018. Vol. 40. Pp. 890–899.
5. Баранчиков А.Е., Иванов В.К., Третьяков Ю.Д. Сонохимический синтез неорганических материалов // *Успехи химии*. 2007. Т. 76. № 2. С. 147–168.
6. Suslick K.S. In *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. Wiley, New York, 1998. Vol. 26. Issue 4. P. 517.
7. Aslan D., Dogan M. The influence of ultrasound on the stability of dairy-based, emulsifier-free emulsions: rheological and morphological aspect // *European Food Research and Technology*. 2018. Vol. 244. Issue 3. Pp. 409–421.
8. Chemat F., Huma Z., Khan M.K. Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2010. Vol. 18 (4). Pp. 813–835. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2010.11.023
9. Попова Н.В., Фатеева С.А. Изучение влияния ультразвукового воздействия на показатели качества воды // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии»*. 2014. Т. 2. № 1. С. 3033.
10. Маргулис М.А. Звукохимия — новая перспективная область химии высоких энергий // *Химия высоких энергий*. 2004. Т. 38. № 3. С. 163–170.
11. Воропай Л.М., Денисова Д.С., Кузнецова О.Б., Соколов Л.И. Влияние ультразвука на катионный и анионный состав сточных вод // *Системные технологии*. 2024. № 2. С. 51.

Об авторах: Леонид Иванович Соколов — д-р техн. наук, главный научный сотрудник; Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН); 127238, г. Москва, Локомотивный пр-д, д. 21; профессор кафедры «Строительство систем и сооружений водоснабжения и водоотведения»; Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ – РГГРУ); 117485, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23; ORCID: 0000-0001-9635-8389, SPIN-код: 3010-5480, ResearcherID: B-1865-2017, Scopus AuthorID: 55891692500; e-mail: sokolovli@mail.ru;

Ирина Михайловна Смирнова — аспирант; Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ – РГГРУ); 117485, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23; e-mail: mishinaira95@gmail.com;

Людмила Михайловна Воропай — канд. хим. наук, доцент кафедры биологии и химии; Вологодский государственный университет (ВГУ); 160000, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15; SPIN-код: 1655-1649; e-mail: voropailm@vogu35.ru.

REFERENCES

1. Krivoborodova E.G. *Wastewater treatment from heavy metals using ultrasound : Dissertation of the Candidate of Technical Sciences*. Moscow, 2006; 137. (rus.).
2. Nemelcov A.B., Zvyagintseva T.N., Shevchenko N.M., Rasin A.B., Ermacova S.P. Ultrasound-assisted extraction of polysaccharides from brown Alga *Fucosevanescens*. Structure and biological activity of the new fucoidan fractions. *Journal of Applied Phycology*. 2018; 30(3):2039-2046.
3. Popova N.V., Sonavain S., Abdullina A.R. Investigation of the effects of low-frequency ultrasound on the fermentation of wine materials. *Bulletin of SUSU. The series "Food and biotechnology"*. 2019; 7(1):79-88. (rus.).
4. Yang X., Li S., Oladejo A.O., Wang Y., Huang S., Zhou C. et al. Effects of ultrasound-assistant α -amylase degradation treatment with multiple modes on the extraction of rice protein. *Ultrasonic sonochemistry*. 2018; 40:890-899.
5. Baranchikov A.E., Ivanov V.K., Tretyakov Yu.D. Sonochemical synthesis of inorganic materials. *Successes of chemistry*. 2007; 76(2):147-168. (rus.).
6. Suslick K.S. In *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. Wiley, New York, 1998; 26(4):517.
7. Aslan D., Dogan M. The influence of ultrasound on the stability of dairy-based, emulsifier-free emulsions: rheological and morphological aspect. *European Food Research and Technology*. 2018; 244(3):409-421.
8. Chemat F., Huma Z., Khan M.K. Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2010; 18(4):813-835. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2010.11.023

9. Popova N.V., Fateeva S.A. Studying the effect of ultrasound exposure on water quality indicators. *Bulletin of SUSU. The series "Food and biotechnology"*. 2014; 2(1):30-33. (rus.).
10. Margulis M.A. Sonochemistry: A New Promising Field of High-Energy Chemistry. *High-Energy Chemistry*. 2004; 38(3):163-170. (rus.).
11. Voropai L.M., Denisova D.S., Kuznetsova O.B., Sokolov L.I. The effect of ultrasound on the cationic and anionic composition of wastewater. *System Technologies*. 2024; 2:51. (rus.).

About the authors: **Leonid I. Sokolov** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher at the Research; **Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN)**; 21 Lokonotive passage, Moscow, 127238, Russian Federation; Professor of the Department "Construction of Water Supply and Sanitation Systems and Structures"; **Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University (MGRI – RGGRU)**; 23 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117485, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-9635-8389, SPIN-code: 3010-5480, ResearcherID: B-1865-2017, Scopus AuthorID: 55891692500; e-mail: sokolovli@mail.ru;

Irina M. Smirnova — PhD student; **Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University (MGRI – RGGRU)**; 23 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117485, Russian Federation; e-mail: mishinaira95@gmail.com;

Lyudmila M. Voropai — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Biology and Chemistry; **Vologda State University (VSU)**; 15 Lenin st., Vologda, 160000, Russian Federation; SPIN-code: 1655-1649; e-mail: voropailm@vogu35.ru.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ДОМАХ С ДЕРЕВЯННЫМИ СТЕНАМИ И ДОЩАТОЙ ОБШИВКОЙ НА ОТНОСЕ

Нина Павловна Умнякова^{1,2}

¹ Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН); г. Москва, Российская Федерация;

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Российская Федерация

Значительная часть России всегда была покрыта лесами и на сегодняшний день их площадь составляет около 48 % от всей территории. Поэтому традиционно различные постройки — дома, храмы, башни, крепости и другие сооружения возводились из дерева. В достаточно суровых климатических условиях русских зим вопросы сохранения тепла в домах или вопросы энергосбережения стояли очень остро. Многие элементы фасадов, которые мы сейчас воспринимаем как декоративные элементы, были предназначены для защиты наружных ограждений от дополнительных теплопотерь и проникновения холодного воздуха с улицы вглубь помещений: наличники на окнах, обшивка досками наружных углов, установка ветровых досок или причелин на торце двускатной крыши. С XVII–XVIII вв. деревянные срубы снаружи стали обшивать досками с образованием между срубом и дощатой обшивкой воздушной прослойки, которая вентилировалась через неплотности в примыканиях досок. Таким образом, уже в те времена деревянные срубы с обшивкой досками представляли собой вентилируемые фасады, которые в настоящее время получили широкое распространение. В статье приводятся результаты исследований по оценке теплозащитных качеств дощатых обшивок при наличии воздушных прослоек с учетом и инфильтрации наружного воздуха через обшивку. Проведенные исследования показали, что наличие дощатой обшивки позволяет повысить температуру на внутренней поверхности сруба в зоне припазовки на 3,5–5,0 °C и уменьшить вероятность образования конденсата. Решение балансового уравнения теплопередачи через наружную бревенчатую стену с воздушной прослойкой и обшивкой досками позволило получить аналитическое выражение для расчета температуры в воздушной прослойке в зависимости от скорости ветра, количества инфильтрующегося воздуха при различных примыканиях досок друг к другу и оценить теплозащитные характеристики деревянной обшивки из досок на основе бревенчатой стены с учетом инфильтрации. В дальнейшем данную методику можно использовать при расчете тепловой защиты наружных стен, обшитых современным сайдингом.

