



16+



МИСИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Научно-технический журнал
Издается с 2013 года.

Выходит четыре раза в год.

№ 2 (50), 2025

Дата выхода в свет
23.06.2025

Главный редактор **Ильичев В.А.**
акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.
Заместители главного редактора:
Егорушкин В.А. канд. с.-х. наук, доц.
Колчунов В.И. акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.
Бакаева Н.В. советник РААСН, д-р техн. наук, проф.

Редколлегия

Азаров В.Н. д-р техн. наук, проф.
Акимкин Е.М. канд. социол. наук
Алексашина В.В. д-р архитектуры, проф.
Асеева И.А. д-р филос. наук, проф.
Бок Т. д-р техн. наук, проф. (Германия)
Брандль Х. д-р техн. наук, проф. (Австрия)
Бредихин В.В. д-р экон. наук, доц.
Булгаков А.Г. д-р техн. наук, проф.
Ван-дер Ю. д-р техн. наук, проф. (Тайвань)
Воличенко О.В. советник РААСН, д-р арх., проф.
Волков А.А. чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф.
Гордон В.А. д-р техн. наук, проф.
Данилина Н.В. д-р техн. наук, чл.-кор. РААСН
Ежов В.С. д-р техн. наук, проф.
Емельянов С.Г. чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф.
Казарян А.Ю. д-р иск., акад. РААСН
Леденев В.И. д-р техн. наук, проф.
Лисеев И.К. д-р филос. наук, проф.
Неделин В.М. проф.
Николов Н.Д. иностранный член РААСН, д-р техн. наук, проф. (Болгария)
Осипов В.И. акад. РАН, д-р техн. наук, проф.
Пилипенко О.В. д-р техн. наук, проф.
Теличенко В.И. акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.
Тур В.В. д-р техн. наук, проф. (Белоруссия)
Умнякова Н.П. д-р тех. наук, проф.
Федоров В.С. акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.
Федорова Н.В. д-р техн. наук, проф.
Шах Р. д-р техн. наук, проф. (Германия)
Шубенков М.В. акад. РААСН, д-р архитектуры, проф.
Шубин И.Л. чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф.
Ответственный за выпуск
Коробейникова А.Е. канд. техн. наук

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

Подписной 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, 2025

© БГИТУ, 2025

© НИИСФ РААСН, 2025

© НИУ МГСУ, 2025

© ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России», 2025

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

П.О. Егорьев. Продовольственная безопасность в ракурсе биосферной совместимости 2

Города, развивающие человека

Д.А. Фомина, А.Е. Коробейникова. Проектирование оздоровительных курортов: подходы к оценке туристического потенциала территории с использованием геоинформационных технологий 12

Градоустройство и архитектура

А.К. Зорина, И.Б. Мельникова. Формирование принципов классификации многоквартирного жилища повышенного класса комфортности 25

О.Ю. Лептихова, В.А. Чиркова. Совершенствование территориальной доступности школ на примере г. Королева Московской области 35

С.В. Образцова, Н.В. Бакаева. Методы определения рекреационной нагрузки на городские многофункциональные парки: исследование на примере Екатерининского парка г. Москвы 47

Н.В. Данилина, П.Т. Консака. Концепция здорового города: принципы размещения инфраструктуры массового спорта на примере города Котону, Республика Бенин 58

Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства

В.Б. Петропавловская, Е.В. Ткач, Т.Б. Новиченкова, Ю.С. Филимонова. Применение промышленной пыли в производстве цементных бетонов и растворов 72

Ю.Л. Сколупович, А.Ю. Сколупович, А.А. Цыба. Последствия техногенных катастроф и их ликвидации 81

Биосферосовместимые технологии

Е.С. Гогина, И.А. Гульшин, Е.В. Спасибо. Биоремедиация металлосодержащих сточных вод нефтеперерабатывающего завода с использованием хлореллы: динамика роста и снижение загрязнителей 91

Уважаемые авторы! 100

Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 2. С. 2–11.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 338.43

DOI: 10.22227/2311-1518.2025.2.2-11

ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В РАКУРСЕ БИОСФЕРНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

Павел Олегович Егорьев

ООО «Энергосервисконсалтинг»; г. Москва, Российская Федерация

Понимание факта глобальности сформировавшихся и не полностью еще сформировавшихся вызовов современности заставляет по-новому видеть и оценивать события повседневной жизни. При наличии желания разобраться в происходящем и способности мыслить независимо в происходящих сегодня событиях можно увидеть некоторые объективные факты, проливающие свет на современные особенности цивилизационного развития планеты. Безусловно, сегодня человечество живет в условиях наличия объективного глобального экологического кризиса, глобального экономического кризиса, глобального нравственного кризиса. Вся ситуация ставит цивилизацию на грань выживания. По оценкам ученых специалистов, стабильная экологическая ситуация, в которой возможно относительно нормальное проживание живых организмов, при нынешних темпах работы промышленности и уровне потребления составит не более 30–40 лет. Средствами преодоления кризисных ситуаций, сформулированных в рамках биосферной совместимости, являются, прежде всего, все возможные способы воспитания в обществе качеств высокой нравственности, духовности, бережного отношения к природе, нужна наука, ориентированная на изучение объективных законов природы, а также правильная организация экономики, стимулирующей точный образ мышления, оптимальную производственную и социальную сферы жизни, многополярность и многогранность исторически сформировавшихся культурных платформ.

Практическим примером высокотехнологичных разработок, позволяющих преодолеть кризисные ситуации, может являться технологический комплекс тепличного хозяйства нового поколения, функционирование которого не зависит от наличия солнечного света, климатических условий, сетевой энергетики, позволяя при этом получать плодовоовощную продукцию с улучшенными вкусовыми качествами и полноценным природным витаминным составом. В основе комплекса используются непрозрачный утепленный тепловой контур, инновационная система искусственной засветки с использованием LED и световодных технологий, уникальное микропроцессорное оборудование и специальное программное обеспечение, позволяющее точно управлять характеристиками света с учетом интенсивности, циркадных ритмов, биологических и спектральных ритмов, индивидуальных особенностей культивируемых сельхозкультур. Собственно говоря, возможность управления процессами фотоморфогенеза, фототропизма, фотопериодики, а также фотосинтеза и позволяет формировать вкусовые качества и витаминный состав плодов. Особое внимание предлагается уделить экологически чистой технологии обеззараживания тепличного хозяйства на основе фотокатализа, а также технологии «сухого полива».

Все оборудование, требующееся для организации предложенного тепличного комплекса, российского производства. Эта технология уже сегодня может решить серьезные проблемы энергетической и продовольственной безопасности отдаленных районов страны, где отсутствует сетевая инфраструктура (например, районы Арктики), может существенно улучшить социальный фактор, связанный с возможностью снижения стоимости качественной плодовоовощной продукции для малоимущих слоев населения.

Ключевые слова: экологический кризис, продовольственный кризис, инновационные технологии, тепличное хозяйство, непрозрачная теплица, тепловой контур, программное управление, фотоморфогенез, фототропизм, фотопериодика, фотосинтез, фотокатализ, энергезависимость, продовольственная безопасность

Для цитирования: Егорьев П.О. Продовольственная безопасность в ракурсе биосферной совместимости // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 2. С. 2–11. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.2.2-11

FOOD SECURITY FROM THE PERSPECTIVE OF BIOSPHERIC COMPATIBILITY

Pavel O. Yegoryev

LLC Energoservisconsulting; Moscow, Russian Federation

Understanding the fact of the globality of the formed and not yet fully formed challenges of our time makes us see and evaluate the events of everyday life in a new way. If there is a desire to understand what is happening and the ability to think independently, some objective facts can be seen in the events taking place today, shedding light on the modern features of the civilizational development of the planet. Of course, today humanity lives in conditions of an objective global environmental crisis, a global economic crisis, a global moral crisis. The whole situation puts civilization on the brink of survival. According to the estimates of scientific experts, a stable

ecological situation in which relatively normal living of living organisms is possible, at the current pace of industry and the level of consumption will be no more than 30–40 years. The means of overcoming crisis situations formulated within the framework of biospheric compatibility are, first of all, all possible ways of educating in society the qualities of high morality, spirituality, respect for nature, science focused on the study of objective laws of nature, the correct organization of the economy, stimulating the right way of thinking, optimal production and social spheres of life, multipolarity and versatility of historically formed cultural platforms.

A practical example of high-tech developments that allow overcoming crisis situations can be a technological complex of a new generation greenhouse economy, the functioning of which does not depend on the availability of sunlight, climatic conditions, grid energy, while allowing you to obtain fruit and vegetable products with improved taste and a full-fledged natural vitamin composition. The complex is based on an opaque insulated thermal circuit, an innovative artificial illumination system using LED and light-guiding technologies, unique microprocessor equipment and special software that allows point-to-point control of light characteristics taking into account intensity, circadian rhythms, biological and spectral rhythms, taking into account the individual characteristics of cultivated crops. Strictly speaking, the ability to control the processes of photomorphogenesis, phototropism, photoperiodics, as well as photosynthesis, and allows you to form the taste and vitamin composition of fruits. It is proposed to pay special attention to the environmentally friendly technology of disinfection of greenhouses based on photocatalysis.

All the equipment required for the organization of the proposed greenhouse complex of Russian production. The proposed technology can already solve serious problems of energy and food security in remote areas of the country where there is no network infrastructure (for example, the Arctic regions), can significantly improve the social factor associated with the possibility of reducing the cost of high-quality fruit and vegetable products for the poor.

Keywords: ecological crisis, food crisis, innovative technologies, greenhouse management, opaque greenhouse, thermal circuit, software management, photomorphogenesis, phototropism, photoperiodics, photosynthesis, photocatalysis, energy independence, taste, vitamin composition, food safety.

For citation: Yegoryev P.O. Food security from the perspective of biospheric compatibility. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2025; 2:2-11. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.2.2-11 (rus.).

Введение

Нынешний период времени характеризуется гигантскими изменениями в общественной и экономической жизни. Эти изменения затрагивают практически каждого человека на планете настолько сильно, что становится совершенно очевидным глобальный характер происходящих изменений.

Понимание факта глобальности сформировавшихся и не полностью еще сформировавшихся вызовов современности заставляет по-новому видеть и оценивать события повседневной жизни. При наличии желания разобраться в происходящем и способности мыслить независимо в происходящих сегодня событиях можно увидеть некоторые объективные факты, проливающие свет на современные особенности цивилизационного развития планеты.

Безусловно, сегодня человечество живет в условиях наличия объективного глобального экологического кризиса, глобального экономического кризиса, глобального нравственного кризиса. Вся ситуация ставит цивилизацию на грань выживания. По оценкам ученых специалистов, стабильная экологическая ситуация, в которой возможно относительно нормальное проживание живых организмов, при нынешних темпах работы промышленности и уровне потребления составит не более 30–40 лет [1].

Так есть ли выход из сложившихся обстоятельств, который позволит спасти ситуацию и вывести жизнь цивилизации в стабильную форму существования?

Сегодня, с точки зрения мировой истории, известны только два более или менее систематизированных и полностью противоположных взгляда на эту глобальную проблему: это так называемая теория

«золотого миллиарда» и теория биосферной совместимости. Общими у них является только глобальный подход и постановка стратегических задач. Но цели и методы совершенно противоположные.

Кратко напомним, что в рамках программы «золотого миллиарда» заявлено, что существующих ресурсов планеты недостаточно для полноценного существования нынешнего количества населения Земли. Поэтому основное количество людей должно быть уничтожено или превращено в социально-неорганизованную управляемую извне рабочую силу. Право на жизнь с материальным достатком и социальным статусом имеет только небольшое количество людей, не более одного миллиарда на всю планету. На достижение этой цели сегодня направлены практически все усилия коллективного Запада во главе с США [2].

В рамках теории биосферной совместимости предлагается подход по ускоренному реформированию основных сфер существования живой жизни в обстановке сложившегося доминирования технологического окружения с использованием ряда уже разработанных инновационных технологий, позволяющих не только выправить имеющуюся сегодня кризисную ситуацию, но и обеспечить дальнейший стабильный рост населения в ракурсе кардинального снижения техногенной нагрузки на живую природу при увеличении объема и снижения стоимости сельскохозяйственного производства. В случае обеспечения гармоничного роста населения на основе высоко-нравственных социальных принципов организации социума, при достижении определенного количества населения должна произойти общецивилизационная стабилизация планетарной жизни с высоким жизненным уровнем каждой личности социума [3].

Методы достижения целей «золотого миллиарда» мы все уже хорошо знаем: это войны и эпидемии, глобальный электронный концлагерь, подавление личности и насаждение разврата и ЛГБТ, откровенная ложь в средствах массовой информации, доведенная до уровня античеловеческой пропаганды и т.д. Одними из малоизвестных методов достижения целей уничтожения человечества являются сознательный увод мировой науки в тупиковые области исследований, требующие колоссальных материальных затрат, отличающиеся крайне малой эффективностью разработок и серьезной отдаленностью от изучения реальных законов мироздания, дискредитация и экономическое противодействие действительно перспективных научных разработок, часто вне рамок официальной науки.

Средствами достижения целей, сформулированных в рамках биосферной совместимости, являются, прежде всего, все возможные способы воспитания в обществе качеств высокой нравственности, духовности, бережного отношения к природе, наука, ориентированная на изучение объективных законов природы, правильная организация экономики, стимулирующая точный образ мышления, оптимальную производственную и социальную сферы жизни, многополярность и многогранность исторически сформировавшихся культурных платформ [4].

Возможна ли сегодня практическая реализация теории биосферной совместимости? Безусловно, да!

Не буду останавливаться на понятных всем вопросах. Культурные и религиозные основы жизни многих народов, отражающие нравственные ценности, еще не полностью уничтожены силами зла. Есть эффективные научные разработки, экологически чистые технологии и т.д. При наличии правильных управленческих, экономических, политических решений и доброй воли, ресурсов, позволяющих реализовать конструктивный принцип развития, пока достаточно [3].

Покажем эту возможность на примере создания теплицы перспективного технологического уклада, практическое массовое внедрение которой в условиях РФ может быть реализовано уже сегодня. Все

необходимые технологии в России не только имеются, но уже и отработаны на реальных объектах. Предлагаемая теплица не зависит от климатических условий, может быть реализована в полностью независимом от сетевых ресурсов и углеводородной энергетики варианте, позволяет снизить длительность вегетации, сформировать полноценный витаминный состав и высокие вкусовые качества плодовоовощной продукции.

Материалы

Эффективность тепличного хозяйства нового поколения предлагается оценивать в сравнении с параметрами и характеристиками классической теплицы, например, голландского производства [5] (табл. 1).

Рассмотрим поэлементную организацию теплицы нового поколения.

Тепловой контур теплицы — непрозрачный, наиболее эффективным материалом для его создания являются компактные сэндвич-панели на основе пенополиуретана (рис. 1). Сопротивление теплопередачи стенок такого строения будет составлять не меньше 6. Именно это обстоятельство позволяет использовать теплицу в экстремальных климатических зонах с минимальными энергозатратами на отопление или охлаждение в зависимости от региона использования.

Специальная светодиодная система освещения является важнейшей частью всего проекта. Следует отметить, что все имеющиеся в настоящий момент светодиодные системы освещения для сельхозпроизводства, имеющиеся на рынке и отличные от предложенной в данном проекте, в настоящий момент не могут обеспечить требуемых параметров освещенности, необходимых для закрытых помещений.

Система освещения, предложенная в рамках данного проекта, разработана для дальних космических перелетов и достаточно хорошо отработана в рамках международных проектов по освоению Марса: МАРС-500 и Сириус (рис. 2).

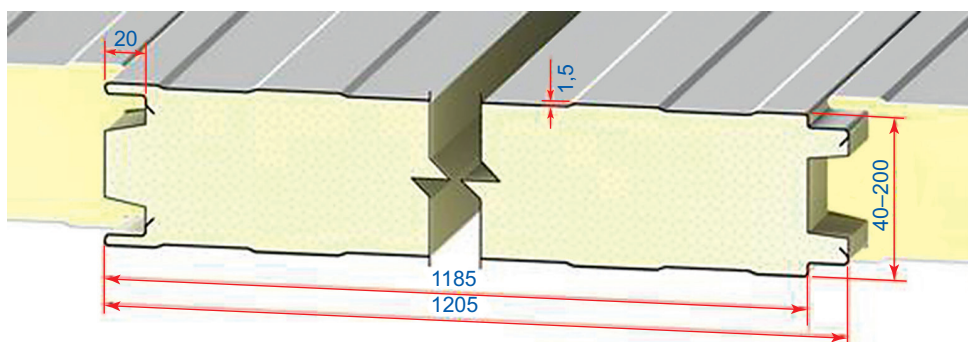


Рис. 1. Тепловой контур из ППУ панелей

Таблица 1. Сравнительные параметры классической и инновационной теплиц

Наименование параметра	Классическая теплица	Инновационная теплица
Тепловой контур	Стекло, сотовый поликарбонат	Непрозрачная сэндвич-панель
Мощность отопления на 1 Га	2 мВт	0,2 мВт
Мощность на досветку и освещение на 1 Га	3,5 мВт	0,7 мВт
Тип используемых светильников для досветки	ДНаТ в режиме Вкл – Выкл	LED с оригинальным микропроцессорным управлением циклами освещения и спектра
Ускорение вегетации и созревание плодов	Нет	Есть, примерно 10 %
Формирование вкусовых качеств	Нет	Есть, вкус соответствует натуральной грунтовой форме
Витаминный состав	Около 20 %	Примерно 99,9 %
Агротехника	Стандартная: грунт или гидропоника	Стандартная: грунт или гидропоника
Защита от грибных, вирусных и бактериальных инфекций	Химическая	Фотокаталитическая, экологически чистая
Уровень капитальных затрат на строительство с учетом стоимости энергоснабжения	100 %	110 %
Уровень эксплуатационных затрат, включая энергетическую составляющую в себестоимости продукции	100 %	20 %
Возможность автономной эксплуатации с использованием только возобновляемых источников энергии	Условно возможно, экономически не оправдано	Возможно, экономически эффективно
Географическая широта	Средняя полоса, южные регионы с кондиционированием	Не зависит от географической широты: включая районы Крайнего севера и объекты транспорта, например, ледоколы и подводные лодки
Типы растений	Цветы, зелень, типовая плодовоовощная продукция	Любые виды растений, включая тропические, и, при необходимости, приполярные

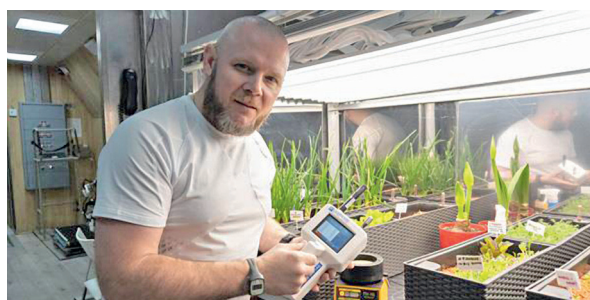


Рис. 2. Автономное тепличное хозяйство программ МАРС-500 и SIRIUS [6–9]

Особенностью предложенной системы освещения является то, что, кроме хлорофилла (зеленого красителя), лист растения содержит еще и другие пигменты, каротиноиды, которые помогают растениям усваивать и другие длины волн. Это означает, что лист растения имеет возможность усваивать свет с широким спектром и фотосинтез протекает при постоянно меняющемся спектре света (в природе в течение дня световой спектр постоянно меняется). В общем случае мы имеем сложный комплексный процесс, связанный с фотоморфогенезом, фототропизмом, фотопериодикой, и, наконец, фотосинтезом, описываемым в рамках 18-мерной модели. Именно такой сложный процесс управления циркадными параметрами и позволяет обеспечить необходимый уровень управления в процессе вегетации. Аналогов разработанных алгоритмов управления в мире не существует. Предложенные сегодня на рынке иные способы управления циркадными ритмами весьма несовершенны и не могут в полной мере обеспечить требуемую продуктивность и вкусовые качества в полностью закрытых помещениях. Все перечисленные процессы обладают вариативностью по спектру и по типам растений.

Результаты эксперимента

На рис. 3 представлен график светочувствительности листьев растений. Он позволяет оценить интегральную характеристику (не только по хлорофиллу) — относительную чувствительность листьев растений от длины волны.

Если необходимо выращивать растения только под искусственным светом, то нужно обеспечивать наличие разных частей спектра, в том числе и зелено-

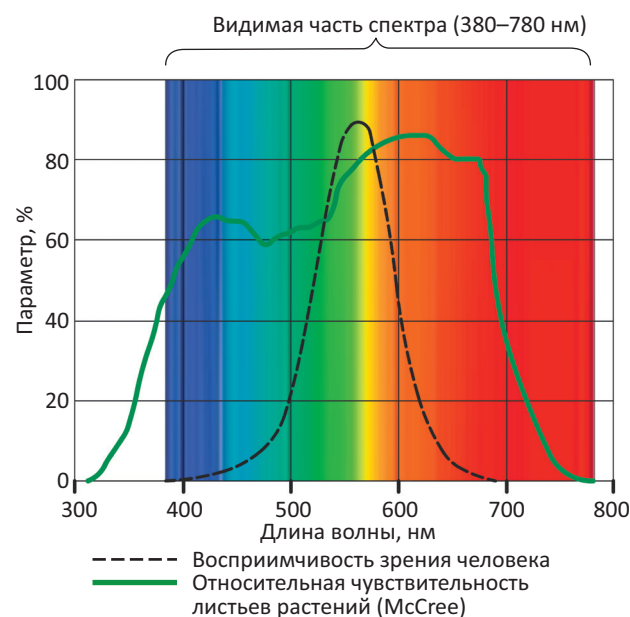


Рис. 3. График светочувствительности листьев растений [10–13]

желтой его части. Для фитодинамического управления требуется, чтобы запускались все механизмы развития растений, связанные с их жизненным циклом: фотоморфогенез, фототропизм, фотопериодика и фотосинтез. Все они отличаются по спектру и для типов растений и по времени.

Для создания фитодинамического освещения можно установить управляемые светильники, спектр излучения которых будет меняться в зависимости от типа выращиваемой культуры и фазы роста растения. Правильный подбор фитодинамического освещения улучшает жизнестойкость растений и их качество.

В соответствии с этим для рассматриваемых теплиц разработан комплекс освещения, включающий в себя специальные светодиодные источники света и процессоры управления с возможностью программного изменения интенсивности и спектральных характеристик в очень широком диапазоне, а также и возможностью подстройки особенностей освещения в зависимости от выращиваемой культуры.

В России уже существует производство полного цикла для выпуска необходимых для этого элементов.

Предложенная система освещения отработана не только в рамках перспективных аэрокосмических программ. В городе Когалым (Россия) в развлекательном комплексе «Галактика» был реализован проект фитоосвещения оранжереи, галереи и аквапарка, где главной задачей было воссоздать условия обитания растений. Также стояла отдельная задача: создать условия для отдыха в оранжерее человеку, иными словами, для человека должна быть создана комфортная световая среда.

На сегодняшний день Когалымская галерея является единственным в мире приполярным объектом, где цветут и плодоносят тропические растения: бананы и финики (рис. 4, 5) [14].

К сожалению, на сегодняшний день пока нет гражданского объекта, на котором возможно было бы отработать производство коммерческой плодово-овощной продукции. Но технологические риски при создании такого объекта практически уже сведены к минимуму.

Правильное освещение является не единственным фактором, необходимым для эксплуатации описываемого проекта. Очень серьезное влияние на рост растений оказывает микробиологическая обстановка в зоне вегетации. Создание правильного микробиологического фона, профилактика заболеваний и борьба с вредителями являются одной из ключевых проблем плодово-овощного производства. Обычно для этого используются, как правило, химические препараты, фунгициды и инсектициды, реже при-



Рис. 4. Общий вид галереи с тропическими растениями



Рис. 5. Тропическая галерея в городе Когалым

меняются биологические и физиобиологические методы защиты. В нашем проекте предлагается применить инновационный метод защиты растений с использованием технологии фотокаталитического обеззараживания воздуха и жидких сред.

Фотокаталитическое обеззараживание внутреннего объема теплицы является важнейшим фактором обеспечения получения качественной плодово-овощной продукции. В предложенном проекте данная задача решается нехимическими методами, что существенно удешевляет процесс вегетации и снижает энергоемкость в целом.

Фотокаталитическое уничтожение вредных веществ протекает на поверхности нанокристаллического катализатора диоксида титана — TiO_2 (фотокатализатора) под действием безопасного светового

излучения диапазона «А» (с длиной волны более 320 нм). Вредные примеси не накапливаются на фильтре, а разрушаются до безвредных компонентов естественной воздушной среды. Как видно из графика (рис. 6), именно фотокаталитический способ обеззараживания перекрывает полный спектр возможных патогенов, от спор грибов и взвешенной пыли до вирусов и бактерий [15].

На рис. 6 представлена схема фотокаталитического способа обеззараживания.

При наличии в составе проекта мощных источников света каталитическое обеззараживание практически не требует дополнительных затрат. Способ обеззараживания оказался на основе фотокатализа настолько эффективным, что его применение уже стало обязательным для оборудования медицинских

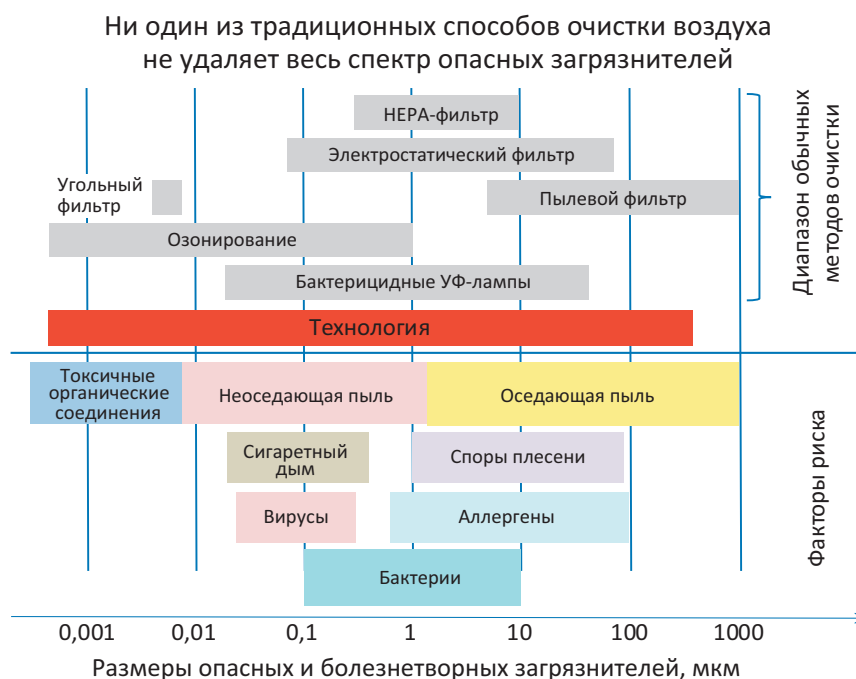


Рис. 6. Схема цикла фотокаталитического обеззараживания

операционных помещений. Серийное производство активных элементов очистки в настоящее время также находится в России.

Для выращивания плодовоовощной продукции возможно применение искусственных грунтов на основе биогуматов, цеолитов, песка, других соединений кремния, применение которых в рамках имеющих инновационных подходов по рентабельности приближается к рентабельности гидропоники.

Очень интересной является инновационная технология «сухого полива», позволяющая защитить растения в период засухи почти без использования воды.

С точки зрения обеспечения объекта энергоресурсами, необходимо рассмотреть два основных типа энергопотребления: это теплоснабжение и электроснабжение для освещения.

Что касается теплоснабжения, здесь все понятно. Отказ от прозрачного теплового контура с сопротивлением теплопередачи около 0,4 и замена его на непрозрачную ППУ-панель с сопротивлением теплопередачи около 4,0 позволяют почти в 10 раз снизить затраты на отопление, и снизить их со стандартного значения около 2 мВт на 1 га примерно до 100–150 кВт на га. Уже этот фактор позволяет свободно применять для отопления экономичные системы на основе тепловых насосов и возобновляемых источников энергии.

Экономия энергозатрат на освещение предлагается рассмотреть подробно на примере галереи в Когалыме.

Для примененного на объекте светильника мощностью 450 Вт световая эффективность составляет

160 лм/Вт, т.е. световой поток со светильника — $450 \times 160 = 72\,000$ лм. Световой поток от светильника с натриевой лампой — при световой отдаче 72–75 лм/Вт соответствует 1000 Вт лампе, а с учетом потребления пускорегулирующего аппарата (ПРА) — это +10 %, итого 1100 Вт потребления. Таким образом, по потреблению электроэнергии мы экономим в $1100/450 = 2,44$ раза.

Освещенность — это световой поток, падающий на участок поверхности единичной площади (1 лк = 1 лм на м^2). Нам нужно получить не менее 10 000 лк на поверхности. Освещенность от расстояния зависит как квадрат расстояния, поэтому по мере роста освещенность на растении будет увеличиваться. Если мы вешаем на высоте 3 м, то коэффициент $3 \times 3 = 9$, а если растение выросло на 1 м, $2 \times 2 = 4$, и у нас будет более 20 000 лк, а это уже много и необходимо уменьшать примерно до 15 000 лк. Таким образом, при росте растений мы начинаем экономить электроэнергию. При высоте растения 2 м коэффициент $1 \times 1 = 1$ и мы экономим в 9 раз электроэнергию. Натриевые лампы не регулируются, и мы тратим во время их использования электроэнергию. То есть уже при цветении мы экономим $2,44 \times 9$ — в 22 раза.

Светильники мощностью 65 Вт имеют широкую кривую графика силы света, чтобы при малых расстояниях до растения освещать максимальную площадь, а световая отдача — такая же — 160 лм/Вт, но целесообразно довести ее до 180 лм/Вт. Здесь энергоэкономия достигается за счет оптики распределения (это сложная оптика модульного плана, а светодиоды подбираются по эффективному для

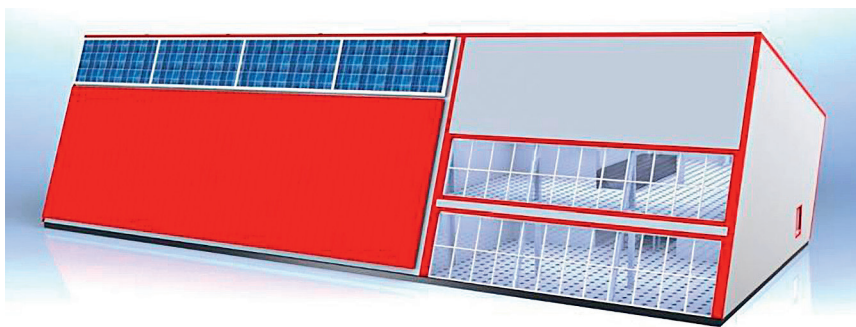


Рис. 7. Общий вид тепличного комплекса

растений данного вида спектру). Понятие светового потока может быть только в сравнении с правильным распределением света. Можно иметь большой поток, но светить в одно место, а потом говорить, что «в среднем по больнице». Освещенность создается в конкретном месте и в нужном количестве: натриевой лампой этого никогда не сделать.

Общую сумму потока можно определить, умножив потребление на световую эффективность, $P \times 160$ лм/Вт. Но нам нужна освещенность, что мы считали по проекту — для купольного освещения 10 000 лк и для бокового освещения 10 000 лк. В зависимости от конструкции парника освещенность на купольных светильниках можно увеличить при переходе на 500–600 Вт или взять более направленный отражатель и сконцентрировать поток на грядке, т.е. довести освещенность до 15–18 000 лк, а дальше только уменьшать световой поток по мере роста растений.

Регулирование световым потоком возможно, как пояснено выше, т.е. по мере роста растений. Боковое освещение включается только на стадии цветения и плодоношения. Витаминизация растений происходит, если на растения падает необходимый спектральный состав, который меняется по стадиям роста. Натриевые лампы не меняют свой спектральный состав, т.е. не управляются. Кроме того, 70 % спектрального состава специальных фитонатриевых ламп просто отражается от листьев (вы можете это увидеть на улице и в лесу — зеленый и желтый спектры отражаются, и мы видим зеленые и желтые листья, поглощаются только синие и красные составляющие спектра). Таким образом, используется только треть затраченной электроэнергии растениями.

Если подытожить все вышесказанное, то суммарное снижение энергозатрат на освещение в течение цикла вегетации составит $2,5 \times 22 = 55$. В 55 раз! Полученный результат подтверждает весьма высокую энергетическую эффективность предложенного решения. При таких показателях энергоэффективности рентабельными будут любые источники энергии, включая возобновляемые.

По нашим оценкам, если сравнить размер энергетической составляющей в себестоимости продукции классической голландской теплицы и энергетической составляющей в предложенном варианте, то соотношение получится примерно в 5 раз в пользу инновационного проекта. Вдобавок это еще один огромный резерв в деле снижения углеродного следа.

Таким образом, уже сегодня в России существуют технологии, позволяющие при наличии политической воли и инвестиций перейти на принципиально новый подход к обеспечению продовольственной независимости страны, позволяющий снизить нагрузку на живую природу и обеспечить независимость от нестабильных климатических факторов, снизить стоимость продукции при повышении ее качества, что самым непосредственным образом доказывает реалистичность подхода, сформулированного в теории биосферной совместимости. Примером такой разработки и является предлагаемый тепличный комплекс. Процент новизны проекта очень высок, примерно 80 %. Из них к отработанным частям можно отнести только замкнутый тепловой контур. Системы освещения, климатической стабилизации, стабилизации микробиологического фона, субстраты, системы полива и энергоснабжения являются исключительно инновационными. Но в данном случае это не критично. Все компоненты отработаны по-отдельности и производятся на российских предприятиях в достаточном количестве. К сожалению, предложенный подход совершенно чужд пониманию специалистами, работающими в области тепличных хозяйств классического типа, хотя известно, что практически все они убыточны и требуют дотаций.

Сегодня, в условиях капитализма, проблема рисков при реализации инновационных проектов стала гипертрофированно завышенной. Тем не менее наша страна знает много проектов с уровнем новизны около 100 %. Например, мало кто знает, что уже в 1957 г. Советский Союз имел действующую многократно космическую систему, которая носила громкое название «БУРЯ». В США программа

«Спейс шаттл» появилась только в 1980-е гг. Так что не надо бояться новизны. Все получится, главное, не мешать инновационной деятельности и разрешить наконец использовать в России доступные инвестиционные механизмы.

На рис. 7 показана концепция описываемого тепличного комплекса, разработанная по заказу ГК «Белагро», состоящая из зоны вегетации и офисной части.

При анализе структуры энергозатрат блок солнечных батарей в комплексе с воздушным солнечным коллектором, обеспечивающим подогрев зоны вегетации даже в условиях русской зимы, вполне

обеспечивает потребности комплекса в энергоснабжении.

Заключение

Таким образом, имеющиеся сегодня технологические инновации позволяют быстро создать агропромышленный комплекс, независимый от климатических условий и энергетической инфраструктуры. Это значит, что, как минимум, часть аргументов сторонников теории «золотого миллиарда» является несостоятельной, и дальнейшее развитие цивилизации без увеличения техногенной нагрузки на природу возможно.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. О реформе международной валютно-финансовой системы: уроки глобального кризиса : доклад Стиглица Комиссии финансовых экспертов ООН / пер. с англ. М. : Международные отношения, 2010. 328 с.
2. *Ивашов Л.Г.* Опрокинутый мир. М. : Аргументы недели, 2020. 384 с.
3. *Ильичев В.А.* Биосферная совместимость: технологии внедрения инноваций. Города, развивающие человека. М. : Librocom, 2011. 240 с.
4. О человеческом развитии в Российской Федерации. Цели устойчивого развития ООН и Россия : Доклад Аналитического центра при Правительстве РФ. URL: ac.gov.ru/files/publication/a/11068.pdf
5. Крупнейшие показатели реализации инвестиционного проекта строительства тепличного комплекса для выращивания овощных и зеленных культур (томаты, огурцы и салат) производственной площадью 6 га. URL: <https://startapoff.ru/wp-content/uploads/2018/04/teplitsa.pdf?ysclid=ldljsx0c6505868983>
6. «Марс-500» завершен: Итоги изоляции. URL: <https://www.techinsider.ru/science/12137-mars-500-zavershen-itogi-izolyatsii/?ysclid=ldljgnyp595851163>
7. Эксперимент «Марс-500» завершился. URL: <https://www.roscosmos.ru/17692/>
8. Шокирующие итоги эксперимента «Марс-500». URL: <http://www.infuture.ru/article/5256>
9. Международный научный проект SIRIUS-21. URL: [http://sirius.imbp.ru/download/%D0%98%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9%20%D0%B1%D1%83%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D1%82%20Sirius-21-%20\(%D1%80%D1%83%D1%81\).pdf](http://sirius.imbp.ru/download/%D0%98%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9%20%D0%B1%D1%83%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D1%82%20Sirius-21-%20(%D1%80%D1%83%D1%81).pdf)
10. Патент RU № 2427984. Осветительное устройство на светодиодах с управлением световым излучением / *Гвоздев С.М., Карабин А.Б., Ливенцова А.А.*; приоритет от 20.01.10.
11. Патент RU 123107, U1 F21S8/02. Высокоинтенсивное светодиодное осветительное устройство / *Гвоздев С.М. и др.*; приоритет от 20.12.2012.
12. Патент RU 2366389 C1. Способ диагностики состояния зрительной системы человека / *Богатова Р.И., Гвоздев С.М., Садовникова Н.Д.*; приоритет от 18.04.2008 г.
13. Патент RU 2428957 C1. Способ диагностики состояния зрительной системы человека и коррекции психофизиологического состояния человека на основе выявленных изменений / *Гвоздев С.М., Ливенцова А.А., Садовникова Н.Д., Шулагин Ю.А.*; приоритет от 20.01.2010 г.
14. СКК «Галактика». URL: <https://skk-galaxy.business.site>
15. *Першин А.Н.* Возвращение фотокатализа. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6857&ysclid=ldlk9bg5fn381193916

Об авторе: **Павел Олегович Егорьев** — генеральный директор; ООО «Энергосервисконсалтинг»; 109145, г. Москва, ул. Привольная, д. 25, помещ./ком. 6/2; e-mail: penergas@yandex.ru.

REFERENCES

1. On the reform of the international monetary and financial system: lessons from the global crisis : Stiglitz's report of the UN Commission of Financial Experts / translated from English. Moscow, 2010; 37. (rus.).
2. Ivashov L.G. *The Overturned World*. Moscow, Arguments of the Week, 2020; 384. (rus.).
3. Ilyichev V.A. *Biosphere compatibility: technologies of innovation implementation. Cities that develop people*. Moscow, Librocom, 2011; 240. (rus.).

4. On human Development in the Russian Federation. The UN Sustainable Development Goals and Russia : Report of the Analytical Center under the Government of the Russian Federation. URL: ac.gov.ru/files/publication/a/11068.pdf (rus.).
5. Consolidated indicators of the implementation of the investment project for the construction of a greenhouse complex for growing vegetable and green crops (tomatoes, cucumbers and lettuce) with a production area of 6 hectares, URL: <https://startupoff.ru/wp-content/uploads/2018/04/teplitsa.pdf?ysclid=ldlisxf0c6505868983> (rus.).
6. “Mars-500” is completed : The results of isolation. URL: <https://www.techinsider.ru/science/12137-mars-500-zaver-shen-itogi-izolyatsii/?ysclid=ldljgnypp595851163> (rus.).
7. The Mars-500 experiment has ended. URL: <https://www.roscosmos.ru/17692/> (rus.).
8. The shocking results of the Mars-500 experiment. URL: <http://www.infuture.ru/article/5256> (rus.).
9. SIRIUS-21 International Scientific Project. URL: [http://sirius.imbp.ru/download/%D0%98%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9%20%D0%B1%D1%83%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D1%82%20Sirius-21%20\(%D1%80%D1%83%D1%81\).pdf](http://sirius.imbp.ru/download/%D0%98%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9%20%D0%B1%D1%83%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D1%82%20Sirius-21%20(%D1%80%D1%83%D1%81).pdf) (rus.).
10. Patent RU No. 2427984. *LED lighting device with light emission control* / Gvozdev S.M., Karabin A.B., Liventsova A.A.; priority dated 01/20/10. (rus.).
11. Patent RU 123107, U1 F21S8/02. *High-intensity LED lighting device* / Gvozdev S.M. et al.; priority dated 12/20/2012. (rus.).
12. Patent RU 2366389 C1. *A method for diagnosing the state of the human visual system* / Bogatova R.I., Gvozdev S.M., Sadovnikova N.D.; priority dated 04/18/2008. (rus.).
13. Patent RU 2428957 C1. *A method for diagnosing the state of the human visual system and correcting the psychophysiological state of a person based on the identified changes* / Gvozdev S.M., Liventsova A.A., Sadovnikova N.D., Shulagin Yu.A.; priority dated 01/20/2010. (rus.).
14. SKK Galaktika. URL: <https://skk-galaxy.business.site> (rus.).
15. Pershin A.N. *The return of photocatalysis*. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6857&ysclid=ldlk9bg5fn381193916 (rus.).

About the author: **Pavel O. Egoriev** — General Director; **LLC Energoser-visconsulting LLC**; 109145, Moscow, Privolnaya St., 25, room/office 6/2 Privolnaya st., Moscow, 109145, Russian Federation; e-mail: pen-ergas@yandex.ru.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОЗДОРОВИТЕЛЬНЫХ КУРОРТОВ: ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ТУРИСТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕРРИТОРИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Диана Александровна Фомина, Анна Евгеньевна Коробейникова

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

Актуальность. На данный момент в градостроительной практике наблюдается тенденция к активному развитию локального туризма. Одним из наиболее популярных видов туризма становится медицинский (лечебный) и санаторно-курортный туризм. Задача организации курортов для оздоровления и лечения жителей — напрямую способствовать улучшению качества жизни людей и соответствовать принципам устойчивого развития территорий. Организация оздоровительных курортов играет важную роль в формировании комфортной и здоровой городской среды и как следствие в поддержании высокого уровня жизни. Такие комплексы позволяют поддерживать не только физическое здоровье горожан, но и укреплять их психологическое и психосоматическое состояние, что, безусловно, способствует их личностному и профессиональному росту. Забота о здоровье горожан лежит в основе устойчивого развития современных городов. В настоящее время посещение таких курортов сформировалось в отдельное направление — медицинский туризм. Посещение пульмонологических курортов, которые являются эффективным средством реабилитации при заболеваниях органов дыхания, является также одним из подвидов медицинского туризма. Российская Федерация обладает богатыми природными ресурсами и территориями для развития таких курортов, однако до сих пор не до конца ясно, какими параметрами должны обладать территории для наиболее эффективной организации функционального процесса.