Ключевые слова: деревянный сруб, температура, инфильтрация, дощатая обшивка, воздухопроницаемость, теплопередача, тепловая защита

Для цитирования: Умнякова Н.П. Обеспечение энергосбережения в домах с деревянными стенами и дощатой обшивкой на основе // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2026. № 1. С. 80–89. DOI: 10.22227/2311-1518.2026.1.80-89

ENERGY SAVINGS OF LOG HOUSES WITH WOODEN WALL AND BOARD SIDING WITH AIR GAP

Nina P. Umnyakova^{1,2}

¹ Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN); Moscow, Russian Federation;

² Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU); Moscow, Russian Federation

A significant part of Russian lands has always been covered by forests, and today they account for approximately 48 % of the country's total territory. Therefore, various buildings — houses, churches, towers, fortresses, and other structures — were traditionally constructed of wood. In the relatively harsh climate of Russian and severe winter frosts, heat preservation and energy conservation were particularly pressing issues. Many facade elements that we now perceive as decorative elements were intended to protect external enclosures from additional heat loss and the penetration of cold air from the street into the interior of the premises: window frames, boarding of external corners, installation of wind boards or vergeboard on the end of a gable roof. Beginning in the 17th and 18th centuries, wooden log houses began to be covered with wooden boards on the exterior, creating an air gap between the log house and the board siding, which allowed ventilation through the gaps in the board connections. Thus, wooden log houses with wooden board siding represented ventilated facades, a feature that is now widely used. This article presents the results of studies evaluating the thermal insulation properties of wooden board siding with air gaps, considering outside air infiltration through the gaps between the boards. The studies showed that the presence of board siding increases the temperature on the interior surface of the log house in the joint

area by 3.5–5.0 °C and reduces the probability of condensate formation. The solution of the balance equation for heat transfer through an external log wall with an air gap and board siding allowed us to obtain an analytical expression for calculating the temperature in the air gap depending on the wind speed and the amount of infiltrating air at various board abutments, and to evaluate the thermal insulation characteristics of wooden board siding on the log wall, considering infiltration. In the future, this method can be used to calculate the thermal protection of external walls covered with modern siding.

Keywords: wooden log house, temperature, infiltration, wooden board siding, air permeability, heat transfer, thermal protection

For citation: Umnyakova N.P. Energy savings of log houses with wooden wall and board siding with air gap. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2026; 1:80-89. DOI: 10.22227/2311-1518.2026.1.80-89 (rus.).

Отличительной особенностью климата на территории Российского государства были низкие зимние температуры. Мороз в Центральной России обычно воспринимается как температура ниже –20 °C, просто холод — нормальная для зимнего времени температура между –10 и –20 °C [1]. Анализ температурных показателей случайно выбранных лет середины XVII в. дает основания утверждать, что XVII столетие на Руси относилось к «малому ледниковому периоду» [2]. И, несмотря на произошедшее потепление в конце XX – начале XXI в. [3], российский климат остается достаточно суровым. Поэтому вопросы обеспечения энергосбережения в домах, деревянных срубах, которые были широко распространены по всей Руси, остается актуальным по сей день.

Одним из самых распространенных материалов на Руси была древесина. Большая часть России, Сибирь, Русский Север были покрыты девственными лесами. Древесина была самым доступным материалом, легко обрабатываемым, достаточно легким и с хорошими теплозащитными качествами. Поэтому дома, храмы, башни, крепостные стены и другие постройки, возведенные из деревянных бревен, были распространены по всей территории России (рис. 1).

При возведении деревянных домов плотники всегда использовали топор: его лезвие во время рубки рассекает древесину, «заминает» волокна и уплотняет поры. Благодаря этому влага практически не проникает в поры древесины. А при использовании пилы в месте распила древесина «распушается», влага свободно проникает вглубь пор и древесина загнивает достаточно быстро. Заметив эту особенность, плотники в основном рубили дома топором, и поэтому рубленные постройки стали называться срубами.

Достаточно суровые климатические условия на Руси с холодными и продолжительными зимами приучили жителей делать все для сохранения тепла. Поэтому как основные элементы сруба, так и декоративные были нацелены на обеспечение защиты от холода.

На рис. 2 показан старый деревянный дом, богато декорированный резными деревянными украшениями. На первый взгляд эти элементы являются украшением фасада дома, однако они выполняют и защитные функции. Например, наличники на окнах, которые придают архитектурную выразительность, своеобразие постройке и подчеркивают оконный проем, защищают зону примыкания оконного блока



Рис. 1. Традиционные для Руси рубленные деревянные дома: деревянная изба крестьянина, музей деревянного зодчества, Суздаль



Рис. 2. Деревянный дом в Нижнем Новгороде

к деревянной стене от продувания и проникновения холодного воздуха внутрь помещения. Деревянная обшивка досками выступающих торцов бревен на углах дома позволяет защитить открытые торцы бревен от проникновения влаги и несколько утеплить наружный угол. Обязательным элементом деревянной избы была причелина или ветровая планка — доска, расположенная на фасаде дома, закрывающая торцы сруба либо крыши и защищающая подкровельное пространство от продувания. Такие доски обычно украшались различным орнаментом и придавали своеобразный облик каждому дому, которые украшали [4].

В XVII–XVIII вв. деревянные срубы стали снаружи обшивать досками. И существует предположение,

что деревянный дворец царя Алексея Михайловича в Коломенском снаружи имел дощатую деревянную обшивку (рис. 3).

В те времена деревянную обшивку досками позволить себе мог только состоятельный владелец дома, так как процесс изготовления досок был достаточно трудоемким: бревна топорами расщепляли вдоль волокон и в результате получали доски. Однако с течением времени технология изготовления досок сильно упростилась и уже в XIX в. деревянные срубы очень часто обшивали досками. В результате между бревнами и досками обшивки образовывалось воздушное пространство, которое вентилировалось через неплотности досок обшивки. И такая конструкция деревянной стены представ-



Рис. 3. Дворец царя Алексея Михайловича в Коломенском. Архивная акварель

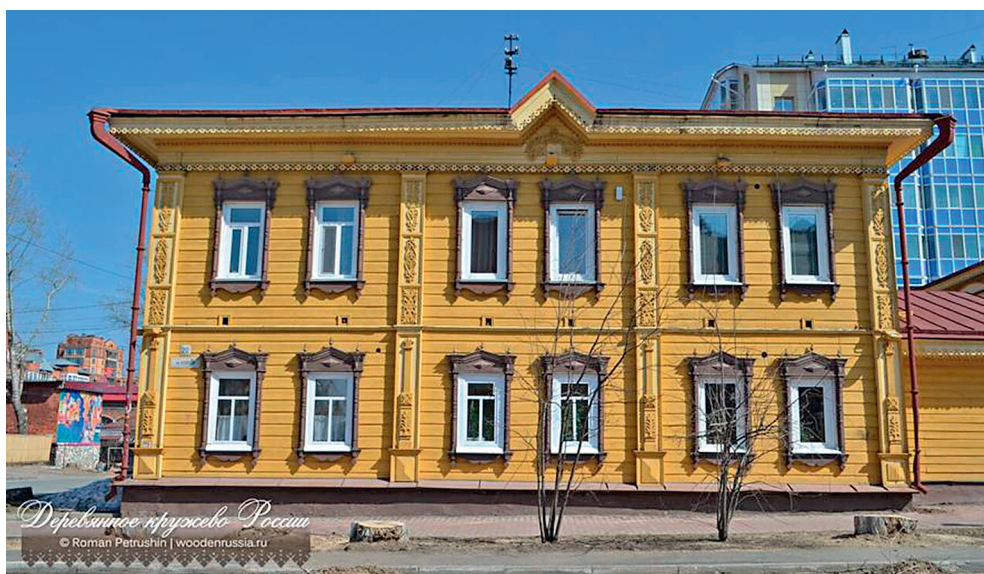


Рис. 4. Деревянный дом с обшивкой из досок в Томске

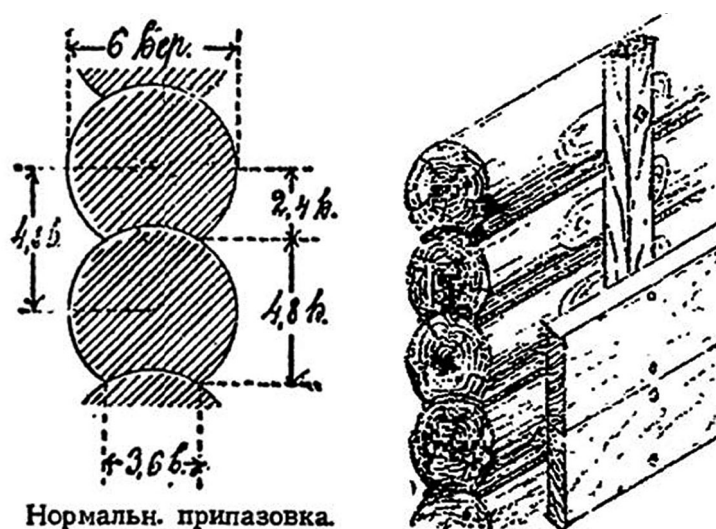


Рис. 5. Обшивка сруба деревянными досками по брускам с образованием воздушного пространства между бревнами и досками обшивки с нормальной припазовкой 6-вершковых бревен

ляла собой вентилируемый фасад [5, 6]. Многие из построек того времени с деревянной дощатой обшивкой сохранились и до сегодняшних дней (рис. 4). Помимо защиты бревен сруба от непосредственного попадания влаги при дожде или снегопаде, деревянная обшивка с воздушной прослойкой позволяла повысить теплозащитные качества деревянной стены. При этом необходимо было учитывать, что в срубе из бревен в местах примыкания бревен друг к другу (в зоне припазовки) толщина стены резко уменьшается и создаются условия для ее промерзания.

В Урочном положении [7], подготовленном еще во второй половине XIX в. графом Н.И. де-Рошефором, отмечается, что «критическое место деревянной стены составляет ее припазовка (ширина паза на пакле): чтобы стена не промерзала, припазовка

должна быть шириною в 3,6 вершка¹, а это возможно только при 6-вершковом лесе; с бревнами в 41/2 до 5 вершков припазовка выходит в 2 вершка и такие стены в северной полосе промерзают» (рис. 5).

Анализ характера распределения температур на поверхности бревенчатой стены показал, что наличие воздушной прослойки и дощатой обшивки на отnose позволяет улучшить теплозащитные качества рубленой стены (рис. 6, 7).

Проведенные расчеты температурных полей показали, что на внутренней стороне бревенчатой стены в зоне припазовки при отсутствии дощатой обшивки при припазовке, равной 15,5 см, температура внутренней поверхности опускается: при $t_n = -20^\circ\text{C}$ до $11,46^\circ\text{C}$; при $t_n = -30^\circ\text{C}$ до $9,77^\circ\text{C}$;

¹ 1 вершок = 4,445 см; 2 вершка = 8,89 см; 3,6 вершка = 16 см.

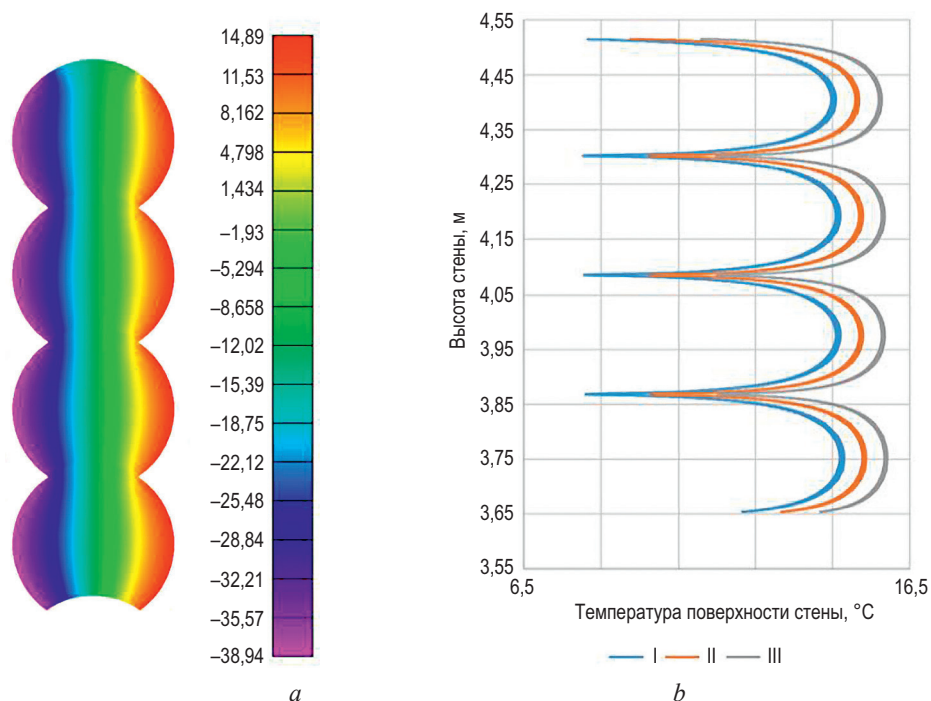


Рис. 6. Распределение температур в толще и по внутренней поверхности бревенчатой стены толщиной 26 см с припазовкой 15,5 см: *a* — температурное поле в толще стены при $t_b = +18$ °C, $t_n = -40$ °C; *b* — распределение температур по поверхности стены при: I — $t_b = +18$ °C, $t_n = -40$ °C; II — $t_b = +18$ °C, $t_n = -30$ °C; III — $t_b = +18$ °C, $t_n = -20$ °C