Очевидно, что организация и развитие таких территорий — это сложная задача для современных градостроителей. На данный момент специалисты сталкиваются с отсутствием четких принципов, рекомендаций для развития таких территорий.

Цель. Цель данного исследования заключается в разработке методики оценки туристического потенциала территории для размещения пульмонологических курортов в выявлении наиболее перспективных мест для их создания и развития.

Задачи. В рамках исследования планируется провести анализ отечественного и зарубежного опыта в предметной области, а также изучить научный и практический опыт в сфере размещения пульмонологических курортов. На основе полученных данных будут выявлены особенности размещения таких курортов. Далее предполагается разработать теоретическую модель, позволяющую оценивать благоприятность территорий для их размещения, а также создать соответствующую методику оценки. Разработанная методика будет апробирована на примере поселка Верхний Фиагдон в Республике Северная Осетия – Алания. По итогам исследования будут сформированы рекомендации по размещению пульмонологических курортов с учетом выявленных особенностей.

Результаты. В результате проектного эксперимента были выявлены наиболее перспективные районы, такие как Алагирский район, который получил высокие баллы по большинству критериев. Поселок Верхний Фиагдон также показал высокий потенциал для организации пульмонологического курорта, который привлекает курортников своей развитой территорией и разнообразием оздоровительной терапии.

Выводы. Исследование подтвердило, что Северная Осетия – Алания является перспективным регионом для размещения пульмонологических курортов. Разработанная методика позволяет объективно оценить благоприятность территории для таких курортов. Рекомендуется создание современной санаторно-курортной инфраструктуры и развитие экологического туризма.

Ключевые слова: устойчивое развитие территорий, пульмонологические курорты, Северная Осетия – Алания, туристический потенциал, методика оценки, экологический туризм, санаторно-курортная инфраструктура, климатотерапия

Для цитирования: Фомина Д.А., Коробейникова А.Е. Проектирование оздоровительных курортов: подходы к оценке туристического потенциала территории с использованием геоинформационных технологий // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 2. С. 12–24. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.2.12-24

DESIGNING HEALTH RESORTS: APPROACHES TO ASSESSING THE TOURIST POTENTIAL OF THE TERRITORY USING GEOINFORMATION TECHNOLOGIES

Diana A. Fomina, Anna E. Korobeinikova

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

Relevance. At the moment, there is a tendency in urban planning practice towards the active development of local tourism. Medical (curative) and sanatorium-resort tourism is becoming one of the most popular types of tourism. The task of organizing resorts for the rehabilitation and treatment of residents directly contributes to improving the quality of life of people and complies with the principles of sustainable development of territories. The organization of health resorts plays an important role in creating a comfortable and healthy urban environment and, as a result, maintaining a high standard of living. Such complexes make it possible to maintain not only the physical health of citizens, but also strengthen their psychological and psycho-emotional state, which certainly contributes to their personal and professional growth. Caring for the health of citizens is at the heart of the sustainable development of modern cities. Currently, visiting such resorts has been formed into a separate area — medical tourism. Visiting pulmonological resorts, which are an effective means of rehabilitation for respiratory diseases, is also one of the subspecies of medical tourism. The Russian Federation has quite rich resources and territories for the development of such resorts, but it is still not completely clear what parameters the territories should have for the most effective organization of the functional process.

Obviously, the organization and development of such territories is a difficult task for modern urban planners. At the moment, experts are faced with the lack of clear principles and recommendations for the development of such territories.

Goal. The purpose of this study is to develop a methodology for assessing the tourist potential of the territory for hosting pulmonological resorts, in order to identify the most promising places for their creation and development.

Tasks. As part of the study, it is planned to analyze domestic and foreign experience in the subject area, as well as to study scientific and practical experience in the field of pulmonological resorts. Based on the data obtained, the specifics of the location of such resorts will be revealed. Next, it is planned to develop a theoretical model that makes it possible to assess the favorability of territories for their location, as well as to create an appropriate assessment methodology. The developed methodology will be tested on the example of the village of Verkhny Fiagdon in the Republic of North Ossetia – Alania. Based on the results of the study, recommendations will be made on the location of pulmonological resorts, taking into account the identified features.

Results. As a result of the project experiment, the most promising areas were identified, such as the Alagir district, which received high scores according to most criteria. The village of Verkhny Fiagdon has also shown high potential for the organization of a pulmonological resort, which attracts tourists with its developed territory and a variety of wellness therapy.

Conclusions. The study confirmed that North Ossetia – Alania is a promising region for hosting pulmonological resorts. The developed methodology allows an objective assessment of the territory's favorability for such resorts. It is recommended to create a modern sanatorium and resort infrastructure and develop eco-tourism.

Keywords: sustainable development of territories, pulmonological resorts, North Ossetia – Alania, tourism potential, assessment methodology, ecological tourism, sanatorium and resort infrastructure, climate therapy

For citation: Fomina D.A., Korobeinikova A.E. Designing health resorts: approaches to assessing the tourist potential of the territory using geoinformation technologies. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2025; 2:12-24. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.2.12-24 (rus.).

Введение

Современное развитие медицинского туризма и курортного дела требует комплексного подхода к оценке потенциала территорий для создания специализированных лечебно-оздоровительных объектов, в том числе пульмонологических курортов. Организация курортов для лечения и оздоровления с соблюдением всех особенностей и требований к выбору территорий для них позволит значительно улучшить состояние здоровья и качество жизни жителей, а также способствует развитию локального медицинского туризма в регионе. Повышение уровня жизни и улучшение состояния здоровья населения через концепцию здорового города и концепцию биосферной совместимости является частью глобальной инициативы Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) [1], направленной на улучшение здоровья и благополучия жителей через комплексный подход к городскому планированию. Развитие курортов для оздоровления населения отвечает концепции биосферной совместимости, предполагающей единение города и окружающей природной среды. Развитие таких курортов в рамках социально-ориентированных городских систем решает важнейшую задачу гуманизации жизненного пространства посредством поддержания и оздоровления физического и психоэмоционального состояния жителей.

В условиях роста заболеваемости органов дыхания, вызванного ухудшением экологической обстановки, урбанизацией и другими факторами, возрастает потребность в создании специализированных курортов, ориентированных на лечение и профилактику пульмонологических заболеваний. Научная проблема заключается в отсутствии методики, позволяющей объективно оценить благоприятность территории для размещения пульмонологических курортов.

Анализ отечественного и зарубежного опыта по благоприятности размещения пульмонологических курортов с помощью геоинформационных технологий

Мировая практика и научные исследования подтверждают высокую эффективность климатотерапии в лечении бронхолегочных заболеваний [2]. Оптимальными условиями для размещения пульмонологических курортов являются зоны с чистым горным воздухом, повышенной ионизацией, умеренной влажностью, минимальным количеством аллергенов и высокой концентрацией фитонцидов. К числу известных зарубежных курортов относятся Давос (Швейцария), Бад-Райхенхале (Германия), Карловы Вары (Чехия) и Цхалтубо (Грузия). В Рос-

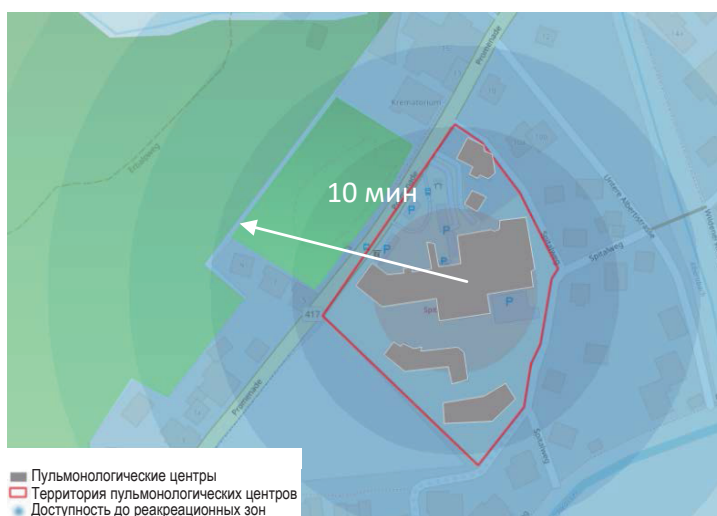
сии успешно функционируют такие санаторные комплексы, как Кисловодск и Мацеста [3, 4]. Практический опыт также показывает, что важными факторами являются наличие природных минеральных

ресурсов и доступность к рекреационным территориям [5], представленным на рис. 1.

Сопоставление зарубежного и отечественного опыта позволило выделить универсальные и специ-



a



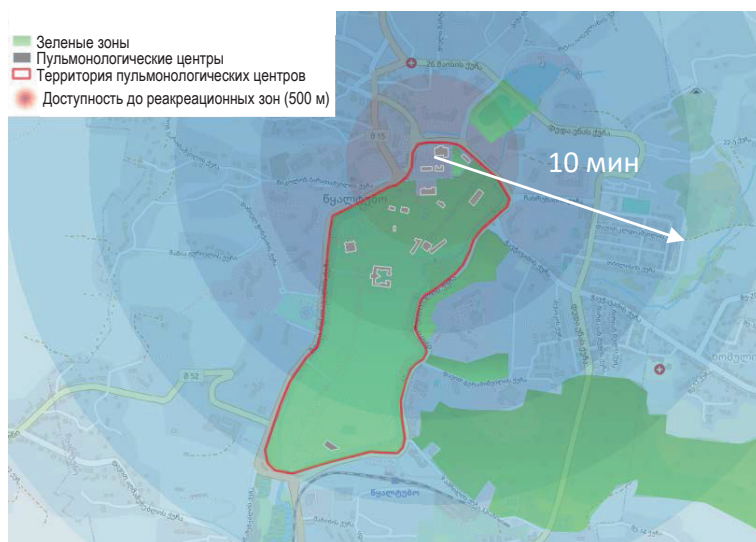
b



c



d



e



f

Рис. 1. Схема доступности к рекреационным территориям от пульмонологического курорта: *a* — в городе Бад-Райхенхале; *b* — в городе Давос; *c* — в городе Карловы Вары; *d* — в городе Кисловодске; *e* — в городе Цхалтубо; *f* — в городе Магиста

фические особенности размещения пульмонологического курорта.

К ним относятся:

- природно-климатические условия;
- научно-медицинская база;
- инфраструктурная развитость.

Таким образом, анализ мирового и российского опыта не только формирует теоретическую основу для разработки оценочной модели, но и подчеркивает значимость комплексного подхода, объединяющего экологические, медицинские и экономические аспекты.

Материалы и методы

В данной работе в качестве объекта исследования рассматриваются территории для размещения пульмонологических курортов и ее основные компоненты. По результатам анализа существующего научного и практического опыта были выделены следующие обязательные зоны пульмонологического оздоровительного курорта: зона спальных корпусов, коммунальная зона, зона комплексного центра, зона питьевого бювета, рекреационная зона, зона оздоровительного отдыха, зона культурно-бытового обслуживания, а также спортивная зона. Схема объекта исследования представлена на рис. 2.

Предметом исследования является процесс определения особенностей, принципов и подходов к пла-

нировочной организации территории для размещения пульмонологических курортов, обеспечивающих благоприятную территорию для лечения и времяпрепровождения. Для разработки методики оценки туристического потенциала территории для размещения пульмонологических курортов необходимо определить факторы, влияющие на размещение пульмонологических курортов (рис. 3).

Природные факторы

Природно-климатический фактор подчеркивает важность качества воздуха, наличия фитонцидных лесов и климатической стабильности. Эти факторы непосредственно влияют на здоровье и комфорт как местных жителей, так и туристов, что делает их приоритетными в оценке.

Антропогенные факторы

Инфраструктурный фактор акцентирует внимание на транспортной доступности и медицинской инфраструктуре, что является основой для развития туризма и обеспечения безопасности гостей региона.

Социально-экономический фактор учитывает инвестиционную активность и трудовые ресурсы, что важно для устойчивого развития туристической отрасли и создания благоприятных условий для бизнеса.

Градостроительный фактор включает планировку и зонирование, инфраструктуру общественных мест и транспортную инфраструктуру.

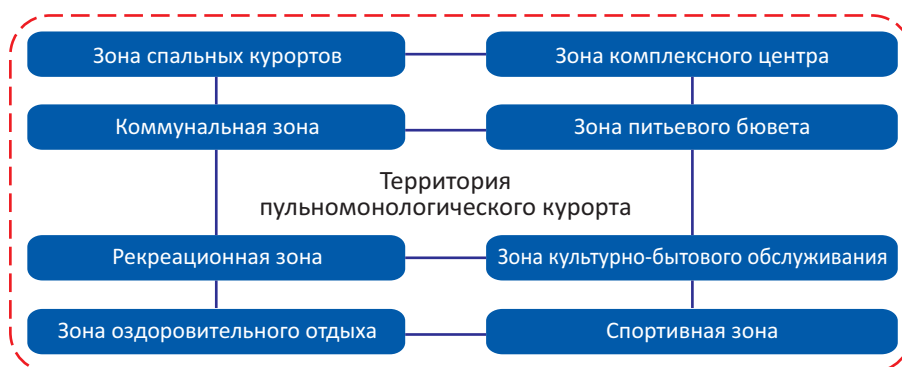


Рис. 2. Объект исследования — территория пульмонологического курорта

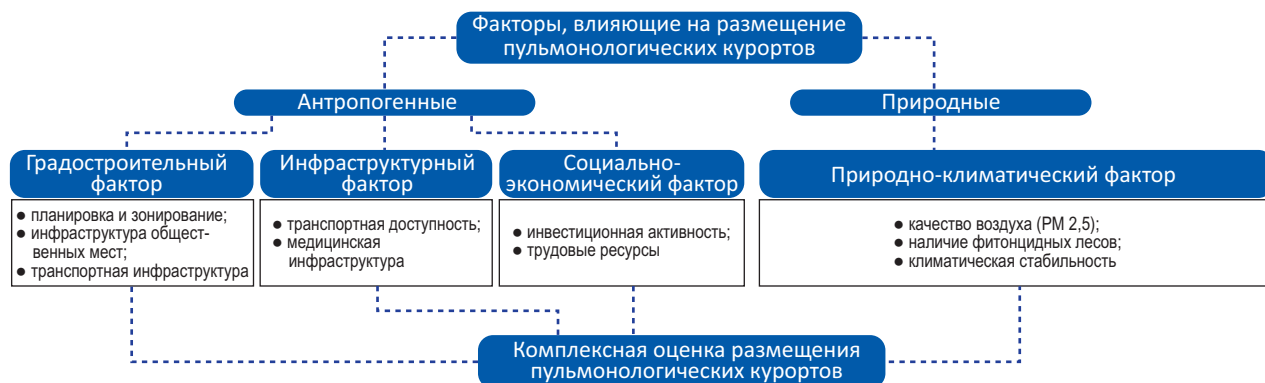


Рис. 3. Факторы, влияющие на размещение пульмонологических курортов

Эти аспекты играют ключевую роль в формировании комфортной и привлекательной городской среды, что способствует повышению туристической привлекательности и качества жизни.

Определение территории для размещения состава элементов проектируемого курорта, их оптимального местоположения, пространственной формы организации определяется из совокупности факторов, используемых как группа критериев. Разработка методики оценки территориального потенциала для пульмонологических курортов требует системного подхода, объединяющего природные, инфраструктурные и социально-экономические аспекты. На рис. 3 представлена система факторов и параметры, влияющие на размещение пульмонологических курортов. Далее необходимо определить критерии и весовые коэффициенты для методики оценки.

Методика оценки благоприятности территории для размещения пульмонологических курортов

Разработанная теоретическая модель служит основой для практической методики, позволяющей количественно оценить потенциал территории для размещения пульмонологических курортов (рис. 4).

Цель методики исследования — выявить благоприятные и неблагоприятные территории для размещения пульмонологических курортов.

Методика реализуется в шесть последовательных этапов (рис. 4), обеспечивающих системность и воспроизводимость оценки:

1. Сбор исходных данных (на этом этапе собираются данные по всем критериям, которые будут использоваться для оценки территории. Источниками данных могут быть геоинформационные системы (GIS), статистические отчеты, результаты экологического мониторинга, данные экспертов и

местного населения. Важно, чтобы данные были актуальными и достоверными).

2. Анализ факторов (на данном этапе осуществляется всесторонний анализ природных, экологических, климатических, социально-экономических и инфраструктурных факторов), влияющих на возможность размещения пульмонологических курортов. Для каждого критерия определяется его значимость (весовой коэффициент), а также производится оценка степени влияния на здоровье человека и качество курортного обслуживания. Анализ позволяет выделить ключевые параметры, оказывающие наибольшее воздействие на благоприятность территории, и подготовить данные к последующей визуализации и расчетам.

3. Геоинформационно-пространственный анализ по индикаторам (данный этап представляет собой комплексную обработку и интерпретацию пространственных данных с использованием инструментов геоинформационных систем (ГИС)).

4. Составление карты-схемы ГИС-данных (на этом этапе производится интеграция собранных и проанализированных данных в ГИС). Создаются тематические карты-схемы по каждому из факторов, включая климатические условия, уровень загрязнения воздуха, наличие природных ресурсов, транспортную доступность и инфраструктуру.

5. Ранжирование территорий (на основе рассчитанных интегральных индексов проводится ранжирование территорий. Это позволяет выявить наиболее перспективные регионы для развития пульмонологических курортов).

6. Формирование рекомендаций (на заключительном этапе формируются рекомендации по развитию территорий, учитывающие их сильные и слабые стороны. Рекомендации могут включать предложения по улучшению инфраструктуры, экологических условий и других аспектов).

$$Y = (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6)$$

$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$ — входящие параметры, влияющие на объект исследования

Y — искомый комплексный показатель

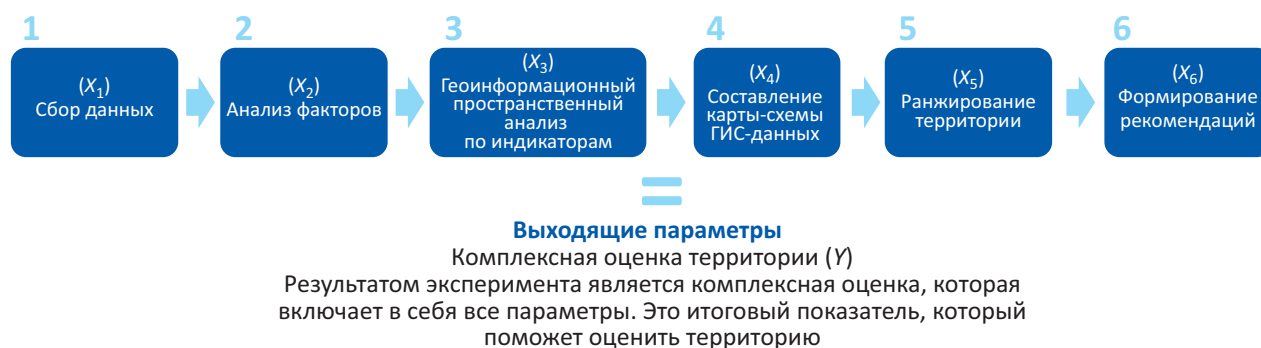


Рис. 4. Методика оценки благоприятности территории для размещения пульмонологических курортов

Таблица 1. Группы критериев и их составляющие

Факторы	Параметр	Критерий	Вес в модели
Природно-климатические	Качество воздуха (PM _{2,5})	Концентрация взвешенных частиц (норма: ≤ 15 мкг/м³)	0,35
	Наличие фитонцидных лесов	Площадь хвойных массивов в радиусе 5 км	0,25
	Климатическая стабильность	Отсутствие резких перепадов температуры и влажности (диапазон ± 5°C/10 %)	0,20
Инфраструктурные	Транспортная доступность	Удаленность от аэропорта/вокзала (оптимум: ≤ 2 часов на автотранспорте)	0,15
	Медицинская инфраструктура	Наличие клиник, санаториев, диагностических центров	0,10
Социально-экономические	Инвестиционная активность	Объем привлеченных средств в туристическую отрасль за 5 лет	0,05
	Трудовые ресурсы	Доля населения с медицинским или туристическим образованием	0,05
Градостроительство	Планировка и зонирование	Эффективность городского планирования и зонирования	0,10
	Инфраструктура общественных мест	Наличие парков, скверов, зон отдыха и общественных пространств	0,10
	Транспортная инфраструктура	Развитость городских дорог, наличие велосипедных дорожек и пешеходных зон	0,05

Результат: карта-схема комплексной оценки для размещения пульмонологических курортов на основе факторов и полученных данных.