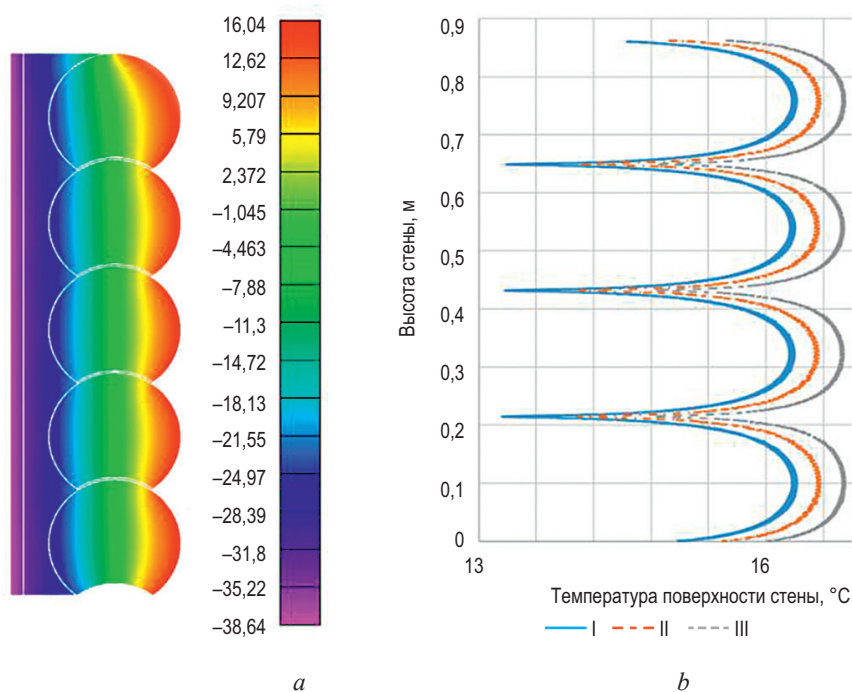


Рис. 7. Распределение температур в толще и по внутренней поверхности бревенчатой стены толщиной 26 см с припазовкой бревен 15,5 см и конопаткой паклей с деревянной обшивкой из досок при толщине воздушного пространства 0,06 м: *a* — изополя температур в толще стены при $t_b = +18$ °C, $t_n = -40$ °C; *b* — распределение температур по поверхности стены при: I — $t_b = +18$ °C, $t_n = -40$ °C; II — $t_b = +18$ °C, $t_n = -30$ °C; III — $t_b = +18$ °C, $t_n = -20$ °C

при $t_n = -40$ °C до 8,52 °C. При температуре внутреннего воздуха $t_b = 18$ °C конденсат на внутренней поверхности стены в зоне припазовки будет образовываться, соответственно, при влажности внутреннего воздуха выше 65, 58 и 53 %.

Устройство деревянной обшивки на отnose при толщине воздушного пространства 0,06 м с наружной стороны сруба позволяет повысить температуру на внутренней поверхности бревенчатой стены при припазовке, равной 15,5 см: при $t_n = -20$ °C до

14,89 °C; при $t_n = -30$ °C до 14,21 °C; при $t_n = -40$ °C до 13,48 °C. При температуре внутреннего воздуха $t_b = 18$ °C конденсат будет образовываться в зоне припазовки при влажности внутреннего воздуха при значительно более высокой влажности, соответственно выше 82, 78 и 75 %.

Таким образом, наличие дощатой обшивки с наружной стороны сруба позволяет улучшить тепловую защиту наружных стен, повысить температуру в зоне припазовки бревен и уменьшить вероятность образования конденсата на внутренней поверхности сруба.

В реальных условиях эксплуатации через дощатую обшивку при воздействии ветра холодный воздух проникает внутрь воздушной прослойки, что приводит к дополнительным инфильтрационным потерям теплоты.

Проанализируем влияние инфильтрации воздуха через деревянную обшивку из досок на температурный режим воздушных прослоек на основе решения уравнения теплового баланса. Величина теплового потока с учетом инфильтрации через деревянную обшивку из досок будет:

$$Q_{об}^{инф} = K_{об}^{инф} (t - t_n), \quad (1)$$

где $K_{об}^{инф}$ — коэффициент теплопередачи через дощатую обшивку с учетом инфильтрации, Вт/(м²·°C); t_n — температура наружного воздуха, °C.

Для определения коэффициента теплопередачи при инфильтрации воспользуемся формулой, предложенной в работе [8]:

$$K_{об}^{инф} = K_{об} + \Delta K = K_{об} + \frac{cW(K_{об} + cW)}{2K_{об} + cW}, \quad (2)$$

где $K_{об}$ — коэффициент теплопередачи через деревянную обшивку без учета инфильтрации, Вт/(м²·°C); cW — коэффициент фильтрационного теплообмена, Вт/(м²·°C).

Для оценки тепловой защиты деревянных стен с обшивкой воспользуемся данными по воздухопроницаемости дощатой обшивки i , представленными в работе [9], для различных видов примыкания досок друг к другу:

- при обрезных досках впритык: $i = 12,4$ кг/(м²·ч·Па);
- при обрезных досках в четверть: $i = 8,2$ кг/(м²·ч·Па);
- при шпунтованных досках: $i = 0,7$ кг/(м²·ч·Па).

Разность давления воздуха на наружной и внутренней поверхности деревянной обшивки из досок, вызванную действием ветрового напора, определим по следующему выражению [10]:

$$\Delta p = 0,55H(\gamma_n - \gamma_{воз.пр}) + 0,03\gamma_n v^2, \quad (3)$$

где H — высота здания по вертикали, м;

$\gamma_n, \gamma_{воз.пр}$ — плотность наружного воздуха и воздуха в воздушном пространстве, кг/м³;

v — расчетная скорость ветра, м/с.

Сопротивление воздухопроницанию определяется по формуле:

$$R_u = \delta/i,$$

где δ — толщина слоя, м;

i — коэффициент воздухопроницаемости материала, кг/(м²·ч·Па);

и по формуле:

$$R_u = \Delta p/W,$$

где Δp — разность давлений воздуха, Па;

W — количество фильтрующегося воздуха, кг/(м²·ч).

Приравнявая выражения для вычисления сопротивления воздухопроницания друг другу, получим: $\delta/i = \Delta p/W$, откуда $W = \Delta p i / \delta$, где $i/\delta = J$ с размерностью [кг/(м²·ч·Па)] и Δp , Па. Тогда количество фильтрующегося воздуха, кг/(м²·ч), проходящего через деревянную обшивку из досок, будет:

$$W = J \Delta p. \quad (4)$$

Проведем теплотехнический расчет наружной бревенчатой стены двухэтажного дома с высотой этажа 3 м. Расчет проводим для температуры внутреннего воздуха плюс 18 °C и наружного воздуха минус 26 °C. Наружная стена выполнена из бревен толщиной 0,26 м с деревянной обшивкой из досок толщиной 0,02 м и воздушной прослойкой между бревнами и дощатой обшивкой толщиной 0,06 м. Расчетная скорость ветра 4,9 м/с.

При проведении инженерных теплотехнических расчетов заменим бревна сруба диаметром 0,26 м на эквивалентный по сечению брус размером 0,22 × 0,22 м. Вычисляем, что средняя температура воздуха в воздушном пространстве между деревянной стеной и дощатой обшивкой составляет минус 19,86 °C.

По формуле (4) определим Δp для наружной деревянной обшивки из досок первого этажа. При этом примем, что при температуре наружного воздуха −26 °C его плотность равна $\gamma = 1,43$ кг/м³; при температуре воздуха в воздушном пространстве −19,86 °C его плотность равна $\gamma = 1,38$ кг/м³. Тогда Δp будет:

$$\begin{aligned} \Delta p &= 0,55 \cdot 6 \cdot (1,43 - 1,38) + \\ &+ 0,03 \cdot 1,43 \cdot 24,01 = 1,19 \text{ Па.} \end{aligned}$$

Количество воздуха, проходящего через деревянную дощатую обшивку, составит (рис. 8):

- при обрезных досках впритык: $W = 12,4 \cdot 1,19 = 14,766$ кг/(м²·ч);
- при обрезных досках в четверть: $W = 8,2 \cdot 1,19 = 9,760$ кг/(м²·ч);
- при шпунтованных досках: $W = 0,7 \cdot 1,19 = 0,833$ кг/(м²·ч).

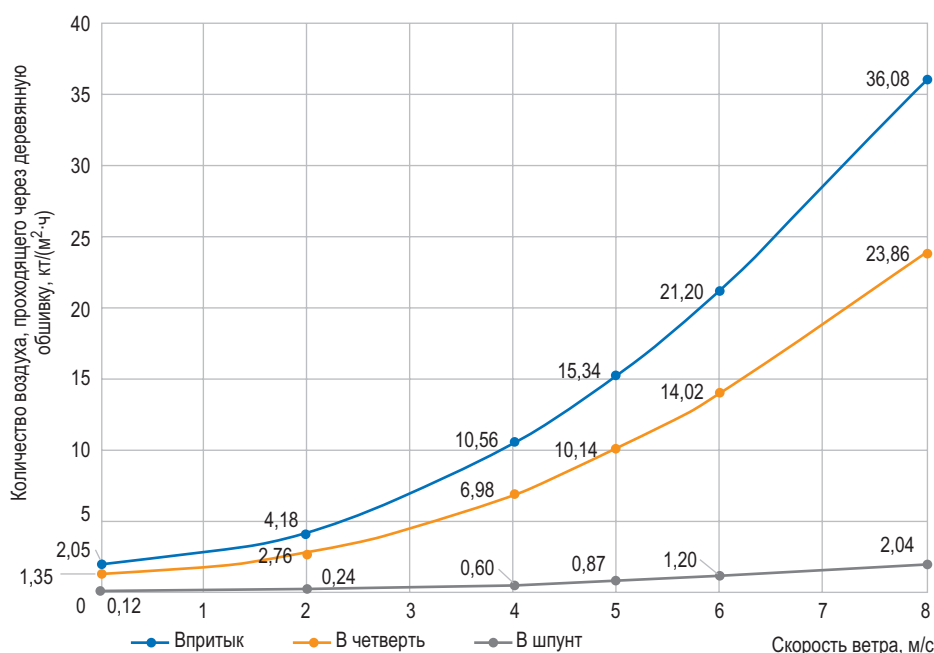


Рис. 8. Графики зависимости количества воздуха, проходящего через наружную обшивку, от скорости ветра при $\Delta p = 1,19$ Па

Определим численные значения коэффициента фильтрационного теплообмена для различных вариантов сопряжения досок при разном количестве инфильтрующего воздуха:

- при обрезных досках впритык: $cW = 0,278 \times 14,766 = 4,102 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
- при обрезных досках в четверть: $cW = 0,278 \times 9,760 = 4,713 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
- при шпунтованных досках: $cW = 0,278 \cdot 0,833 = 0,232 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Сопротивление теплопередаче деревянной обшивки из досок составит:

$$R_{\text{о.дер}} = R_{\text{н}} + \delta/\lambda + R_{\text{в.п}} = 0,043 + 0,02/0,18 + 0,075 = 0,229 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт}$$

или $K_{\text{об}} = 4,366 \approx 4,37 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Коэффициент теплопередачи деревянной обшивки с учетом инфильтрации, вычисляемый по формуле (2), составит:

- для обрезных досок впритык:

$$K_{\text{об}}^{\text{инф}} = 4,366 + \frac{4,102(4,366 + 4,102)}{2 \cdot 4,366 + 4,102} = 7,071 = 7,07 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

- для обрезных досок в четверть:

$$K_{\text{об}}^{\text{инф}} = 4,366 + \frac{2,713(4,366 + 2,713)}{2 \cdot 4,366 + 2,713} = 6,043 = 6,04 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

- для шпунтованных досок:

$$K_{\text{об}}^{\text{инф}} = 4,366 + \frac{0,232(4,366 + 0,232)}{2 \cdot 4,366 + 0,232} = 4,483 = 4,48 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

Как видно из расчетов, при воздействии инфильтрации наружного воздуха теплозащитные качества дощатой обшивки ухудшаются и меняются в зависимости от вида сопряжения досок обшивки. Так, при обрезных досках впритык тепловая защита обшивки ухудшается на 61,7 %, для обрезных досок в четверть — на 38,2 %, а при шпунтованных досках — на 2,5 %.

Для нахождения зависимости температуры воздуха в воздушной прослойке от воздухопроницаемости и, соответственно, коэффициента теплопередачи дощатой обшивки при инфильтрации рассмотрим процесс передачи теплоты через наружную стену с дощатой обшивкой.

Величина теплового потока, поступающая из помещения через деревянный сруб $Q_{\text{дер.сруб}}$, в воздушное пространство будет:

$$Q_{\text{дер.сруб}} = K_{\text{дер.сруб}}(t_{\text{в}} - t), \quad (5)$$

где $K_{\text{дер.сруб}}$ — коэффициент теплопередачи деревянного сруба, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ и

$$K_{\text{дер.сруб}} = \left(R_{\text{в}} + \frac{\delta_{\text{дер.сруб}}}{\lambda_{\text{дер.сруб}}} + R_{\text{воз.пр}} \right)^{-1}$$

$R_{\text{в}}$ — сопротивление теплоотдачи внутренней поверхности $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт}$;

$\delta_{\text{дер.сруб}}$ — толщина деревянного сруба, м;

$\lambda_{\text{дер.сруб}}$ — коэффициент теплопроводности деревянного сруба $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

$R_{\text{воз.пр}}$ — сопротивление теплоотдачи поверхности сруба, обращенной в воздушное пространство $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт}$. Подставляя численные значения, получим: $K_{\text{дер.сруб}} = (0,115 + 0,22/0,18 + 0,075)^{-1} = 0,709 \approx 0,71 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Количество теплоты, затрачиваемое на нагрев воздуха в воздушном пространстве при изменении температуры без учета инфильтрации и с ней, будет:

$$\Delta Q = cWdt. \quad (6)$$

Рассмотренные уравнения (1), (5) и (6) позволяют для стационарных условий теплопередачи написать уравнение теплового баланса в следующем виде:

$$Q_{\text{дер.сруб}} - Q_{\text{об}}^{\text{инф}} = \Delta Q$$

или

$$K_{\text{дер.сруб}}(t_{\text{в}} - t)dF - K_{\text{об}}^{\text{инф}}(t - t_{\text{н}})dF = cWdt; \quad (7)$$

$$[(K_{\text{дер.сруб}}t_{\text{в}} + K_{\text{об}}^{\text{инф}}t_{\text{н}}) - (K_{\text{дер.сруб}}t + K_{\text{об}}^{\text{инф}}t)]dF = cWdt. \quad (8)$$

Обозначим $A = K_{\text{дер.сруб}}t_{\text{в}} + K_{\text{об}}^{\text{инф}}t_{\text{н}}$ и $B = (K_{\text{дер.сруб}} + K_{\text{об}}^{\text{инф}})t$, тогда уравнение (8) переписывается в виде:

$$(A - Bt)dF = cWdt. \quad (9)$$

Принимаем $A - Bt = x$ и про дифференцируем $dx = (A - Bt) = -Bdt$, тогда:

$$dt = -\frac{1}{B}dx; \int \frac{dt}{A - Bt} = \int \frac{-\frac{1}{B}dx}{x} = -\frac{1}{B} \int \frac{dx}{x}$$

и получим $-\frac{1}{B} \int \frac{d(A - Bt)}{A - Bt}$.