Оценка факторов происходит на трех ключевых группах критериев, каждая из которых включает подкритерии, ранжированные по значимости. Их выбор обусловлен анализом, проведенным в предыдущих главах научного опыта, а также рекомендациями ВОЗ [6] и ГОСТ Р 58483–2020 [7, 8] (табл. 1).

Вес критериев определен на основе их значимости для здоровья, безопасности и комфорта, а также с учетом рекомендаций авторитетных организаций и экспертных оценок. Такой подход позволяет сбалансированно оценивать туристический потенциал

региона, учитывая как природные, так и антропогенные факторы.

Методика представляет собой надежный и объективный инструмент для оценки потенциала территорий с помощью геоинформационных технологий, что способствует принятию обоснованных решений в области развития пульмонологических курортов. Важным уроком для Северной Осетии – Алании становится необходимость комбинирования международных стандартов (например, использование GIS для определения доступности территории и индексов качества воздуха) [9] с адаптацией к локальным условиям — уникальному высокогорному ландшафту, этнокультурному наследию и существующей инфраструктуре [10].



Рис. 5. Алгоритм оценки благоприятности территории для размещения пульмонологических курортов

Разработка алгоритма оценки благоприятности территории для размещения пульмонологических курортов с использованием ГИС

Для проведения оценки в ГИС необходимо разработать пошаговый алгоритм. Алгоритм оценки благоприятности территории для размещения пульмонологических курортов с использованием геоинформационного анализа изображен на рис. 5.

Апробация методики оценки благоприятности территории на примере Северной Осетии – Алании

Согласно представленной методике, с помощью геоинформационных технологий [11,12], таких как Qgis, была проведена апробация на примере Северной Осетии – Алании.

Северная Осетия – Алания — удивительно красивая горная республика на юге нашей страны. Это край высоких гор, лесов, шумных рек и водопадов, бескрайних изумрудных долин, ледников, каньонов и скалистых пиков. Республика с уникальными природно-климатическими условиями.

1. Сбор научного и практического опыта в области размещения пульмонологических курортов

Республика Северная Осетия – Алания расположена на Северном Кавказе и занимает часть Центрального Предкавказья на северных склонах главного Кавказского хребта. На долю горной полосы приходится 3850 км², т.е. 48 процентов всей площади (рис. 6).

2. Сбор данных для выявления особенностей размещения

Разработка модели включает в себя комплексный анализ климатических, экологических и инфраструктурных факторов. Проводится с помощью интегрального индекса по всем районам Северной Осетии – Алании.

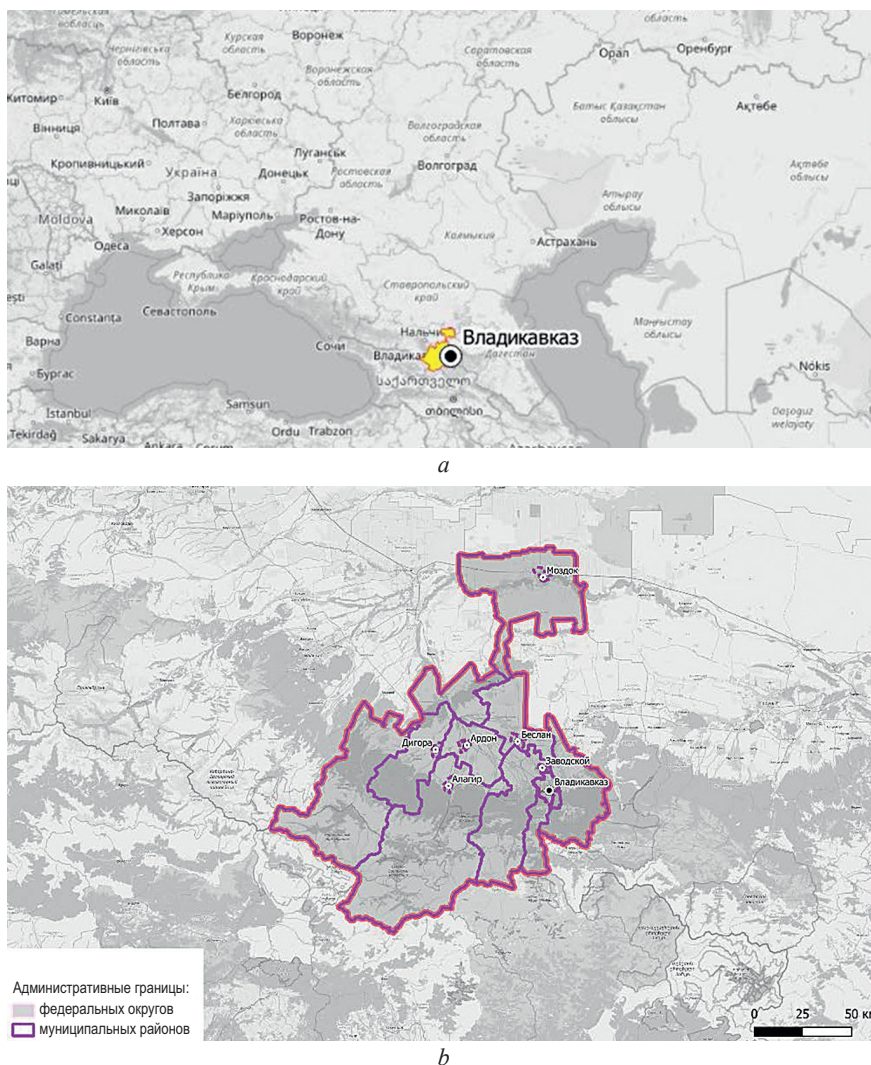


Рис. 6. Расположение рассматриваемой территории: *a* — Северная Осетия – Алания в структуре Российской Федерации; *b* — Республика Северная Осетия – Алания

Интегральный индекс представляет собой комплексный показатель, который объединяет различные критерии для оценки благоприятности территории для размещения пульмонологических курортов. Этот индекс позволяет учесть множество факторов, таких как природно-климатические, инфраструктурные, социально-экономические и градостроительные аспекты, и предоставляет единое количественное значение, характеризующее потенциал территории.

Целью расчета интегрального индекса является создание единого показателя, который позволяет сравнивать различные районы или территории по их потенциалу для развития пульмонологических курортов. Этот индекс помогает принимать обоснованные решения при выборе наиболее подходящих мест для инвестиций и развития.

Интегральный индекс благоприятности (I) рассчитывается по формуле:

$$I = w \cdot x, \quad (1)$$

где w — вес из теоретической модели (табл. 1); x — нормированные оценки.

В модели используются балльные оценки, позволяющие учитывать различные характеристики территорий, отраженных на рис. 7.

3. Анализ данных

По проведенному анализу данных спутникового мониторинга и GIS-платформ в Северной Осетии – Алании был также проведен анализ и сбор данных внутри республики, а именно по благоприятности районов.

Цель нормирования заключается в преобразовании исходных данных таким образом, чтобы все показатели находились в одном и том же диапазоне



Рис. 7. Диаграмма интегрального индекса по районам Северной Осетии – Алании

значений, обычно от 0 до 1. Это позволяет объединять их в интегральный индекс и проводить дальнейший анализ на основе сопоставимых данных.

Применяем формулу нормирования:

$$\text{Нормализованное значение} = \frac{\text{Исходное значение} - \text{Минимальное значение}}{\text{Максимальное значение} - \text{Минимальное значение}}$$

Для Алагирского района: $(12 - 12)/(35 - 12) = 0$.

Для Ардонского района: $(25 - 12)/(35 - 12) = 0,45$.

Для Дигорского района: $(18 - 12)/(35 - 12) = 0,20$.

Для Ирафского района: $(35 - 12)/(35 - 12) = 1$.

Для Кировского района: $(20 - 12)/(35 - 12) = 0,27$.

Для Моздокского района: $(30 - 12)/(35 - 12) = 0,64$.

Для Правобережного района: $(22 - 12)/(35 - 12) = 0,33$.

Для Пригородного района: $(15 - 12)/(35 - 12) = 0,11$.

Интерпретация результатов:

- Алагирский район имеет наименьший диапазон среди рассмотренных районов, что может свидетельствовать о лучших условиях для размещения пульмонологических курортов;
- Ирафский район имеет наибольший диапазон, что может быть неблагоприятным фактором. Остальные районы имеют промежуточные значения, и их потенциал для размещения курортов можно оценивать в зависимости от других факторов.

Данный расчет иллюстрирует, как нормирование позволяет сравнивать данные из разных районов на единой шкале, что важно для комплексной оценки их потенциала.

4. Результат оценки благоприятности территории в республике Северная Осетия – Алания

Результат: карта-схема комплексной оценки рекреационного потенциала для размещения пульмонологических курортов на основе факторов и полученных данных на рис. 8.

Согласно схеме выбора территории, в республике Северная Осетия – Алания была отобрана благоприятная территория для размещения пульмонологического курорта по базовым критериям оценки территории. Большая часть территории благоприятна для размещения медицинского курорта. Это говорит о том, что республика Северная Осетия – Алания является привлекательным регионом для развития медицинского и лечебно-оздоровительного туризма.

5. Результат оценки благоприятности территории в Алагирском районе

Каждая из территорий Алагирского района имеет свою уникальную историю и культурные особенности, привлекающие туристов и исследователей.

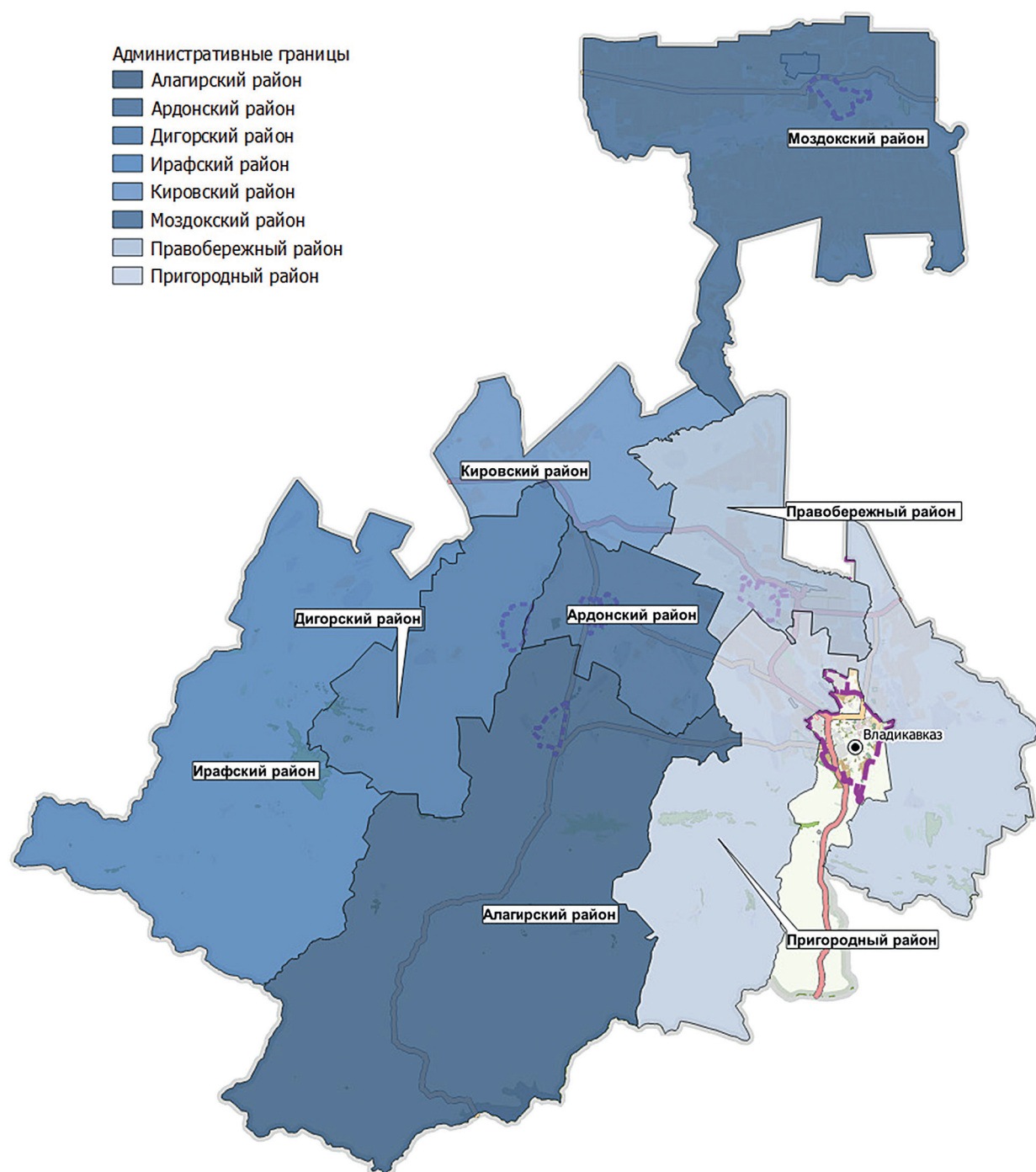


Рис. 8. Карта-схема комплексной оценки рекреационного потенциала

Верхний Фиагдон выделяется развитой инфраструктурой и туристическими возможностями, Цей сохраняет историческое значение, а Дзивгис известен своими древними памятниками и культурными традициями. Рейтинг данных территорий представлен в табл. 2. Расчет проводится с помощью интегрального индекса (см. формулу (1)).

По рассчитанным данным интегрального индекса была составлена диаграмма востребованных территорий в Алагирском районе, представленная на рис. 9.

Согласно представленной диаграмме, где Верхний Фиагдон занимает высокую позицию и является наиболее привлекательным для развития пульмонологического туризма, можно сделать вывод, что поселок получил высокие баллы по большинству критериев, что подтверждает его потенциал как оздоровительной зоны.

6. Формирование рекомендаций

Для повышения туристической привлекательности рекомендуется:

- создание современной санаторно-курортной инфраструктуры (управление территориями:

Таблица 2. Рейтинг востребованных территорий в Алагирском районе

Территория	Интегральный индекс	Приоритетные направления развития
Верхний Фиагдон	8,9	Инфраструктура, медицина
Цей	7,15	Транспорт, маркетинг
Дзивгис	5,8	Экологический мониторинг

■ Верхний Фиагдон ■ Цей ■ Дзивгис



Рис. 9. Диаграмма рейтинга востребованных территорий в Алагирском районе

использование геоинформационных систем (GIS) позволит более эффективно управлять территориями, планировать развитие инфраструктуры и мониторить экологическую обстановку. Эти технологии помогут оптимизировать использование ресурсов, улучшить логистику и обеспечить устойчивое развитие региона. Внедрение GIS-технологий станет важным шагом на пути к созданию современной и эффективной системы управления территориями);

- поддержание высокого уровня экологической безопасности (уникальность горного климата и фитонцидных лесов: маркетинговая стратегия должна акцентировать внимание на уникальных природных особенностях региона, таких как горный климат и фитонцидные леса. Эти природные богатства создают идеальные условия для оздоровительного туризма, привлекая тех, кто ищет чистый воздух и целебные свойства природы);
- развитие экологического туризма и повышение транспортной доступности (улучшение инфраструктуры станет основой для привлечения туристов и инвесторов, способствуя экономическому росту и повышению качества жизни местных жителей. Реализация инфраструктурных проектов, таких как строительство и модернизация дорог, а также создание современных медицинских центров является первоочередной задачей);

- функциональное зонирование пульмонологического курорта (функциональное зонирование пульмонологического курорта играет ключевую роль в создании комфортной и эффективной среды для лечения и реабилитации пациентов; зона спальных корпусов; коммунальная зона; зона комплексного центра; зона культурно-бытового обслуживания; зона оздоровительного отдыха и спортивная зона).

Реализация этих рекомендаций позволит создать благоприятные условия для размещения пульмонологических курортов в Верхнем Фиагдоне, обеспечив высокий уровень медицинских услуг и комфорт для пациентов.

Выводы

В ходе исследования была разработана и апробирована методика оценки туристического потенциала территории для размещения пульмонологических курортов с использованием геоинформационных технологий. Основные результаты исследования включают выявление наиболее перспективных районов, таких как Алагирский район и поселок Верхний Фиагдон в Северной Осетии – Алании, которые получили высокие баллы по большинству критериев [13].

Определены ключевые группы критериев, включая природно-климатические условия, инфраструктурную развитость и социально-экономические факторы, что позволяет комплексно оценить благоприятность территории для размещения курортов. Использо-

вание геоинформационных технологий, таких как QGIS, позволило визуализировать и проанализировать данные, что способствовало более точной и объективной оценке территорий [14].

Результаты исследования могут быть использованы для разработки планов по развитию санаторно-курортной инфраструктуры, развитию экологического туризма, интеграции в процессы градо-

строительного планирования и зонирования, а также для повышения инвестиционной привлекательности выявленных районов. Таким образом, данное исследование предоставляет ценные рекомендации для градостроительной практики, направленные на развитие пульмонологических курортов и улучшение качества жизни населения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Рекомендации ВОЗ. Здоровые города: интеграция курортной медицины в урбанистику. 2022. URL: <https://www.who.int/publications> (дата обращения: 10.05.2024).
2. Алексеев М.И. Экологическое зонирование и развитие курортов: зарубежный опыт. СПб. : Профессия, 2022. 168 с.
3. Николаева Е.С., Борисов В.П. Инновации в санаторно-курортной инфраструктуре: опыт Северного Кавказа. Пятигорск : РМАН, 2021. 180 с.
4. Захарова Л.Н., Белов А.С. Современные пульмонологические курорты: климатотерапия и реабилитация. Казань : Казанский университет, 2022. 156 с.
5. Гусев А.А. Современные подходы к градостроительному планированию курортных зон. М. : Архитектура-С, 2022. 192 с.
6. ВОЗ. Рекомендации по качеству воздуха (обновленное издание). Женева, 2021. 102 с.
7. ГОСТ Р 58483–2020. Услуги санаторно-курортных организаций. Требования к инфраструктуре и экологической безопасности. М. : Стандартинформ, 2020. 18 с.
8. Об основах туристской деятельности в Российской Федерации : Федеральный закон № 132-ФЗ (ред. от 28.12.2023) // Собрание законодательства РФ. 2023. № 52. Ст. 8456.
9. Тихонова М.А., Громов К.Д. ГИС-анализ в градостроительстве: методы оценки рекреационных зон. М. : Академический Проект, 2023. 198 с.
10. Савельев И.Р., Терехова А.Д. Климатотерапия в условиях высокогорья: научное обоснование и практика. Владикавказ : ИПЦ СОИГСИ, 2023. 134 с.
11. Шевченко И.Г., Федоров Р.Ю. Оценка инвестиционной привлекательности курортных зон с использованием ГИС // Вестник РГУТиС. 2023. № 4. С. 45–59.
12. Лебедев Д.К., Соколова Н.М. ГИС-моделирование рекреационных ресурсов для медицинского туризма. М. : ГЕОС, 2023. 210 с.
13. Иванов С.К., Петрова Е.А. Геоинформационные технологии в оценке туристско-рекреационного потенциала. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 318 с.
14. Министерство природных ресурсов РФ. Методические рекомендации по оценке рекреационного потенциала территорий. 2021. URL: <https://www.mnr.gov.ru> (дата обращения: 10.05.2024).

Об авторах: Диана Александровна Фомина — магистрант кафедры «Градостроительство»; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; e-mail: dianazezavskaya@yandex.ru;

Анна Евгеньевна Коробейникова — кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Градостроительство»; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 1923-8704, ORCID: 0000-0002-4357-1757, ResearcherID: AAC-8979-2022; e-mail: anna-chega@mail.ru.

REFERENCES

1. WHO recommendations. *Healthy cities: integration of spa medicine into urbanism*. 2022. URL: <https://www.who.int/publications> (date of reference: 05/10/2024).
2. Alekseenko M.I. *Ecological zoning and development of resorts: foreign experience*. St. Petersburg, Profession, 2022; 168. (rus.).
3. Nikolaeva E.S., Borisov V.P. *Innovations in sanatorium-resort infrastructure: the experience of the North Caucasus*. Pyatigorsk, RMAN, 2021; 180. (rus.).
4. Zakharova L.N., Belov A.S. *Modern pulmonological resorts: climatotherapy and rehabilitation*. Kazan, Kazan University, 2022; 156. (rus.).

5. Gusev A.A. *Modern approaches to urban planning of resort areas*. Moscow, Architecture, 2022; 192. (rus.).
6. WHO. *Recommendations on air quality (updated edition)*. Geneva, 2021; 102.
7. GOST R 58483–2020. Services of sanatorium-resort organizations. Requirements for infrastructure and environmental safety. Moscow, Standartinform, 2020; 18. (rus.).
8. On the fundamentals of tourist activity in the Russian Federation : Federal Law No. 132-FZ (as amended on 12/28/2023). *Collection of Legislation of the Russian Federation*. 2023; 52:8456. (rus.).
9. Tikhonova M.A., Gromov K.D. *GIS analysis in urban planning: methods for assessing recreational areas*. Moscow, Akademicheskiiy Proekt, 2023; 198. (rus.).
10. Savelyev I.R., Terekhova A.D. *Climatotherapy in the highlands: scientific justification and practice*. Vladikavkaz, CPI SOIGSI, 2023; 134. (rus.).
11. Shevchenko I.G., Fedorov R.Yu. Assessment of the investment attractiveness of resort areas using GIS. *Bulletin of RGUTiS*. 2023; 4:45-59. (rus.).
12. Lebedev D.K., Sokolova N.M. *GIS modeling of recreational resources for medical tourism*. Moscow, GEOS Publ., 2023; 210. (rus.).
13. Ivanov S.K., Petrova E.A. *Geoinformation technologies in the assessment of tourist and recreational potential*. Moscow, Infra-Engineering, 2022; 318. (rus.).
14. Ministry of Natural Resources of the Russian Federation. *Methodological recommendations for assessing the recreational potential of territories*. 2021. URL: <https://www.mnr.gov.ru> (date of request: 05/10/2024).

About the authors: **Diana A. Fomina** — graduate student of the Department Urban planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: dianazaevskaia@yandex.ru;

Anna E. Korobeinikova — Candidate of Technical Sciences, senior lecturer of the Department. Urban Planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 1923-8704, ORCID: 0000-0002-4357-1757, ResearcherID: AAC-8979-2022; e-mail: anna-chega@mail.ru.

Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 2. С. 25–34.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 365.48

DOI: 10.22227/2311-1518.2025.2.25-34

ФОРМИРОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ КЛАССИФИКАЦИИ МНОГОКВАРТИРНОГО ЖИЛИЩА ПОВЫШЕННОГО КЛАССА КОМФОРТНОСТИ

Александра Константиновна Зорина, Ирина Борисовна Мельникова

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

В статье рассматриваются возможные принципы классификации жилья повышенного класса комфортности для условий России. Актуальность данного исследования обусловлена отсутствием четкой единой системы классификации и стандартов комфортности жилья в России, которые определяли бы качество жилищного фонда, а также доступность, инфраструктуру, социальные и экологические аспекты. Многие регионы сталкиваются с проблемой несоответствия нового жилищного фонда современным мировым стандартам по комфорту и безопасности. В Российской Федерации наблюдается высокая стоимость недвижимости и одновременно с этим отсутствие четких критериев, по которым можно судить о соответствии жилища заявленной стоимости. Увеличение внимания к вопросам экологии и устойчивого развития привело к тому, что потребители все больше интересуются экологическими характеристиками жилья. В статье анализируются принципы проектирования жилья повышенного класса комфортности в мировой практике. Результаты исследования показали, что ключевыми аспектами формирования комфортного жилого комплекса являются сбалансированное градостроительное размещение, рациональные планировочные решения, высокотехнологичные инженерные системы и развитая инфраструктура, способствующая интеграции жилой среды в городскую ткань. Особое внимание уделено энергоэффективности и экологическим технологиям, которые становятся неотъемлемыми элементами современных жилых объектов. Предложения для отечественных условий проектирования, представленные в статье, могут быть применены для разработки полноценной классификации и стандартизации многоквартирного жилого строительства повышенного класса комфортности.

Ключевые слова: повышенный класс комфортности, многоквартирные жилые здания, архитектурно-планировочные особенности, устойчивое развитие

Для цитирования: Зорина А.К., Мельникова И.Б. Формирование принципов классификации многоквартирного жилища повышенного класса комфортности // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 2. С. 25–34. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.2.25-34

FORMATION OF THE PRINCIPLES OF CLASSIFICATION OF MULTIFAMILY HOUSING OF HIGHER COMFORT CLASS

Alexandra K. Zorina, Irina B. Melnikova

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

The paper discusses possible principles for classifying high-comfort housing for Russian conditions. The relevance of this study is due to the lack of a clear, unified classification system and standards for housing comfort in Russia that would determine the quality of the housing stock, as well as accessibility, infrastructure, social and environmental aspects. Many regions face the problem of new housing stock not meeting modern global standards for comfort and safety. In the Russian Federation, real estate prices are high, and at the same time, there are no clear criteria for assessing whether a house corresponds to its declared value. Increased attention to environmental issues and sustainable development has led to consumers becoming more interested in the environmental characteristics of housing. The paper analyses the principles of designing high-comfort housing in global practice. The results of the study showed that the key aspects of creating a comfortable residential complex are balanced urban planning, rational design solutions, high-tech engineering systems, and developed infrastructure that promotes the integration of the residential environment into the urban fabric. Particular attention is paid to energy efficiency and environmental technologies, which are becoming integral elements of modern residential properties. The proposals for domestic design conditions presented in the paper can be applied to develop a comprehensive classification and standardization of multi-apartment residential construction with a high level of comfort.

Keywords: increased comfort class, multi-storey residential buildings, architectural and planning features, sustainable development

For citation: Zorina A.K., Melnikova I.B. Formation of the principles of classification of multifamily housing of higher comfort class. Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology. 2025; 2:25-34. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.2.25-34 (rus.).

Введение

Формирование концепции многоквартирного жилья бизнес- и премиум-класса опирается на ряд критериев, направленных на обеспечение высокого уровня комфортности, безопасности и функциональности жилой среды. Эти критерии базируются на научных исследованиях в области архитектуры и градостроительства, а также на анализе мирового опыта проектирования элитного жилья. Проблема классификации комфортности жилья в России связана с несколькими ключевыми аспектами, которые могут варьироваться в зависимости от контекста и критериев оценки комфорта. Некоторые из этих аспектов включают в себя отсутствие единой системы классификации и стандартов, которые определяют уровень комфорта жилья, качество жилищного фонда, доступность и инфраструктуру, социальные и экономические факторы, а также экологические аспекты. По сути, застройщик сам выбирает класс жилого строения, ведь установленных критериев оценки в России нет.

Проблема классификации комфортности жилья и разработка концепции многоквартирного жилья премиум-класса рассматривалась в работах таких исследователей, как А.А. Вишневецкий, Ю.П. Бочаров, И.С. Кузнецов, Л.А. Павлов, В.В. Кравченко, Е.М. Савина, Т.А. Никитина, Г.М. Стерник, С.Г. Стерник, Э.Д. Епишина. Следует отметить, что большинство авторов исследуют тему комфортности жилья в контексте массового жилищного строительства, в то время как исследования, касающиеся премиум-класса, практически отсутствуют.

Существует необходимость и важность изучения не только архитектуры и типологии массового жилья, но и исследований, касающихся элитного многоквартирного жилья. В этот раздел значительный вклад внесли работы В.В. Жукова, Е.С. Михайлова, П.А. Лебедева, Н.А. Федорова, М.А. Котова, О.В. Соколовой. Тем не менее актуальные вопросы проектирования жилья премиум-класса остаются недостаточно исследованными.

Стандартизация критериев жилища и подходов к проектированию в условиях современной России позволит оптимизировать решения, обеспечивая не только высокое качество жизни жильцов, но и устойчивое развитие городской среды [1, 2].

Архитектурное проектирование многоквартирных жилых комплексов высокого уровня комфортности определяется рядом факторов, среди которых особое внимание уделяется градостроительному контексту, пространственной композиции зданий, их силуэту и пластике фасадов. Согласно исследованиям Е.М. Генераловой, гармоничная интеграция жилых комплексов в городскую среду играет ключевую роль в формировании престижности объекта.

Размещение таких объектов преимущественно осуществляется в исторических центрах городов или в экологически привлекательных районах. При этом невысокая плотность застройки и ограниченное количество этажей (не выше 10–12) способствуют повышенной приватности и исключению массовости проживания. Видовые характеристики, обеспечивающие панорамные виды на природные и архитектурные достопримечательности, являются важным аспектом проектирования элитного жилья [3, 4].

Анализ мировой архитектурной практики выявил основные критерии в проектировании жилых комплексов повышенного класса комфортности, включающих не только планировочные решения и архитектурно-пространственную организацию, но также и технологическую оснащенность, новейшие инженерные системы, развитую инфраструктуру и экологическую безопасность.

Материалы и методы формирования принципов классификации

При формировании принципов проектирования многоквартирного жилища высокого класса комфортности ключевые роли играют архитектурно-планировочные и функциональные аспекты. Они определяют не только внешний облик зданий, но и качество жилой среды, влияя на комфорт, безопасность и удовлетворение социальных потребностей жильцов. Во многом архитектурно-функциональные решения становятся отражением социально-экономических условий своего времени, технологических достижений и культурных приоритетов [5, 6]. Принципы проектирования, влияющие на классность многоквартирного жилья, можно разделить на архитектурно-градостроительные, конструктивно-планировочные и инженерно-технологические. С точки зрения **градостроительных условий проектирования** мировая практика показывает преимущество двух вариантов размещения зданий повышенного класса комфортности: исторические центральные кварталы городов, либо лесопарковые территории городских окраин и ближайших пригородов.

Одним из приоритетных принципов формирования элитарного жилища в мировой практике является **небольшая этажность** зданий. Исследования показывают, что в жилых комплексах повышенного класса комфортности в настоящее время наблюдается тенденция к снижению этажности. Например, жилой квартал LIFE-Лесная в Санкт-Петербурге, относящийся к классу «комфорт плюс», характеризуется относительно невысокой этажностью домов (10–13 этажей) и небольшим числом квартир на этаже в количестве четырех. Анало-

гичная ситуация наблюдается в Екатеринбурге, где жилой комплекс «NEWПИТЕР» класса «комфорт плюс» также имеет среднюю этажность (9 этажей) и ограниченное количество квартир на этаже (4–5). В таких комплексах люди чувствуют эксклюзивность жилья, узкий круг соседей позволяет создать более уединенную атмосферу и минимизировать контакт домовладельцев [7, 8].

Выразительная архитектурная форма — один из ключевых принципов проектирования многоквартирного жилья повышенного класса комфортности, так как она формирует уникальный образ здания, отражает его статус и усиливает связь с окружающей средой. В премиальной жилой архитектуре выразительность достигается за счет сложной геометрии, нестандартных объемных решений, сочетания материалов и акцентных элементов, которые придают объекту индивидуальность и интегрируют его в ландшафтный контекст.

Исследование «Architectural Form and Perception of Space in High-End Residential Buildings», опубликованное в Journal of Architectural Research, анализирует влияние выразительных форм на восприятие жилой среды [9]. В работе рассматриваются такие аспекты, как пластика фасадов, ритм оконных проемов, пропорции и интеграция здания в окружающий городской и природный ландшафт. Выводы исследования подтверждают, что архитектурная выразительность способствует формированию положительного эмоционального восприятия среды и повышает статусность жилого комплекса. Выразительные формы активно используются в элитных проектах. Например, One Thousand Museum в Майами, спроектированный З. Хадид, демонстрирует сложную динамическую геометрию, где структура фасада становится неотъемлемым элементом композиции. В PARKROYAL on Pickering в Сингапуре выразительность достигается каскадной структурой с интеграцией озелененных террас, создавая плавный переход между архитектурой и природным окружением [10, 11]. Однако оценить количественно данный критерий практически невозможно. Вероятно, для оценки показателя выразительности проекта следует приглашать экспертов, компетентных в проектировании подобных типов зданий.

Перечисленные выше критерии так или иначе связаны с общими средовыми подходами к проектированию здания. Следующая группа критериев отражает архитектурно-планировочные принципы решения жилища.

Просторные балконы и террасы как неотъемлемый элемент многоквартирного жилища повышенного класса обеспечивают жильцам дополнительное пространство для отдыха и интеграции с внешней средой. Они служат не только местом

для расслабления, но и расширяют функциональность квартиры, создавая плавный переход между интерьером и городской средой. В современных жилых комплексах премиум-класса балконы проектируются с учетом удобства эксплуатации круглый год, часто оснащаясь системами автоматизированного остекления, обогрева пола и встроенного освещения. Исследование «Balcony Design in High-End Residential Buildings: Enhancing Livability and Aesthetic Appeal», опубликованное в Journal of Architectural Design & Urban Planning, подчеркивает важность достаточной глубины балконов (от 1,8 до 2,5 м) для комфортного использования [12]. Авторы отмечают, что безрамное панорамное остекление, сочетающееся с перфорированными экранами для регулирования инсоляции, значительно увеличивает комфортность таких пространств. Ярким примером продуманной интеграции балконов в архитектуру служит жилой комплекс Bosco Verticale в Милане, где балконные конструкции не только увеличивают полезную площадь квартир, но и выполняют функцию террас для вертикального озеленения. В OneHydePark (Лондон) используется концепция раздвижных стеклянных панелей, позволяющих превратить балкон в зимний сад. В проектах с упором на экологичность, например в Edenby Heatherwick Studio (Сингапур), просторные балконы включают такие элементы, как живая изгородь и встроенные системы капельного орошения, создавая естественный микроклимат и визуальное соединение с природой [13, 14].

Для обеспечения объективной оценки уровня комфортности многоквартирного жилья необходима четкая типологическая классификация, учитывающая архитектурно-планировочные, конструктивные и эксплуатационные характеристики. Согласно действующей практике и параметрам, изложенным в нормативных документах и разработках проектных институтов (в частности, в СП 54.13330.2022 и приложенных таблицах классификации), выделяются четыре ключевых класса: стандарт, комфорт, бизнес и элитный (премиум/де-люкс) [15]. Соотношение между ними осуществляется по совокупности признаков, в первую очередь — по размерам площадей квартир. Например, для трехкомнатных квартир минимальная площадь составляет от 120 м² в премиум-сегменте, от 85 м² — в бизнес-классе и от 65 м² — в комфорт-классе. Площадь кухни в элитных проектах, как правило, не менее 20 м², обеспечивая условия для зонирования, размещения обеденной зоны и выхода на террасу или зимний сад. Обязательным является наличие не менее двух санузлов во всех квартирах, начиная с трехкомнатных, и дополнительных помещений — прачечных, гардеробных, постирочных и кладовых.

Гибкость планировочного решения — важный принцип в проектировании жилья повышенного класса комфортности, так как современный потребитель требует адаптивный подход к жизни. Современное пространство должно легко трансформироваться, меняя назначение помещений под нужды жильцов. Кроме того, гибкие планировки способствуют максимально эффективному использованию пространства несмотря на то, что площади квартир значительно увеличены по сравнению с обычными многоквартирными домами. В гибких планировках предусмотрены многофункциональные зоны, которые позволяют жильцам изменять их назначение в зависимости от текущих нужд, например, преобразовывать общие зоны в рабочие или игровые, что способствует повышению функциональных свойств такого жилища. Таким образом, использование каждого квадратного метра становится более рациональным, что напрямую влияет на уровень комфортности.

Еще одним существенным принципом при проектировании является **высота потолков** в квартире. В исследовании Киан Шенг, Донгян Ван и Боя Йу 2021 г. выявляется прямая зависимость высоты потолков на эмоциональное состояние и восприятие пространства [10]. С помощью иммерсивных 360-градусных VR сцен ученые исследовали эмоциональные реакции людей в помещениях с различной высотой потолков: от 2,26 до более чем 9 м. Результаты показали, что низкие потолки вызывали чувство стесненности и страха, особенно в условиях ограниченного пространства. Высокие потолки, напротив, ассоциировались с чувством свободы, радости и психологического комфорта.

Еще одна группа критериев, влияющих на комфортность жилища, — это инженерно-технологические аспекты проектирования многоквартирного жилища.

Акустический комфорт и экологичность строительных материалов — важные принципы проектирования жилья повышенного класса комфортности, так как они обеспечивают благоприятную среду для проживания, снижая уровень шума и повышая качество внутреннего пространства. Это является одним из важнейших принципов проектирования. Чаще всего эти две составляющих связаны между собой и заключаются в выборе отделочных материалов, обладающих этими двумя свойствами. В элитном жилом строительстве звукоизоляция достигается за счет многослойных конструкций, специализированных звукопоглощающих материалов и инновационных технологий, обеспечивающих эффективное поглощение и рассеивание звуковых волн. Одновременно с этим экологичность строительных материалов играет ключевую роль в созда-

нии здоровой среды, минимизируя выделение токсичных веществ и снижая углеродный след зданий. Исследование «Advanced Sound Insulation Techniques in High-End Residential Buildings», опубликованное в *Journal of Building Acoustics*, анализирует эффективность современных звукопоглощающих материалов в жилых комплексах премиум-класса [16]. В работе рассматриваются ключевые решения, включая применение многослойных гипсовых панелей с минеральным наполнителем, акустических мембран, перфорированных панелей с воздушными камерами и виброизолирующих подложек. Исследование показывает, что комбинированное использование эластичных прокладок, двойного остекления с инертными газами и акустически оптимизированных дверных и оконных конструкций позволяет снизить уровень внешнего шума на 40–50 дБ, что особенно актуально в условиях городской застройки. В премиальном сегменте строительства особое внимание уделяется экологичности применяемых материалов. Современные звукопоглощающие панели разрабатываются с использованием переработанных и натуральных компонентов, таких как древесноволокнистые плиты, пробковые покрытия, льняные и хлопковые акустические мембраны. Например, Green Glue Noiseproofing Compound — эластичный демпфирующий слой, который снижает вибрационные колебания между слоями гипсокартона, улучшая звукоизоляцию помещений. В зданиях The Edge в Амстердаме и Bosco Verticale в Милане применяются экологически чистые материалы, сертифицированные по стандартам LEED и BREEAM, что гарантирует низкое содержание летучих органических соединений и безопасный микроклимат внутри помещений.

Самый современный принцип проектирования — **автоматизация работы пространства, интеграция систем «умного дома»**. Исследование The Role of Smart Homes in Providing Care for Older Adults, опубликованное в журнале MDPI Smart Cities, посвящено анализу влияния технологий умного дома на улучшение качества жизни пожилых людей [17]. В работе рассматриваются ключевые аспекты использования таких технологий, включая мониторинг здоровья, управление безопасностью и обеспечение социальной интеграции. Основное внимание уделено тому, как интеллектуальные системы могут способствовать продлению независимого образа жизни пожилых людей в их домах. Работа подчеркивает перспективность умных домов для улучшения качества жизни, включая их потенциал для интеграции в премиальные жилые комплексы, где такие технологии становятся неотъемлемым элементом функциональной среды. Уже сейчас есть возможность полностью автоматизиро-

вать системы контроля климата, очистки воздуха, воды и поддержание нужного уровня влажности воздуха, не говоря о голосовом управлении техникой и светом. Современные системы позволяют полностью отказаться от привычных нам пультов управления, выключателей и диммеров.

Современные инженерные системы обеспечивают высокий уровень комфорта за счет интеграции передовых решений в области управления микроклиматом, энергоснабжением и безопасностью. Центральное кондиционирование позволяет поддерживать оптимальную температуру и влажность в помещениях, исключая перегрев или перепады температуры. Например, в элитном ЖК One Hyde Park в Лондоне применяется централизованная система с индивидуальными настройками микроклимата для каждой квартиры. Автономная котельная обеспечивает бесперебойную подачу тепла и горячей воды, снижая зависимость от городских сетей, как это реализовано в ЖК Sky House в Москве [18]. Система диспетчеризации позволяет централизованно контролировать отопление, водоснабжение, вентиляцию и электроснабжение в режиме реального времени. В 432 Park Avenue в Нью-Йорке она совмещена с «умным домом», давая возможность дистанционного управления параметрами квартиры [19].

Еще одним важным принципом является **использование энергоэффективных материалов пассивных систем** обогрева и охлаждения. Он направлен на создание экологичного, экономичного и устойчивого жилого пространства. Использование инновационных строительных материалов и интеграция пассивных инженерных решений позволяют минимизировать энергопотребление здания, снижая нагрузку на климатические системы и эксплуатационные расходы. Исследование «Passive Design Strategies for High-Performance Residential Buildings», опубликованное в Journal of Sustainable Architecture and Engineering, анализирует влияние пассивных систем обогрева и охлаждения на энергоэффективность жилых зданий [20]. В работе рассматриваются ключевые принципы использования естественного солнечного тепла, тепловой инерции материалов, эффективного остекления и продуманной вентиляции. Исследование показывает, что применение материалов с высокой теплоемкостью, многослойных фасадных панелей, а также оптимальная ориентация здания относительно солнца могут значительно снизить потребность в искусственном отоплении и кондиционировании. В элитном жилом строительстве широко применяются энергоэффективные материалы, такие как вакуумные изоляционные панели, фасадные системы с фотокаталитическими покрытиями и энергоак-

тивное стекло. Например, в The Crystal в Лондоне, одном из самых энергоэффективных зданий в мире, используется комбинация пассивного солнечного обогрева, геотермальных насосов и интегрированных систем естественной вентиляции. В Bosco Verticale в Милане пассивные системы охлаждения дополнены зелеными фасадами, которые не только улучшают микроклимат внутри здания, но и способствуют снижению тепловой нагрузки летом [21].

Результативные предложения и концепция проектирования для условий РФ

Рассмотренные выше критерии проектирования для жилых зданий высокого класса комфортности были применены при проектировании жилого комплекса премиум класса в г. Владивостоке Приморского края, в северо-западной части города. Основной идеей проектирования было создание зеленого оазиса вблизи морского побережья, в котором жители не будут чувствовать себя оторванными от природы, а наоборот, жить в условиях, приближенных к природному курорту. Закрытая территория жилого комплекса разработана как ландшафтный парк вокруг существующего пруда с прогулочными, игровыми, досуговыми и рекреационными зонами.