Произведем интегрирование от 0 до F и от $t_{\text{воз.пр}}$ до $t_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}}$:

$$\int_{F_0}^F \frac{dF}{cW} = \int_{t_{\text{воз.пр}}}^{t_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}}} \frac{dt}{A - Bt}$$

или

$$\int_0^F \frac{dF}{cW} = -\frac{1}{B} \int_{t_{\text{воз.пр}}}^{t_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}}} \frac{d(A - Bt)}{A - Bt} = -\frac{1}{B} \ln(A - Bt) \Big|_{t_{\text{воз.пр}}}^{t_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}}}. \quad (10)$$

После интегрирования уравнения (10) оно примет следующий вид:

$$-\frac{1}{B} \ln(A - Bt_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}}) + \frac{1}{B} \ln(A - Bt_{\text{воз.пр}}) = \frac{F_0}{cW}$$

или

$$-\frac{1}{B} \ln \frac{(A - Bt_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}})}{(A - Bt_{\text{воз.пр}})} = \frac{F_0}{cW}. \quad (11)$$

Поскольку F_0 изменяется от 0 до F и t изменяется от $t_{\text{воз.пр}}$ до $t_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}}$, уравнение (9) примет следующий вид:

$$\frac{B}{cW} F = -\ln \frac{(A - Bt_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}})}{(A - Bt_{\text{воз.пр}})}$$

или

$$e^{-\frac{B}{cW}F} = \frac{(A - Bt_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}})}{(A - Bt_{\text{воз.пр}})}. \quad (12)$$

Из уравнения (12) получим температуру воздуха в воздушном пространстве при инфильтрации наружного воздуха через деревянную обшивку:

$$t_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}} = \frac{A}{B} - \left(\frac{A}{B} - t_{\text{воз.пр}} \right) e^{-\frac{B}{cW}F}. \quad (13)$$

При подстановке в уравнение (13) значений A и B получим уравнение (14):

$$t_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}} = \frac{K_{\text{дер.сруб}}t_{\text{в}} + K_{\text{об}}^{\text{инф}}t_{\text{н}}}{K_{\text{дер.сруб}} + K_{\text{об}}^{\text{инф}}} - \left(\frac{K_{\text{дер.сруб}}t_{\text{в}} + K_{\text{об}}^{\text{инф}}t_{\text{н}}}{K_{\text{дер.сруб}} + K_{\text{об}}^{\text{инф}}} - t_{\text{воз.пр}} \right) e^{-\frac{K_{\text{дер.сруб}} + K_{\text{об}}^{\text{инф}}}{cW}F}. \quad (14)$$

Если принять $F = 1 \text{ м}^2$, то уравнение (14) определения температуры воздуха в воздушном пространстве при инфильтрации воздуха через дощатую обшивку примет следующий вид:

$$t_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}} = \frac{K_{\text{дер.сруб}}t_{\text{в}} + K_{\text{об}}^{\text{инф}}t_{\text{н}}}{K_{\text{дер.сруб}} + K_{\text{об}}^{\text{инф}}} - \left(\frac{K_{\text{дер.сруб}}t_{\text{в}} + K_{\text{об}}^{\text{инф}}t_{\text{н}}}{K_{\text{дер.сруб}} + K_{\text{об}}^{\text{инф}}} - t_{\text{воз.пр}} \right) e^{-\frac{K_{\text{дер.сруб}} + K_{\text{об}}^{\text{инф}}}{cW}}. \quad (15)$$

По формуле (15) определяем среднюю температуру воздуха в воздушном пространстве при инфильтрации наружного воздуха через деревянную обшивку:

- из обрезных досок впритык:

$$t_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}} = \frac{0,709 \cdot 18 + 7,071 \cdot (-26)}{0,709 + 7,071} - \left[\frac{0,709 \cdot 18 + 7,071 \cdot (-26)}{0,709 + 7,071} + 19,86 \right] e^{-\frac{0,709 + 7,071}{4,102}} = -22,10^\circ\text{C};$$

- из обрезных досок в четверть:

$$t_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}} = \frac{0,709 \cdot 18 + 6,043 \cdot (-26)}{0,709 + 6,043} - \left[\frac{0,709 \cdot 18 + 6,043 \cdot (-26)}{0,709 + 6,043} + 19,86 \right] e^{-\frac{0,709 + 6,043}{2,713}} = -21,79^\circ\text{C};$$

- из шпунтованных досок:

$$t_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}} = \frac{0,709 \cdot 18 + 4,472 \cdot (-26)}{0,709 + 4,472} - \left[\frac{0,709 \cdot 18 + 4,472 \cdot (-26)}{0,709 + 4,472} + 19,86 \right] e^{-\frac{0,709 + 4,472}{0,232}} = -20,74^\circ\text{C}.$$

Как видно, разница температур между температурой воздуха в воздушном пространстве без учета инфильтрации и с учетом инфильтрации составила:

- для обрезных досок впритык: $t_{\text{воз.пр}} - t_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}} = -19,86 + 22,10 = 2,24 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- для обрезных досок в четверть: $t_{\text{воз.пр}} - t_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}} = -19,86 + 21,79 = 1,96 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- для шпунтованных досок: $t_{\text{воз.пр}} - t_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}} = -19,86 + 20,74 = 0,88 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Полученное уравнение (15) позволяет рассмотреть стационарный тепловой процесс поступления наружного воздуха в воздушное пространство и определить температуру в нем воздуха при инфильтрации. Результаты расчетов по формуле (15) для различных температур наружного воздуха представлены на рис. 7. Как следует из графика, на температуру воздуха в воздушном пространстве оказывает влияние количество воздуха, проходящее через обшивку, которое, в свою очередь, зависит от вида сопряжения досок обшивки — в шпунт, в четверть или впритык.

Анализ результатов расчетов по формуле (15) показал, что с понижением температуры наружного воздуха влияние инфильтрации на температуру воздуха в воздушном пространстве увеличивается. Наиболее высокие температуры воздуха наблюдаются в случае малой воздухопроницаемости дощатой обшивки при сопряжении досок в шпунт, наиболее низкие — при большой воздухопроницаемости дощатой обшивки. При сопряжении досок впритык температуры в воздушном пространстве наиболее низкие.

Разработанную методику расчета температуры воздуха в вентилируемой воздушной прослойке при воздухопроницаемой обшивке и методику расчета тепловой защиты наружных стен с дощатой обшивкой при инфильтрации наружного воздуха можно использовать при теплотехническом расчете наружных стен, обшитых современным сайдингом.

Таким образом на основании проведенных исследований получены следующие выводы.