Необычное формообразование корпусов вдохновлено формой пруда, находящегося в центре комплекса. Он задает тон композиции расположения корпусов на проектируемой территории, а также сам характер извилистых обтекаемых абрисов жилых зданий и парковки (рис. 1). Также нестандартная форма корпусов способствует ориентации квартир сразу на трипейзажные доминанты: море, сопки и парковую часть ландшафта территории. Это, в свою очередь, способствует хорошей обеспеченности инсоляции квартир.

Для комплекса разработано дватипа жилых корпусов. Высотность обоих типов корпусов не превышает 8 этажей. Это комфортная высотность для восприятия человека. Окруженная зеленью архитектура, облицованная экологичными, приятными глазу и знакомыми по фактуре отделочными материалами и с панорамным остеклением, отражающим деревья и небо, способствует формированию комфортной для человека пространственной среды.

Корпус типа «А» полностью жилой. Он имеет 7 жилых этажей по 3 квартиры на каждом. Первый этаж полностью запроектирован для людей малоавтомобильной группы населения.

Корпус типа «Б» включает коммерческий первый этаж, на котором расположены элементы инфраструктуры для жителей комплекса. В них входят: аптечный пункт, кафе, минимаркет и центр дет-

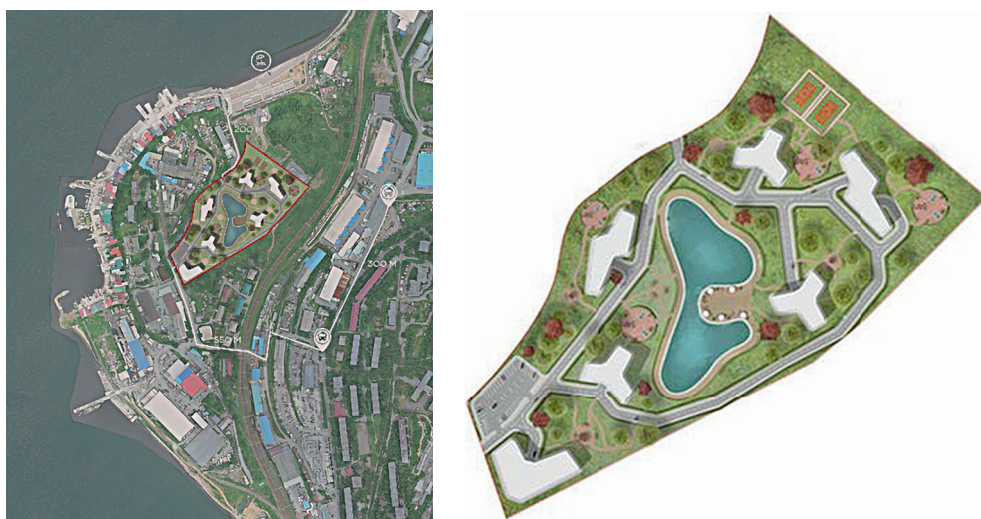


Рис. 1. Ситуационный и генеральный планы жилого комплекса



Рис. 2. Общий вид зданий жилого комплекса

ского развития. Все подъезды всех корпусов имеют консьерж-сервис, предусмотренные помещения для хранения колясок и велосипедов.

Динамичные и ассиметричные фасады корпусов — это основа архитектурного облика (рис. 2).

Разные по форме и размерам вылеты терраси балконов задают живой метроритмический рисунок силуэта корпусов (рис. 3). Для опоры террас и балконов предусмотрены отдельные металлические колонны по всей длине фасадов. Отделка полов на террасах выполнена в нескользящем шероховатом керамограните с текстурой дерева. Кант перекрытия с двутавровым сечением выполнен из белого износостойкого полимерного материала, который не выцветает и не деформируется при изменении температуры. Все фасады корпусов облицованы японскими фасадными панелями «Nichiha» из фиброцемента. Панели такого типа — оптимально сбалансированные материалы для облицовки наружных стен зданий и сооружений при устройстве вентилируемых фасадов. Они имеют размеры 3030×455 мм с наногидрофильным самоочищающимся покрытием. Все отделочные материалы выбраны исходя из конструктивных, эстетических особенностей и современных тенденций в выборе отделочных материалов. Остекление по фасаду



Рис. 3. Фрагмент фасада

выполнено современными витражными оконными системами с теплозащитами для снижения теплопотерь в зимний период. Кровля плоская, неэксплуатируемая с парапетом и предусмотренным выходом для производства ремонтных работ.

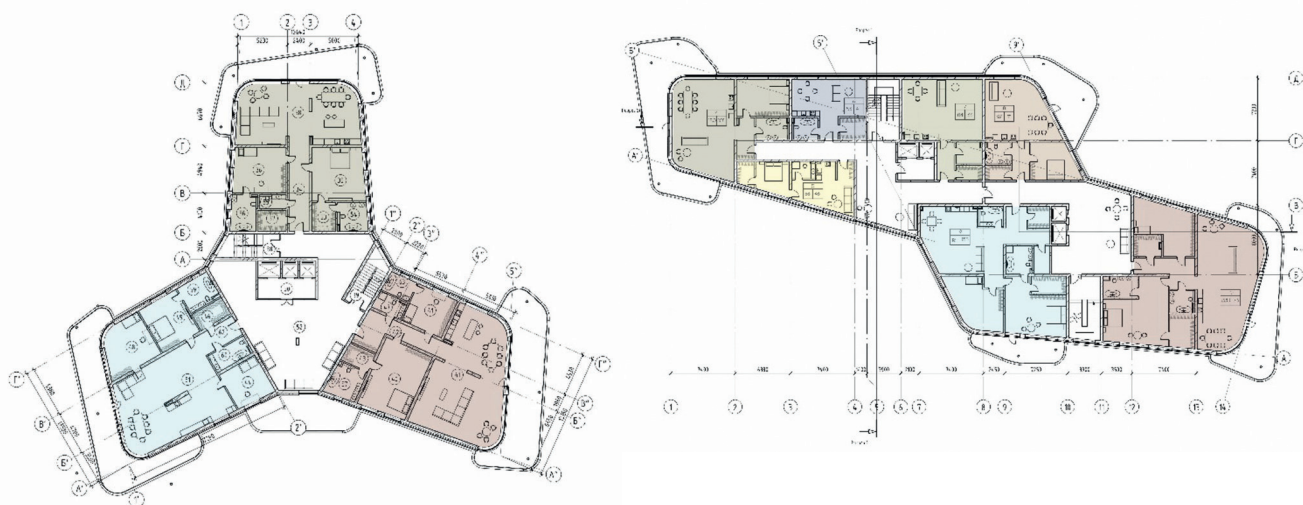


Рис. 4. Планы типовых этажей

Входные зоны жилого комплекса спроектированы с учетом высокого уровня эстетики и функциональности. Стены облицованы натуральным камнем: мрамором и травертином в сочетании с деревянными панелями из ценных пород, создающими теплую атмосферу. Пол выложен широкоформатным керамогранитом с матовой поверхностью, обеспечивающей хорошую износостойкость. Потолки декорированы акустическими панелями с интегрированной LED-подсветкой, которая подчеркивает геометрию пространства. Меблировка включает зоны ожидания с дизайнерскими креслами и журнальными столиками, а также ресепшен из натурального камня с латунными элементами.

Планировочные решения квартир отвечают всем параметрам высокого комфорта. Площадь квартир варьируется от 190 до 210 м² и содержит 3 или 4 жилые комнаты с кухнями-гостиными евростандарта (рис. 4). Почти все спальни оснащены частным санузлом и гардеробной. Планировку квартир легко можно переустроить под нужды отдельных жильцов. Гибкость планировочной системы достигнута с помощью пилонной конструктивной системы.

Квартиры в премиальном жилом комплексе оформлены с учетом индивидуального дизайна и максимального комфорта. Основные зоны — гостиная, кухня, спальня — имеют инженерный паркет или натуральный камень на полу, декоративную штукатурку и текстильные панели на стенах. Ванная комната отделана водостойким мрамором или керамогранитом с интегрированной системой подогрева пола. Все квартиры оснащены встроенной системой «умного дома», управляемой через мобильное приложение.

Жилой комплекс оснащен передовыми инженерными системами, обеспечивающими высокий уровень комфорта, безопасности и энергоэффективности. Инженерные решения разработаны с учетом

актуальных стандартов и тенденций в области премиального строительства. В комплексе реализована централизованная система кондиционирования на базе VRV/VRF-технологий, позволяющая жильцам индивидуально регулировать температуру в каждой комнате. Приточно-вытяжная вентиляция с системой рекуперации тепла обеспечивает постоянный приток свежего воздуха, снижая энергозатраты на обогрев и охлаждение помещений. В местах общего пользования установлены автоматизированные климатические системы, поддерживающие оптимальный микроклимат.

Комплекс оборудован автономной газовой котельной, обеспечивающей независимость от городских теплосетей и стабильное теплоснабжение в любое время года. В квартирах предусмотрена система теплых полов в санузлах и кухонных зонах, а также автоматизированные радиаторы с возможностью индивидуальной регулировки температуры.

Здание оборудовано системой противодымной вентиляции с автоматическими клапанами, предотвращающей распространение продуктов горения в случае ЧС. Противопожарные двери с механизмом «антипаника» обеспечивают безопасную эвакуацию, а во всех помещениях предусмотрены пожарные извещатели и спринклерная система пожаротушения.

В комплексе реализована многоступенчатая система очистки воды, включающая грубую и тонкую фильтрацию, а также системы умягчения и обезжелезивания воды. Это позволяет обеспечить жильцов чистой питьевой водой прямо из-под крана, соответствующей высоким экологическим стандартам.

Все инженерные системы объединены в централизованную систему диспетчеризации, позволяющую оперативно отслеживать состояние оборудования и устранять возможные неисправности. В квартирах предусмотрена система «Умный дом», включающая управление освещением, кли-

матом, защитными рольставнями и видеодомофонами через мобильное приложение.

Архитектура жилого комплекса олицетворяет современный подход к проектированию комфортно-го и экологичного жилья премиум-класса. Комплекс демонстрирует синтез архитектуры и ландшафтного дизайна, воплощая в себе принципы экологичного проектирования и современного подхода к премиальному жилому строительству.

Выводы

Анализ принципов формирования многоквартирного жилища повышенного класса комфортности в мировой практике подтверждает необходимость стандартизации подходов к проектированию жилых комплексов подобного класса в России. Современная жилищная среда требует не только соответствия нормативным требованиям, но и учета растущих ожиданий потребителей, ориентированных на качество жизни, экологическую устойчивость и технологическую оснащенность.

В настоящее время отсутствие четкой системы классификации в РФ приводит к размытости критериев, усложняет процесс выбора жилья для покупателей и тормозит развитие премиального сегмента недвижимости. Дефицит качественного комфортного жилья, особенно в регионах, приводит к сильным перекосам в отношении «цена – качество» на рынке новой недвижимости. Введение унифицированных стандартов, базирующихся на четких архитектурно-планировочных, инженерно-технологических и инфраструктурных характеристиках, позволит создать прозрачную систему оценки жилых комплексов, что важно как для потребителей, так и для девелоперов и регулирующих органов.

Результаты исследования показали, что ключевыми аспектами формирования комфортного жилого комплекса являются сбалансированное градостроительное размещение, основанное на выгодном расположении здания в городской или загородной

среде, имеющих развитую инфраструктуру; планировочные решения, повышающие комфортность проживания не только за счет увеличения площади квартир, но и за счет гибкости самих планировок; наличие высокотехнологичных инженерных систем и отделочных материалов. Особое внимание уделено энергоэффективности и экологическим технологиям, которые становятся неотъемлемыми элементами современных жилых объектов. Эти факторы определяют не только уровень комфорта, но и экономическую целесообразность эксплуатации зданий, сокращение эксплуатационных затрат и минимизацию негативного воздействия на окружающую среду.

Концептуальное проектное предложение жилого комплекса во Владивостоке учитывает основные принципы и критерии проектирования жилищ элитного сегмента, проанализированные в исследовании. Оно демонстрирует возможность гармоничного сочетания архитектурных, инженерных и экологических решений, ориентированных на создание высококлассной жилой среды. Применение передовых технологий, таких как системы «умного дома», автономные инженерные сети, гибкие планировки и инновационные строительные материалы, делает этот проект показательной моделью для дальнейшего совершенствования жилищного строительства в России.

Таким образом, разработка и внедрение системы классификации комфортности жилья, основанной на объективных и субъективных (экспертная оценка художественных качеств) критериях, позволят повысить качество жилищного фонда, сделать рынок недвижимости более структурированным и понятным, а также сформировать комфортную, безопасную и устойчивую городскую среду. Дальнейшее развитие данной системы и ее нормативное закрепление станут важным шагом в эволюции архитектурного проектирования, обеспечивая соответствие российского жилищного строительства мировым стандартам.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Генералова Е.М. Экологическое градостроительство: современные подходы // Эко Вектор. 2017. Т. 7. № 4. URL: <https://journals.eco-vector.com/2542-0151/article/view/51273>
2. Жоголева А.В. Архитектурно-градостроительное проектирование жилой группы как социального образования. 2011. URL: <https://journals.eco-vector.com/2542-0151/article/view/53940>
3. Qiang Sheng, Dongyang Wan, Boya Yu. Effect of Space Configurational Attributes on Social Interactions in Urban Parks. 2021. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/14/7805>
4. Arian Vrančić, Hana Zadravec, Tihomir Orehovački. The Role of Smart Homes in Providing Care for Older Adults: A Systematic Literature Review from 2010 to 2023 // Journal of Smart Cities. 2024. No. 7 (4). P. 62. URL: <https://www.mdpi.com/2624-6511/7/4/62>
5. НИП «Голоса народов». Какие планировки клиенты премиального сегмента считают самыми удобными. 2023. URL: <https://www.golosagorodov.info/nedvizhimost/aktualnye-materialy/kakie-planirovki-klienty-premialnogo-segmenta-schitayut-samymi-udobnymi.html?utm>

6. Фонаева Е. Системы инженерии элитных ЖК: слагаемые комфорта. URL: <https://www.frommillion.ru/magazine/812-sistemy-inzhenerii-elitnyh-zhk-sлагаемые-komforta>
7. Zaha Hadid Architects. One Thousand Museum: Architectural Innovation in High-Rise Residential Design // Journal of Contemporary Architecture. 2019. No. 12 (3). Pp. 87–102. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/One_Thousand_Museum
8. WOHA Architects. Green Urbanism and Architectural Form: The Case of PARKROYAL on Pickering // International Journal of Sustainable Architecture. 2018. № 9 (4). Pp. 115–130. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Parkroyal_Collection_Pickering
9. Débora Gregoletto, Antônio Reis. High-rise buildings in the perception of the users of the urban space. 2012. URL: https://www.researchgate.net/publication/291331680_High-rise_buildings_in_the_perception_of_the_users_of_the_urban_space
10. One Thousand Museum — новый многоэтажный жилой дом от Zaha Hadid Architects // Architime. URL: https://www.architime.ru/news/zaha_hadid_architects_3/one_thousand_museum.htm#1.jpg
11. Отель Parkroyal on Pickering // ArchiRu. URL: <https://archi.ru/projects/world/8096/otel-parkroyal-on-pickering>
12. Balcony Design in High-End Residential Buildings: Enhancing Livability and Aesthetic Appeal // Journal of Architectural Design & Urban Planning. 2021. URL: <https://www.archdesignjournal.com/articles/balcony-design>
13. Bosco Verticale // Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Bosco_Verticale
14. One Hyde Park — самый дорогой жилой комплекс Лондона // Domik.ua. 2011. URL: <https://domik.ua/novosti/one-hyde-park---samyj-dorogoj-zhiloj-kompleks-londona-foto-n147482.html>
15. СП 54.13330.2022. СНиП 31-01–2003. Здания жилые многоквартирные. URL: minstroyrf.gov.ru
16. Building acoustics throughout Europe // COST Action TU0901: Integrating and Harmonizing Sound Insulation Aspects in Sustainable Urban Housing Constructions. URL: https://www.cost.eu/uploads/2018/07/Part_I.pdf
17. SKYHOUSE // Высота новой жизни. URL: <https://skyhouse.moscow/>
18. Кудымова Е. Системы инженерии элитных ЖК: слагаемые комфорта. URL: <https://www.metrium.ru/news/detail/sistemy-inzhenerii-elitnykh-zhk-sлагаемые-komforta>
19. Небоскреб 432. Park Avenue // ARCHI RU. URL: <https://archi.ru/projects/world/8123/neboskreb--park-avenue>
20. Selecting suitable passive design strategies for residential high-rise buildings in tropical climates to minimize building energy demand // ScienceDirect. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132324010199>
21. Мэрия Лондона переедет из центра города на восток // ZIMAMagazine. 2020. URL: <https://zimamagazine.com/2020/11/meriya-londona-pereedet-iz-centra-goroda-na-vostok/>

Об авторах: **Александра Константиновна Зорина** — студентка магистратуры Института архитектуры и градостроительства (ИАГ); **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; e-mail: zalexandra00@gmail.com;

Ирина Борисовна Мельникова — доцент, кандидат архитектуры, доцент кафедры «Архитектура»; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; e-mail: irinport@gmail.com.

REFERENCES

1. Generalova E.M. Ecological Urban Planning: Modern Approaches. *Eko Vector*. 2017; 7(4). URL: <https://journals.eco-vector.com/2542-0151/article/view/51273> (rus.).
2. Zhogoleva A.V. *Architectural and Urban Planning of Residential Groups as Social Formations*. 2011. URL: <https://journals.eco-vector.com/2542-0151/article/view/53940>
3. Sheng Q., Wan D., Yu B. Effect of Space Configurational Attributes on Social Interactions in Urban Parks. *Sustainability*. 2021; 13(14):7805. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/14/7805>
4. Vrančić A., Zadavec H., Orehovački T. The Role of Smart Homes in Providing Care for Older Adults: A Systematic Literature Review from 2010 to 2023. *Journal of Smart Cities*. 2024; 7(4):62. URL: <https://www.mdpi.com/2624-6511/7/4/62>
5. NIP “Golosa narodov”. *Which layouts do premium customers find most convenient*. 2023. URL: <https://www.golosagorodov.info/nedvizhimost/aktualnye-materialy/kakie-planirovki-klientypremiumnogo-segmenta-schitayut-samymi-udobnymi.html?utm>

6. Fonaeva E. *Engineering Systems in Elite Residential Complexes: Components of Comfort*. URL: <https://www.frommillion.ru/magazine/812-sistemy-inzhenerii-elitnyh-zhk-slagaemye-komforta>
7. Zaha Hadid Architects. One Thousand Museum: Architectural Innovation in High-Rise Residential Design. *Journal of Contemporary Architecture*. 2019; 12(3):87-102. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/One_Thousand_Museum
8. WOHA Architects. Green Urbanism and Architectural Form: The Case of PARKROYAL on Pickering. *International Journal of Sustainable Architecture*. 2018; 9(4):115-130. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Parkroyal_Collection_Pickering
9. Gregoletto D., Antônio Reis. *High-Rise Buildings in the Perception of the Users of Urban Space*. 2012. URL: <https://www.researchgate.net/publication/291331680>
10. New High-Rise Residential Building by Zaha Hadid Architects. *Architime*. URL: https://www.architime.ru/news/zaha_hadid_architects_3/one_thousand_museum.htm#1.jpg
11. Hotel Parkroyal on Pickering. *Archi.ru*. URL: <https://archi.ru/projects/world/8096/otel-parkroyal-onpickering>
12. Balcony Design in High-End Residential Buildings: Enhancing Livability and Aesthetic Appeal. *Journal of Architectural Design & Urban Planning*. 2021. URL: <https://www.archdesignjournal.com/articles/balcony-design>
13. Bosco Verticale. *Wikipedia*. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Bosco_Verticale
14. One Hyde Park – The Most Expensive Residential Complex in London. *Domik.ua*. 2011. URL: <https://domik.ua/novosti/one-hyde-park---samyj-dorogoj-zhiloj-kompleks-londona-foto-n147482.html>
15. SP 54.13330.2022. SNiP 31-01–2003. Residential Apartment Buildings. *Ministry of Construction of the Russian Federation*. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru>
16. Building Acoustics Throughout Europe. *COST Action TU0901: Integrating and Harmonizing Sound Insulation Aspects in Sustainable Urban Housing Constructions*. 2018. URL: https://www.cost.eu/uploads/2018/07/Part_I.pdf
17. Sky House. *The Height of New Life*. URL: <https://skyhouse.moscow/>
18. Kudymova E. *Engineering Systems in Elite Residential Complexes: Components of Comfort*. URL: <https://www.metrium.ru/>
19. Skyscraper 432 Park Avenue. *Archi.ru*. URL: <https://archi.ru/projects/world/8123>
20. Selecting Suitable Passive Design Strategies for Residential High-Rise Buildings in Tropical Climates to Minimize Building Energy Demand. *ScienceDirect*. 2024. URL: <https://www.sciencedirect.com/>
21. London City Hall Moves from the Center to the East. *ZIMA Magazine*. 2020. URL: <https://zimamagazine.com/>

About the authors: **Alexandra K. Zorina** — Master's student at the Institute of Architecture and Urban Planning (IAUP); **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: zalexandra00@gmail.com;

Irina B. Melnikova — Associate Professor, PhD in Architecture, Associate Professor of the Department of Architecture; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: irinport@gmail.com.

Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 2. С. 35–46.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 711

DOI: 10.22227/2311-1518.2025.2.35-46

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ДОСТУПНОСТИ ШКОЛ НА ПРИМЕРЕ Г. КОРОЛЕВА МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Ольга Юрьевна Лептюхова, Виктория Алексеевна Чиркова

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

Решение проблем дефицита территориальной доступности общеобразовательных организаций является одной из актуальных задач современного градостроительства, поскольку позволяет повысить уровень жизни населения в городе. Особенно предпочтительным является обеспечение пешеходной доступности — передвижение по городу пешком благоприятно сказывается на здоровье населения и на экологической обстановке, снижая частоту использования транспортных средств. Однако при комплексном развитии сложившейся застройки в силу ряда причин (старение населения, ошибки в прогнозах потенциальной востребованности мест в школах) представляется сложным применять действующие нормативные требования к территориальной доступности школ. В статье приводятся результаты исследования территориальной доступности общеобразовательных организаций на примере г. Королева Московской области с использованием картографического метода на основе ГИС-технологий. Выявлено, что территориальная доступность для населения школ г. Королева на основе действующих нормативов к пешеходной доступности не обеспечивается. Рассматривается вариант пешеходно-транспортной доступности школ на основе концепции «15-минутного города». Допущение транспортных передвижений позволяет значительно улучшить территориальную доступность школ. Однако незначительная часть жилой застройки города все-таки оказывается вне 15-минутной доступности. В статье предлагаются решения, в том числе проектного характера, позволяющие исключить такой дефицит. Обсуждается, что транспортные передвижения могут осуществляться разными способами и их применение имеет ряд ограничений.

Ключевые слова: территориальная доступность, радиусы пешеходной доступности, общеобразовательные организации, доступность школ, моделирование обслуживания

Для цитирования: Лептюхова О.Ю., Чиркова В.А. Совершенствование территориальной доступности школ на примере г. Королева Московской области // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 2. С. 35–46. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.2.35-46

IMPROVING THE TERRITORIAL ACCESSIBILITY OF SCHOOLS ON THE EXAMPLE OF KOROLEV, MOSCOW REGION

Olga Yu. Leptyukhova, Viktoria A. Chirkova

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

Solving the problems of the lack of territorial accessibility of educational institutions is one of the urgent tasks of modern urban planning, as it allows to improve the standard of living of the population in the city. It is especially preferable to ensure pedestrian accessibility — walking around the city has a positive effect on public health and the environmental situation, reducing the frequency of vehicle use. However, with the complex development of the current development, due to a number of reasons (population aging, errors in forecasting the potential demand for places in schools), it seems difficult to apply the current regulatory requirements for the territorial accessibility of schools. The article presents the results of a study of the territorial accessibility of educational institutions using the example of Korolev, Moscow region, using cartographic methods based on GIS technologies. It is revealed that the territorial accessibility for the population of schools in Access to pedestrian accessibility is not provided based on current regulations. The option of pedestrian and transport accessibility of schools based on the concept of a “15-minute city” is being considered. Allowing for transport movements can significantly improve the territorial accessibility of schools. However, a small part of the residential development of the city still turns out to be outside the 15-minute accessibility. The article suggests solutions, including those of a design nature, to eliminate such a deficit. It is discussed that transportation can be carried out in different ways and their use has a number of limitations.

Keywords: territorial accessibility, pedestrian accessibility radii, educational organizations, school accessibility, service modeling

For citation: Leptyukhova O.Yu., Chirkova V.A. Improving the territorial accessibility of schools on the example of Korolev, Moscow region. Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology. 2025; 2:35-46. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.2.35-46 (rus.).

Введение

Одной из актуальных задач современного градостроительства при планировании комфортной и благоприятной городской среды является обеспечение достаточной территориальной доступности организаций общественного образования (школ). В зависимости от способа передвижения территориальная доступность классифицируется на пешеходную, осуществляемую путем самостоятельного передвижения человека, транспортную, с помощью транспортных средств (как общественных, так и личных), и комбинированную, применяющую оба способа передвижения. В целях создания комфортной среды и улучшения качества городской жизни территориальная доступность подлежит нормированию. Это общий мировой подход планирования и проектирования городской среды, в том числе реализованный в практике проектирования советского времени [1, 2]. В настоящее время большое распространение в мировой практике получила концепция «15-минутного города» [3–14]. В таком городе соблюдается принцип компактности: основные объекты обслуживания находятся в пределах 15 мин ходьбы или езды на транспорте от жилья, повышая уровень комфорта проживания. В мировой практике также применяются теории 10- и 20-минутной доступности [3–5], однако наибольшее распространение получила именно концепция «15-минутного города». В первую очередь в городских условиях требуется обеспечить высокую пешеходную доступность, как наиболее естественный, дешевый для человека способ передвижения. Концепция признана основополагающим инструментом проектирования здоровых и устойчивых городских пространств [6].

При современном градостроительном проектировании обеспечение территориальной доступности школ принимается одной из актуальных задач, широко обсуждаемых на правительственном уровне в средствах массовых коммуникаций [15, 16].

Существуют различные подходы к обеспечению территориальной доступности общеобразовательных организаций как уже существующих, так и планируемых к строительству. В зарубежной практике при определении количества и места проживания будущих учеников школ могут использоваться данные о рождаемости и регистрации у врачей общей практики. Для расчета емкости школ на основе данных о перспективном жилье в районе применяются расчетные коэффициенты для двух образовательных ступеней: начальной — 0,3 места на один индивидуальный жилой дом и 0,15 места на квартиру в многоквартирном доме; и средней — 0,2 и 0,1 соответственно [17]. Путь до школы должен быть безопасным, просматриваемым и прямым, длительностью не более 600 м для учащихся начальной

школы и не более 1500 м для средней [18]. Предъявляемые требования к территориальной доступности школ могут варьироваться по отношению к определенному контингенту учеников. Так, идеальная пешеходная доступность должна быть у 50 % учащихся (400 м и меньше до школы), а 90 % обучающихся должны проживать не более чем в 15 мин езды на общественном транспорте или семейном автомобиле [19].

Отечественные градостроительные нормативы также устанавливают предельное расстояние от дома до школы: радиус пешеходной доступности в городской местности составляет не более 500 м, в сельской — не более 1000 м и не далее 30 км на транспорте [20]. Данные параметры заимствованы из советской практики нормирования. Таким образом, для городских населенных пунктов действующие нормативы регулируют только пешеходную доступность общеобразовательных организаций. Вопросы обеспечения пешеходной доступности более эффективно могут быть решены при проектировании комплексной застройки элементов планировочной структуры, но в условиях сложившейся застройки органы местного самоуправления сталкиваются с рядом трудностей. Образовательные учреждения, ориентируемые на пешеходную доступность, как правило, характеризуются небольшой емкостью, что подтверждается советским опытом планировки жилых территорий. В условиях подушевого финансирования мест в образовательных организациях такие школы признаны малоэффективными с экономической точки зрения и опыт последних десятилетий свидетельствует о массовом строительстве школ повышенной вместимости, что приводит к ряду проблемных ситуаций [21]. Кроме этого, в отдельных субъектах (Москва и Московская область) проведена образовательная реформа, объединяющая образовательные организации, зачастую находящиеся на значительном удалении друг от друга, в комплексы.

В настоящее время имеют место две основные тенденции, проявляющиеся в существующей застройке и не учитываемые в действующей практике нормирования:

- старение населения и, как следствие, образующийся профицит в действующих общеобразовательных организациях, обслуживающих жилую застройку советского периода;
- построенные в последние десятилетия общеобразовательные организации повышенной вместимости (более 1000 мест), рассчитанные на основе невысокого уровня жилищной обеспеченности, оказываются недозагруженными и не обеспеченными ни нормативными радиусами пешеходной доступности, ни организованными вариантами

транспортной доступности, которыми учащиеся могут пользоваться самостоятельно без привлечения сопровождающих, которыми, как правило, выступает кто-то из родственников. Такая неорганизованность, привязывающая к ребенку одного из родственников, мешает выходу на рынок рабочей силы и косвенно влияет на уровень рождаемости.

Таким образом, в реальной жизнедеятельности ученики вынуждены использовать транспорт для посещения школы [16].

В исследовании рассматриваются возможности компенсации дефицита пешеходной доступности.

Исследование проводится на примере общеобразовательных организаций, реализующих программы начального общего, основного общего и среднего общего образования в г. Королеве.

Гипотеза исследования состоит в том, что территориальную доступность общеобразовательных организаций начальной общей, основной общей и средней общей ступеней в современных условиях невозможно обеспечить только посредством пешеходной доступности, нормируемой в действующих сводах правил. Для полного ее обеспечения может быть применена концепция «15-минутного города» на основе комбинированных пешеходно-транспортных передвижений к школе.

Материалы и методы

Исследование территориальной доступности проводилось для всех школ г. Королева, реализующих программы начального общего, среднего общего и основного общего образования.

В ходе исследования проведен анализ справочных интернет-ресурсов. Как основной источник информации о городе и общеобразовательных организациях использовались официальные интернет-сайты администрации г. Королева и сайт Комитета образования Администрации г.о. Королев, а также публичные сайты каждого школьного учреждения. Дополнительным источником информации о структуре города выступает генеральный план г.о. Королев [22].

Изучены отечественные нормативные требования по территориальной доступности школ. Пешеходная доступность общеобразовательных организаций регламентируется таблицей 10.1 СП 42.13330.2016 «СНиП 2.07.01–89* Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» [20]. Также нормативные параметры доступности приведены в п. 2.1.2 СП 2.4.3648–20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного

врача РФ от 28.09.2020 № 28 [23]. Способ измерения параметров доступности — радиусов обслуживания учреждений — в вышеуказанных документах не определен. В п. 3.1.18 СП 476 радиус доступности измеряется как кратчайшее расстояние от границы участка размещения объекта обслуживания до жилого дома, измеряемое по воздушной прямой [24]. Порядок применения предлагаемых параметров приведен в «Методических рекомендациях по развитию сети образовательных организаций и обеспеченности населения услугами таких организаций, включающих требования по размещению организаций сферы образования, в том числе в сельской местности, исходя из норм действующего законодательства Российской Федерации, с учетом возрастного состава и плотности населения, транспортной инфраструктуры и других факторов, влияющих на доступность и обеспеченность населения услугами сферы образования», утвержденных заместителем министра образования и науки Российской Федерации А.А. Климовым 4 мая 2016 г. № АК-15/02вн [25].

В процессе исследования использован опыт как отечественных, так и зарубежных исследований территориальной доступности школьных учреждений, в том числе на основе концепции «15-минутного города» [26–29].

Исследование проводилось с применением картографического метода. Для анализа территориальной доступности использовались инструменты геоинформационной системы QGIS и данные открытого некоммерческого веб-картографического проекта OpenStreetMap, дополняемые и изменяемые с учетом актуальных данных о городской среде, источником которых служили аналогичные картографические системы, осуществляющие онлайн-доступ к информации.

Результаты

Жилая застройка г. Королева представлена многоквартирными жилыми домами (преимущественно многоэтажными и высотными), блокированными и индивидуальными жилыми домами. В центральной части города размещается многоквартирная жилая застройка различных временных периодов, в удалении от нее пролегают районы индивидуальной жилой застройки с очаговыми включениями современных многоквартирных жилых комплексов. В северо-восточной и юго-восточной частях города на отдалении расположены особенно протяженные территории индивидуального жилого строительства.

На схеме (рис. 1) отражено положение 29 общеобразовательных организаций г. Королева, главным образом сконцентрированных в центральной части

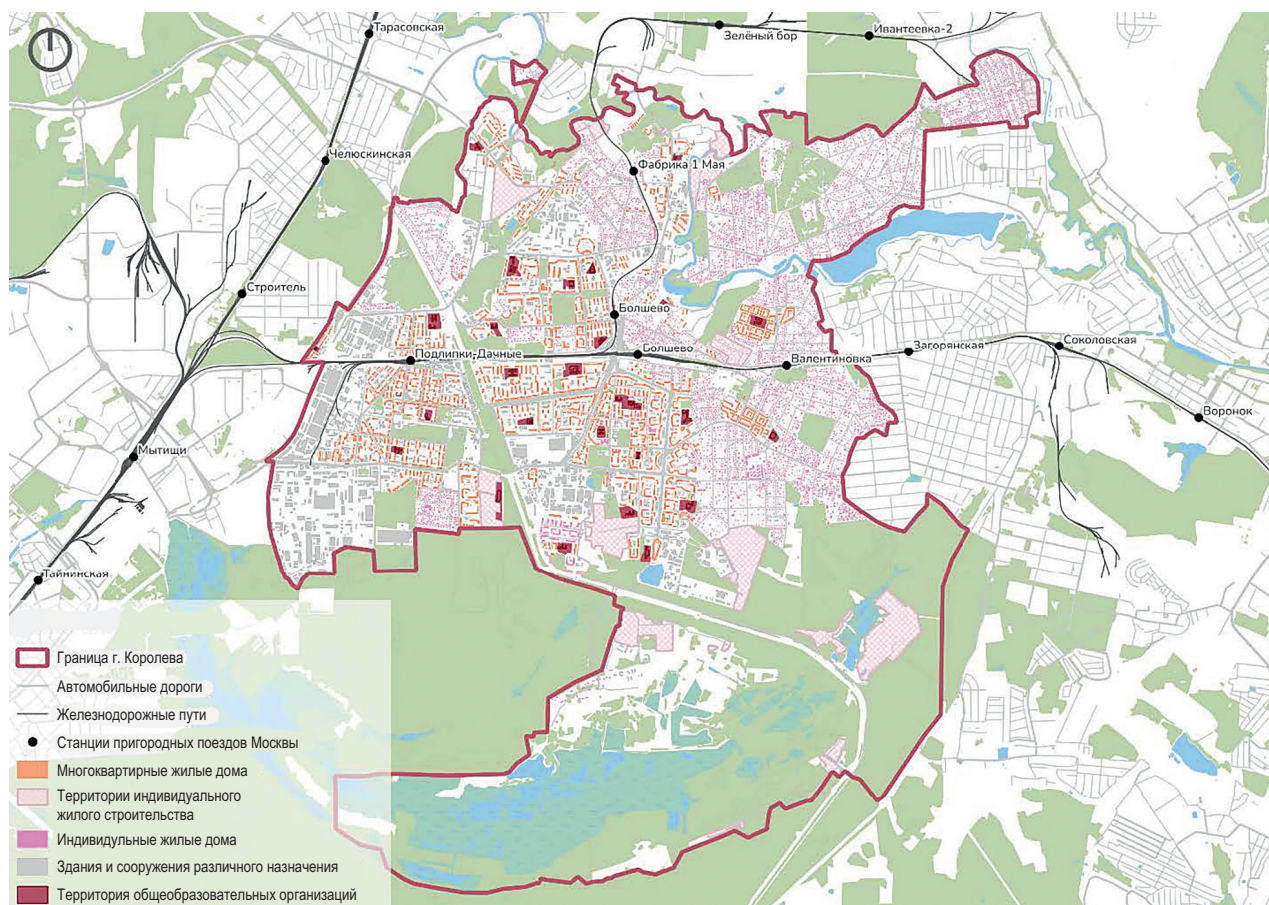


Рис. 1. Схема расположения общеобразовательных организаций и распределения типов застройки в г. Королеве

города. Общеобразовательные организации расположены преимущественно в районах многоквартирной жилой застройки, в том числе в границах новых жилых комплексов, возведенных среди территорий индивидуального жилого строительства.

Первоначально проведена оценка пешеходной доступности с использованием метода построения радиусов доступности, проводимых по воздушной прямой, и метода построения изохрон, отображающих дальность пути объекта с заданной скоростью за промежуток времени (рис. 2). Согласно п. 10.5 СП 42.13330.2016, радиус обслуживания населения общеобразовательной организацией в городском населенном пункте составляет 500 м [20], который и принят при построениях по воздушной прямой. Для расчета изохрон в QGIS приняты скорость передвижения пешехода 5 км/ч, дальность проходимого расстояния 500 м для возможности сравнения с площадью покрытия радиусом доступности.

Согласно выполненным построениям (рис. 2), на рассматриваемой территории не обеспечена пешеходная доступность общеобразовательных организаций — большая часть районов индивидуальной жилой застройки не входит в зону обслуживания, находясь за границами зоны покрытия. Ввиду непрямолинейности существующих пешеходных

коммуникаций для подхода к школам прочерченные изохроны отражают значительную разницу между нормативной и фактической пешеходной доступностью школ.

На следующем этапе проведена проверка обеспечения населения общеобразовательными организациями для предельного пятнадцатиминутного передвижения (в рамках концепции «15-минутного города»). Для осуществления оценки рассчитываем изохроны для каждой школы при скорости пешехода 5 км/ч (рис. 3). С целью расширения площади покрытия рассматривается вариант задействования учреждений в прилегающих муниципальных образованиях, что незначительно увеличивает зону пешеходной доступности.

Площадь покрытия проведенных изохрон отражает достаточную пешеходную доступность школ для жилых территорий г. Королева, в том числе для находящихся в северной и восточной частях города массивов индивидуальной жилой застройки. Исключением является протяженный район на северо-востоке от центра, для жителей которого пеший путь до ближайшей школы составляет не меньше 20 мин. Однако в этом случае учащимся преодолевается расстояние в 1251 м, в 2,5 раза превышающее нормативно задаваемое. Также при оценке необходимо

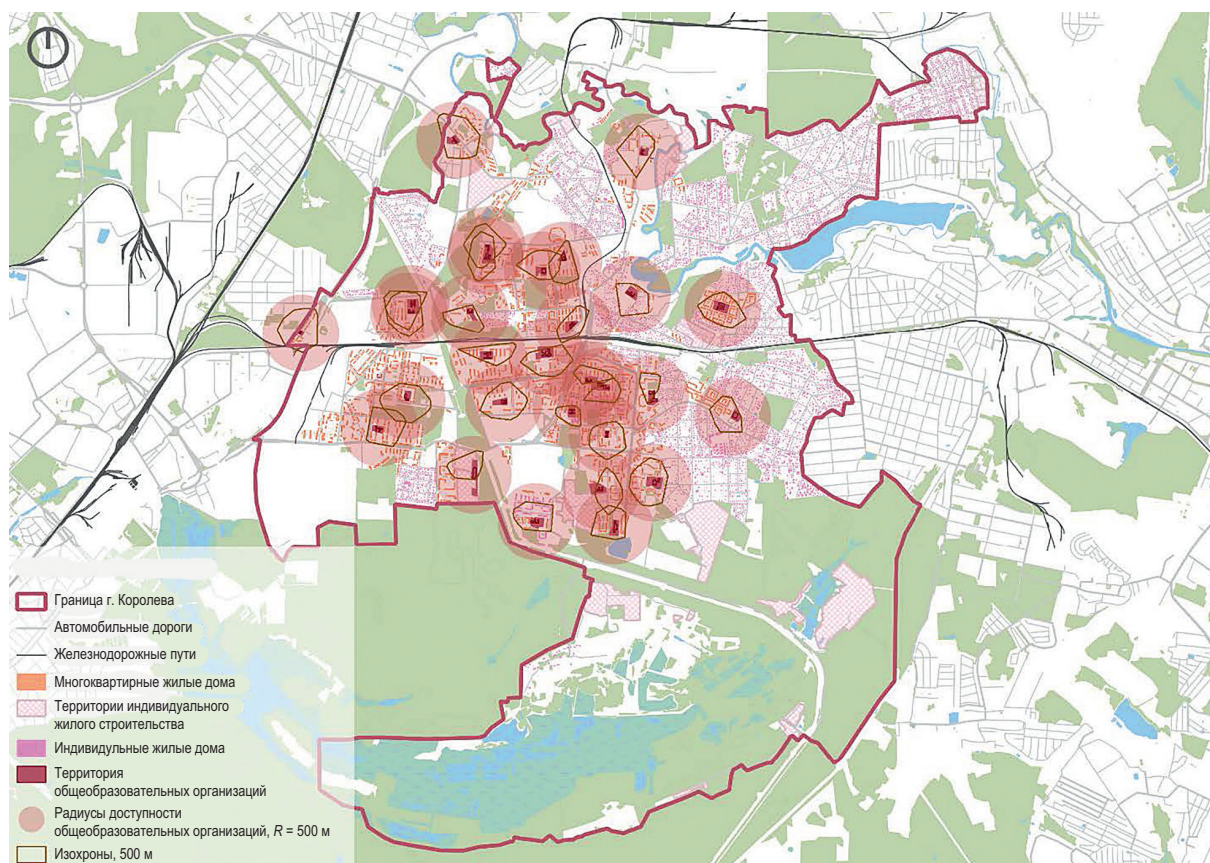


Рис. 2. Схема обеспечения пешеходной доступности общеобразовательных организаций в г. Королеве