1. Для повышения теплоизоляционных качеств наружных стен на Руси использовались различные элементы, которые впоследствии украшались и

сейчас воспринимаются как декоративные, хотя их основным функциональным назначением является тепловая защита. В частности, устройство дощатой обшивки на наружной поверхности рубленых стен позволяет повысить теплозащитные качества этих ограждений и создает условия для декоративной отделки дома.

2. Проведенные исследования показали, что деревянные стены из бревен (или бруса) с дощатой обшивкой на отnose и вентилируемой воздушной прослойкой, возводимые на Руси с XVII–XVIII вв., являются прообразами современных навесных вентилируемых фасадных систем.

3. В результате математического моделирования методом конечных элементов конструкций бревенчатой стены с воздушным пространством и дощатой обшивкой на отnose получена картина распределения температур по внутренней поверхности бревенчатых стен, позволившая установить, что наличие обшивки из досок с воздушным пространством в конструкции бревенчатого сруба позволяет улучшить тепловую защиту стен и повысить температуру на их внутренних поверхностях.

4. Разработанная методика расчета коэффициента теплопередачи дощатой обшивки показала, что ее устройство на наружной поверхности брусчатых стен способствует повышению теплозащитных качеств ограждения как при наличии инфильтрации, так и при ее отсутствии.

5. На основе разработанного метода расчета для конструкции вентилируемого фасада, состоящей из бревенчатой стены и дощатой обшивки на отnose, получена аналитическая зависимость для расчета температуры в вентилируемом воздушном пространстве при инфильтрации наружного воздуха через деревянные обшивки с различной воздухопроницаемостью.

6. Разработанные в статье методы теплотехнических расчетов деревянных стен с дощатой обшивкой на отnose в дальнейшем могут быть использованы при оценке тепловой защиты стен с обшивкой современным сайдингом из винила (ПВХ), металла (сталь, алюминий), древесно-полимерного композита (ДПК), фиброцемента и керамики.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Канищев В.В., Мизис Ю.А. К вопросу о методах историко-климатических исследований: московские погоды в середине XVII и середине XX вв. // История и современность. 2014. № 2 (20). С. 17–28.
2. Слепцов А.М., Клименко В.В. Обобщение палеоклиматических данных и реконструкция климата Восточной Европы за последние 2000 лет // История и современность. 2005. Т. 1. С. 118–135.
3. Переведенцев Ю.П., Васильев А.А., Шерстюков Б.Г., Шанталинский К.М. Климатические изменения на территории России в конце XX – начале XXI века // Метеорология и гидрология. 2021. № 10. С. 14–26. DOI: 10.52002/0130-2906-2021-10-14-26
4. URL: <https://bydom.ru/news/read/uznajte-cto-takoe-prichelina-i-posmotrite-foto-elementov-drevnerusskogo-zodchestva.html>

5. Подъяпольский С.С., Бессонов Г.Б., Беляев Л.А., Постников Т.М. Реставрация памятников архитектуры : уч. пос. для вузов. М. : Стройиздат, 1988. 264 с.
6. Умнякова Н.П. Прообразы конструкций вентилируемых фасадов в зданиях Древней Руси // Жилищное строительство. 2012. № 6. С. 25–28.
7. Рошефор Н.И. Иллюстрированное Урочное положение. Пособие при составлении и проверки смет, проектировании и исполнении работ. М., 1906. 730 с.
8. Власов О.Е. Основы строительной теплотехники // ВИА РККА. М., 1938. 93 с.
9. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. 5-е изд., пересмотр. / под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина. М. : АВОК–ПРЕСС, 2006. 256 с.
10. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02–2003. М., 2012. 87 с.

Об авторе: **Нина Павловна Умнякова** — доктор техн. наук, заместитель директора по науке; **Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН)**; 127238, г. Москва, Локомотивный пр-д, д. 21; доцент, профессор кафедры ПГС; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; e-mail: n.umniakova@mail.ru.

REFERENCES

1. Kanishchev V.V., Mizis Yu.A. On the Methods of Historical and Climatic Research: Moscow Weather in the Mid-17th and Mid-20th Centuries. *History and Modernity*. 2014; 2(20):17-28. (rus.).
2. Sleptsov A.M., Klimenko V.V. Generalization of Paleoclimatic Data and Reconstruction of the Climate of Eastern Europe over the Past 2000 Years. *History and Modernity*. 2005; 1:118-135. (rus.).
3. Perevedentsev Yu.P., Vasiliev A.A., Sherstyukov B.G., Shantalinsky K.M. Climatic Changes in Russia at the End of the Twentieth — Beginning of the Twenty-first Century. *Meteorology and Hydrology*. 2021; 10:14-26. DOI: 10.52002/0130-2906-2021-10-14-26 (rus.).
4. URL: <https://bydom.ru/news/read/uznajte-cto-takoe-prichelina-i-posmotrite-foto-elementov-drevnerusskogo-zodchestva.html>
5. Pod'yapol'sky S.S., Bessonov G.B., Belyaev L.A., Postnikov T.M. *Restoration of Architectural Monuments : a Text-book for Universities*. Moscow, Stroyizdat, 1988; 264. (rus.).
6. Umnyakova N.P. Prototypes of Ventilated Facade Designs in Buildings of Ancient Rus. *Housing Construction*. 2012; 6:25-28. (rus.).
7. Rochefort N.I. *Illustrated Lesson Regulations. A Guide to Preparing and Checking Estimates, Designing and Executing Work*. Moscow, 1906; 730. (rus.).
8. Vlasov O.E. Fundamentals of Structural Thermal Engineering. *VIA RKKA*. Moscow, 1938; 93. (rus.).
9. Fokin K.F. *Structural Thermal Engineering of Building Enclosures. 5th edition, revised*. Ed. Yu.A. Tabunshchikov, V.G. Gagarin. Moscow, AVOK-PRESS, 2006; 256. (rus.).
10. SP 50.13330.2012. Thermal Protection of Buildings. Updated Version of SNiP 23-02–2003. Moscow, 2012; 87. (rus.).

About the author: **Nina P. Umnyakova** — D. Sc. in Engineering, Deputy Director; **Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN)**; 21 Lokonotive passage, Moscow, 127238, Russian Federation; Assoc. Prof., professor of the Department of Industrial and Civil Engineering; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: n.umniakova@mail.ru.

Общие требования

- Представляемый материал должен быть **оригинальным, не опубликованным ранее** в других печатных изданиях.
- Статья предоставляется в **1 экземпляре** на бумажном носителе или в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).
- В одном сборнике может быть опубликована только **одна** статья **одного** автора, включая соавторство.
- Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.
- Если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания рецензента. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи.
- Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки — РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

Требования к содержанию научной статьи

- Научная статья, предоставляемая в журналы, должна иметь следующие **обязательные элементы**:
- постановка проблемы или задачи в общем виде;
- анализ достижений и публикаций, в которых предлагается решение данной проблемы или задачи, на которые опирается автор, выделение научной новизны;
- исследовательская часть;
- обоснование полученных результатов;
- выводы по данному исследованию и перспективы дальнейшего развития данного направления.

Требования к оформлению научной статьи

- Статья должна быть набрана шрифтом TimesNewRoman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ — 0,75 см, верхнее поле — 2 см, нижнее поле — 2 см, левое поле — 2 см, правое поле — 2 см.
- Слова внутри абзаца следует разделять одним пробелом; набирать текст без принудительных переносов; не допускаются разрядки слов.
- Рисунки и таблицы располагаются по тексту. Таблицы должны иметь тематические заголовки. Иллюстрации, встраиваемые в текст, должны быть выполнены в одном из стандартных форматов (TIFF, JPEG, PNG) с разрешением не ниже 300 dpi. Качество рисунков должно обеспечивать возможность их полиграфического воспроизведения без дополнительной обработки. **Рисунки, выполненные в MSWord, недопустимы.**
- Для набора формул и переменных следует использовать редактор формул MathType версии 5.2 и выше с размерами: обычный — 12 пт; крупный индекс 7 пт, мелкий индекс — 5 пт; крупный символ — 18 пт; мелкий символ — 12 пт. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ).
- Необходимо учитывать, что полоса набора — 75 мм. Если формула имеет больший размер, ее необходимо упростить или разбить на несколько строк. Формулы, внедренные как изображение, не допускаются! Все русские и греческие буквы (Ω , η , β , μ , ω , ν и др.) в формулах должны быть набраны прямым шрифтом. Обозначения тригонометрических функций ($\sin$, $\cos$, $\tg$ и т.д.) — прямым шрифтом. Латинские буквы — курсивом. Химические формулы набираются прямым шрифтом.
- Список литературы к статье обязателен и должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы. Пристатейные библиографические списки оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5–2008. «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». Ссылки на работы, находящи-

еся в печати, не допускаются. При ссылке на литературный источник в тексте приводится порядковый номер работы в квадратных скобках.

В тексте статьи не рекомендуется применять:

- обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
- для одного и того же понятия различные научные термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
- сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами.
- сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

Обязательные элементы:

- **заглавие** (на русском и английском языке) публикуемого материала должно быть точным и емким, слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;
- **аннотация** (на русском и английском языке) описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый средний объем — 200–250 слов;
- **ключевые слова** (на русском и английском языке) — это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5–10 ключевых слов.
- **список литературы**, на которую автор ссылается в тексте статьи, — не менее 15 источников, самоцитирование — до 20 %.
- **сведения об авторах** (на русском и английском языке), включающие ученую степень, ученое звание авторов, место и должность работы, электронную почту. В статье допускается не более 4 соавторов.

Право использования произведений предоставлено авторами на основании п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации.

Тип статьи
УДК
DOI:

ЗАГОЛОВОК СТАТЬИ

Имя Отчество Фамилия¹, Имя Отчество Фамилия²...

¹ Место работы первого автора полное и сокращенное; город, страна

² Место работы второго автора полное и сокращенное; город, страна

Аннотация (от 200 до 250 слов). Текст текст текст.

Ключевые слова: (5–10 слов) текст, текст, текст, текст, текст

Благодарности (если нужно).

Автор, ответственный за переписку: Имя Отчество Фамилия, адрес электронной почты для связи.

ЗАГОЛОВОК СТАТЬИ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

Имя О. Фамилия¹, Имя О. Фамилия²... на английском языке

¹ Место работы первого автора полное и сокращенное; город, страна — на английском языке

² Место работы второго автора полное и сокращенное; город, страна — на английском языке

Abstract (200–250 слов). Text.

Keywords: (5–10 слов) text, text, text.

Acknowledgements: text, text, text.

Corresponding author: Имя О. Фамилия, адрес электронной почты для связи — на английском языке

Основной текст [1, 2].

Текст (табл. 1).

Таблица 1. Пример таблицы в статье

Наименование показателя	Единица измерения	Концентрация	Допустимая концентрация	Уровни, требующие вмешательства
Кадмий	мг/кг	0,02–0,1	0,8	12
Никель		1,0–5,5	35	210
Медь		0,7–2,6	36	190

Текст (рис. 1).



a



b

Рис. 1. Пример рисунка в статье

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Самарин О.Д. О расчете охлаждения наружных стен в аварийных режимах теплоснабжения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 2. С. 46–50. URL: <http://izvuzstr.sibstrin.ru/uploads/publication/fulltext/2-2007.pdf> (дата обращения: 04.12.18).
2. Мусорина Т.А., Петриченко М.Р. Математическая модель тепломассопереноса в пористом теле // Строительство: наука и образование. 2018. Т. 8. № 3. С. 35–53. DOI: 10.22227/2305-5502.2018.3.3

Об авторах: **Имя, Отчество, Фамилия** (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме, в именительном падеже), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации; адрес электронной почты;

Имя, Отчество, Фамилия (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение, **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме, в именительном падеже), в которой работает (учится) автор, почтовый адрес организации, адрес электронной почты.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Samarin O.D. On calculation of external walls coling in emergency condition of heat supply. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Construction*. 2007; 2:46-50. URL: <http://izvuzstr.sibstrin.ru/uploads/publication/full-text/2-2007.pdf> (Accessed 19th June 2015). (rus.).
2. Musorina T.A., Petrichenko M.R. Mathematical model of heat and mass transfer in porous body. *Construction: science and education*. 2018; 8(3):35-53. DOI: 10.22227/2305-5502.2018.3.3 (rus.).

About the author (сведения об авторах на английском языке приводятся в полном виде, без сокращений слов): **Имя, Отчество, Фамилия** (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации (в последовательности: офис, дом, улица, город, индекс, страна); адрес электронной почты;

Имя, Отчество, Фамилия (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации (в последовательности: офис, дом, улица, город, индекс, страна); адрес электронной почты.

Contribution of the authors: all authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Учредители журнала:

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет» (ЮЗГУ)
305040, Россия, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94
Тел.: +7 (4712) 50-48-00, www.swsu.ru
E-mail: swsu.ee@gmail.com

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Брянский государственный инженерно-технологический университет»
(БГИТУ)
241037, Россия, г. Брянск, проспект Станке Димитрова, 3
Тел.: +7(4832) 74-60-08, www.bgita.ru
E-mail: mail@bgita.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН)
127238, Россия, г. Москва, Локомотивный проезд, 21
Тел.: +7 (495) 482-39-67, E-mail: niisf@niisf.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет» (НИУ МГСУ)
129337, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, 26
Тел.: +7(495) 781-80-07, www.mgsu.ru
E-mail: kanz@mgsu.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Центральный научно-исследовательский и проектный институт Министерства
строительства и жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации» (ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России»)
119331, Россия, г. Москва, проспект Вернадского, 29
Тел: +7 (499) 951-95-21, www.cniipminstroy.ru
E-mail: info@cniipminstroy.ru

Адрес редакции и издателя

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет».
Издательство МИСИ – МГСУ
129337, Москва, Ярославское ш., д. 26.
Сайт: www.mgsu.ru
E-mail: journals@mgsu.ru

Право использования произведений предоставлено
авторами на основании п. 2 ст. 1286 Четвертой части
Гражданского Кодекса Российской Федерации

Ответственный за выпуск:

канд. техн. наук Анна Евгеньевна Коробейникова
Выпускающий редактор: Алла Русланбековна Табекова
Редактор: Людмила Борисовна Корзухина
Корректор: Оксана Валерьевна Ермихина
Дизайн и верстка: Владимир Викторович Дёмкин

Подписано в печать 30.03.2026
Формат 60×84 1/8. Печ. л. 11,04
Тираж 1000 экз.
Заказ № 127.

Отпечатано с готового оригинал-макета