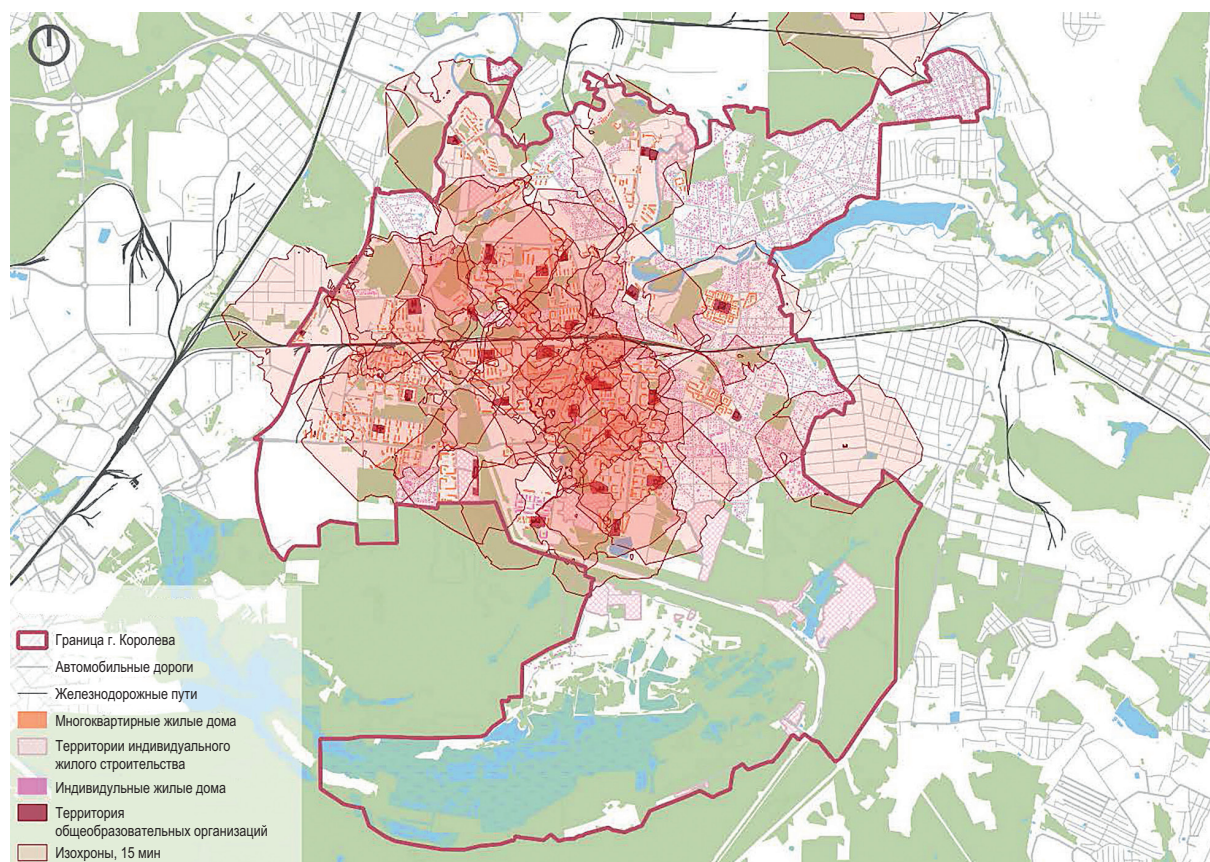


Рис. 3. Схема изохронного анализа пешеходной доступности общеобразовательных организаций в г. Королеве в рамках концепции «15-минутного города»

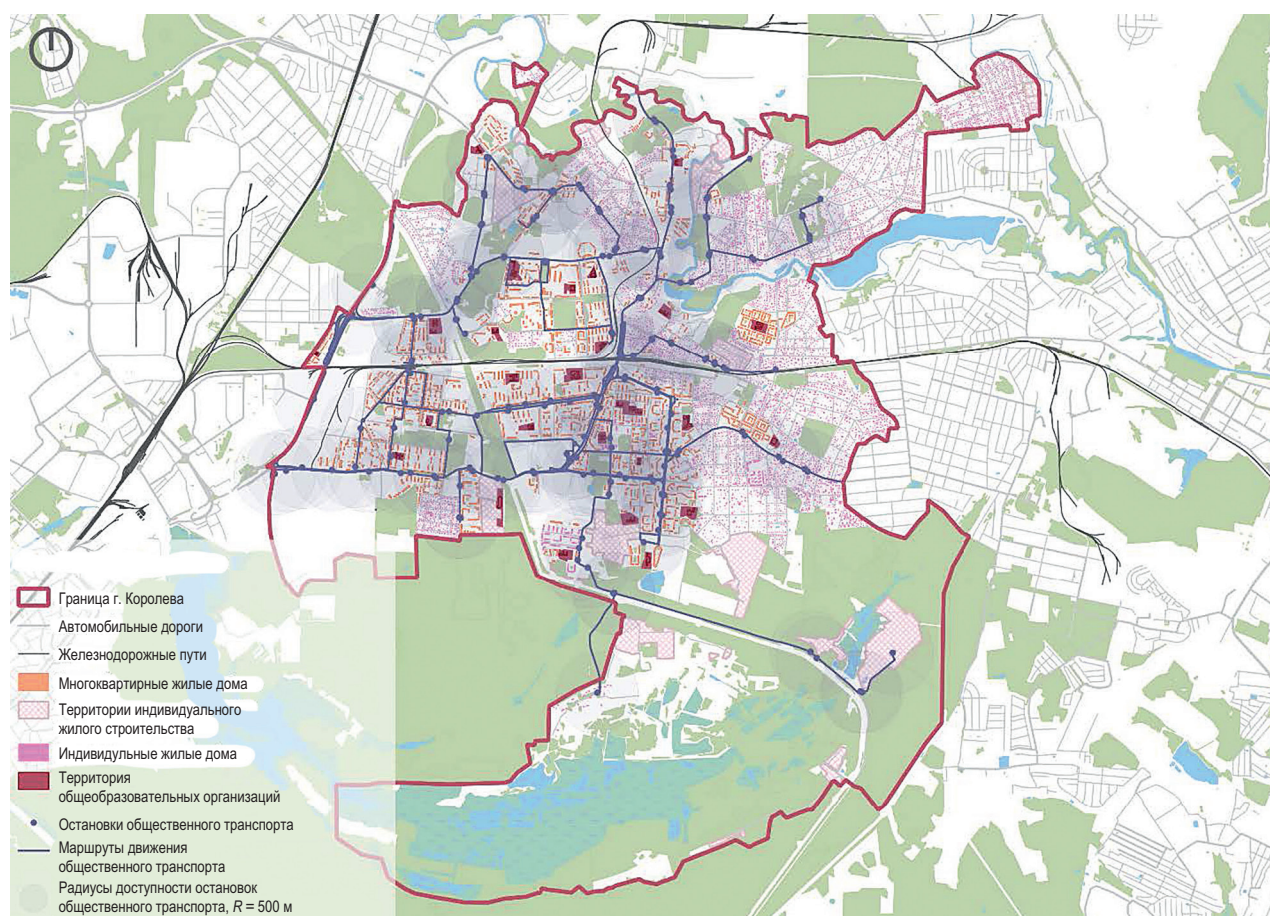


Рис. 4. Схема сети общественного транспорта в г. Королеве

принять во внимание, что в условиях неоднородной городской среды продолжительный путь до школы создает дискомфортную обстановку, понижает уровень безопасности маршрута и требует применения вспомогательных видов передвижения, например, с использованием общественного транспорта.

В случае необеспечения пешеходной доступности школ для некоторых территорий жилой застройки города рассматривается возможность ее компенсации за счет транспортной доступности. Для оценки транспортной доступности проведен анализ маршрутной сети общественного транспорта г. Королева. На схеме (рис. 4) отражены все существующие остановочные пункты городского общественного транспорта и пути движения автобусных маршрутов. Для оценки степени обслуживания жилой застройки общественным транспортом построены радиусы доступности остановочных пунктов, равные 500 м [20]. Сеть остановочных пунктов в г. Королеве можно охарактеризовать как плотную, охватывающую большую часть территории города, с наибольшей концентрацией в центре поселения. Маршруты движения общественного транспорта проложены преимущественно во всех направлениях. Однако в некоторых районах индивидуальной жилой застройки, по аналогии с пред-

ставленными на рисунке тремя участками города, необеспеченными пешеходной доступностью общеобразовательных организаций, отсутствуют остановочные пункты и маршруты общественного транспорта. Для компенсации дефицита пешеходной доступности и организации альтернативных способов передвижения предлагается рассмотреть использование транспорта.

На транспорте учащиеся могут передвигаться до школы четырьмя способами: на семейном автомобиле, средствах индивидуальной мобильности, в том числе велосипеде, общественном транспорте или, в случае особых условий, специализированном автобусе для организованной перевозки школьников. Использование автомобиля, требующее обязательного участия родителей, в исследовании не рассматривается, так как в первую очередь необходимо обеспечить условия для самостоятельного передвижения учащихся. Организация безопасного велосипедного движения представляется дорогостоящим и сложно реализуемым мероприятием в большинстве городов, в том числе в г. Королеве, однако при надлежащих условиях использования способна создать альтернативу общественному транспорту.

На третьем этапе рассмотрен вариант передвижения до общеобразовательной организации



Рис. 5. Схема обеспечения комбинированной доступности в г. Королеве

на общественном транспорте, состоящий из трех участков пути. Первый участок — путь от жилого дома до остановки общественного транспорта. Второй участок движения включает в себя ожидание нужного маршрута общественного транспорта и поездку на нем до ближайшей к общеобразовательной организации остановки. Последний, третий участок пути состоит в пешеходном преодолении расстояния от остановочного пункта до общеобразовательной организации. Путь учащегося на общественном транспорте рассматривается в рамках концепции «15-минутного города».

Для определения преодолеваемого расстояния на первом и третьем участках пути используем предлагаемую п. 11.24 СП 42.13330.2016 дальность пешеходных переходов до ближайшей остановки пассажирского транспорта в различных условиях [20]. Для общеобразовательных организаций дальность перехода не закреплена, поэтому с учетом контингента пользователей принимаем ее по минимальному нормативному значению — 150 м, для условий застройки индивидуальными домами — 300 м. В таком случае минимально заданное расстояние, 150 м, объект со скоростью 5 км/ч преодолевает за 1 мин 48 с, вся пешеходная часть пути — от жилого дома до остановочного пункта и от остано-

вочного пункта до общеобразовательной организации — составит 3 мин 36 с. Оставшееся время, составляющее 11 мин 24 с, отводится на ожидание и движение на общественном транспорте, средняя скорость которого в условиях городской среды, дорожной ситуации и с учетом времени, затрачиваемого на остановки, принимается равной 20 км/ч для условий г. Королева. Графическое представление дальности движения учащегося представлено на схеме в виде изохрон с заданными параметрами расстояния и времени в пути, с градуированием проезжаемого расстояния каждые 500 м (рис. 5).

Проведенные изохроны пешеходной части пути учащегося не покрывают большую часть территорий как многоквартирной, так и индивидуальной жилой застройки. В свою очередь, изохроны пути на общественном транспорте охватывают значительную часть города. Однако в некоторых случаях время ожидания маршрутного средства может составлять более 10 мин и для сокращения времени необходимо подстраиваться под расписание общественного транспорта, которое, в условиях транспортной ситуации, может соблюдаться с недостаточной точностью. Также передвижение учащихся на общественном транспорте в утренние часы создает дополнительную нагрузку на него,

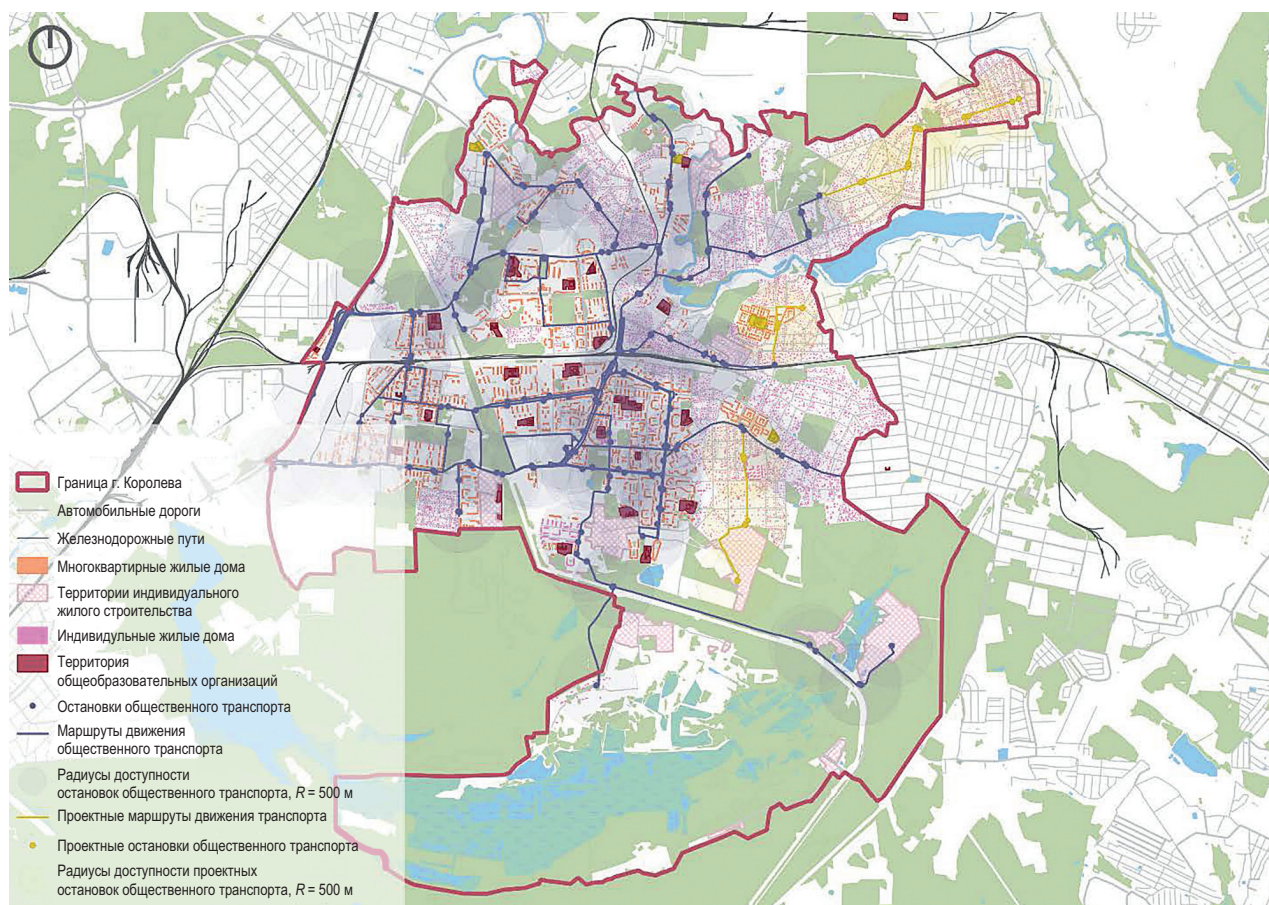


Рис. 6. Схема внесения изменений в сеть общественного транспорта в г. Королеве

понижает комфортность и безопасность перемещения. Несмотря на то, что изохроны для пути на общественном транспорте показывают достаточный уровень транспортной доступности, такая доступность в пределах 15 мин нежелательна в условиях сложившейся городской застройки, в особенности в районах индивидуального жилого строительства.

На основании проведенной оценки возможных способов обеспечения территориальной доступности на завершающем этапе исследования предлагается вариант компенсации дефицита пешеходной доступности общеобразовательных организаций с помощью введения для необеспеченной территориальной доступностью жилой застройки маршрута специализированного транспорта — школьного автобуса. В существующих нормативных документах приведены некоторые параметры для его организации, которые могли бы быть учтены: в сельской местности при расстоянии до школы выше 1000 м должно быть организовано транспортное обслуживание, не превышающее 30 км в одну сторону [20]. Для посадки учащихся могут использоваться существующие остановки общественного транспорта, высадка должна быть организована вблизи территории общеобразовательной организации, без пересечения пути от нее до входа в школу с проезжей

частью. Стоянка выделяется на расстоянии не более 200 м от входа с ограничением въезда и сквозного проезда иных транспортных средств [23]. Школьный автобус целесообразно использовать в условиях сельской местности — массивах индивидуальной жилой застройки без инфраструктуры, в которых отсутствуют проложенные маршруты общественного транспорта. Дорога на специализированном транспорте значительно повышает безопасность, комфорт, сокращает время в пути и экономит семейный бюджет.

Организация школьного автобуса позволит сократить количество этапов пути учащегося до двух: пешеходного движения от жилого дома до остановки и ожидания и поездки до школы. Величину пешеходной части пути, назначенную в пределах 150–300 м с учетом контингента пользователей, предлагается сохранить, увеличив время теоретического ожидания и движения на специализированном транспорте. На территориях без существующих остановок общественного транспорта, предназначенных для посадки учащихся, необходимо спланировать новые, что увеличит их пешеходную досягаемость и повысит безопасность пути до них от жилого дома.

На схеме отражается гипотетическое расположение дополнительных остановочных пунктов и путей

движения транспорта и обозначены школы, доступность которых обеспечивается комбинированным (пешеходно-транспортным) способом (рис. 6). Предлагаемые маршруты движения специализированного транспорта могут быть продлены в соседние муниципальные образования, однако в данном случае потребность в этом не выявлена.

Полученные результаты исследования доступности школ г. Королева Московской области могут быть полезны при организации и управлении образовательным процессом в администрации г.о. Королев, особенно при наличии сведений о проживающих на удаленных территориях детей школьного возраста. Органам местного самоуправления можно рекомендовать осуществлять мониторинг текущей доступности школ ежегодно в начале учебного года.

Заключение

1. Обеспечение территориальной доступности общеобразовательных организаций на основе действующих нормативов только к пешеходной доступности в условиях сложившейся застройки при комплексном развитии ее отдельных участков затруднено. В некоторых случаях, например в условиях агломерации при пограничном положении школ, целесообразно обеспечивать их территориальную доступность без учета административных границ муниципальных образований или субъектов.

2. На примере г. Королева показано, что в рамках концепции «15-минутного города» территориальная доступность может быть полностью обеспечена исключительно при комбинировании пешеходного и транспортного способов передвижения к школе.

3. В существующей структуре города, особенно в условиях сниженной плотности жилой застройки (застройка индивидуальными и блокированными жилыми домами), применение концепции «15-минутного города» может быть эффективно при условии организации транспортной доступности.

4. Признание необходимости нормирования территориальной доступности с использованием транспорта в определенных градостроительных условиях и утверждение соответствующих нормативных требований на государственном уровне позволит улучшить качество городской среды. При этом особому вниманию подлежат ограничения применения такой доступности в конкретных местных и градостроительных условиях.

5. Организация альтернативных способов транспортного передвижения создает возможности выбора и тем самым повышает функциональность и комфортность городской среды. Использование общественного/специализированного транспорта для передвижения к школе целесообразно в условиях высокой плотности сети остановочных пунктов и может иметь ряд других, не градостроительных, ограничений.

6. Для мониторинга территориальной доступности существующих общеобразовательных организаций и размещения новых необходима разработка специальной методики на основе моделирования в геоинформационных системах. Такая методика позволит повысить качество оценки территориальной доступности с учетом разнообразных условий городской среды.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. СНиП 2.07.01–89*. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Утв. Госстроем СССР от 16.05.1989 г. № 78, введ. в действ. 01.01.1990, с изм. и доп. от 25.09.1993.
2. О народном образовании : Закон РСФСР от 02.09.1974 // Ведомости ВС РСФСР. 1974. № 29. Ст. 1059 с изм. и доп. в ред. от 07.07.1987.
3. 20-Minute Neighbourhoods Creating Healthier, Active, Prosperous Communities: An Introduction for Council Planners in England // Town and Country Planning Association. 2021. Pp. 1–85.
4. Jafari A., Singh D., Giles-Corti B. Residential density and 20-minute neighbourhoods : a multi-neighbourhood // Health and Place. 2023. No. 83. Pp. 1–11. DOI: 10.1016/j.healthplace.2023.103070
5. Teixeira J.F., McCormick B., Silva C., Papa E., Seisenberger S., Büttner B. et al. Classifying 15-minute Cities : a review of worldwide practices // Transportation Research Part A. 2024. No. 189. Pp. 1–27. DOI: 10.1016/j.tra.2024.104234
6. Allam Z., Nieuwenhuijsen M., Chabaud D., Morena C. The 15-minute city offers a new framework for sustainability, liveability, and health // Planetary Health. 2022. Vol. 6. Pp. 181–183. DOI: 10.1016/S2542-5196(22)00014-6
7. Bartzokas-Tsiompras A., Bakogiannis E. Quantifying and visualizing the 15-minute walkable city concept across Europe : a multicriteria approach // Journal of Maps. 2022. Vol. 19. No. 1. Pp. 1–9. DOI: 10.1080/17445647.2022.2141143
8. Val D., Lopes A.S. Accessibility inequality across Europe a comparison of 15-minute pedestrian accessibility in cities with 100,000 or more inhabitants // Urban sustainability. 2023. No. 55. Pp. 1–13. DOI: 10.1038/s42949-023-00133-w

9. *Sharma A., Chandi A., Winters M.* An investigation of 15-minute neighbourhoods in Surrey, British Columbia // *Journal of Transport & Health*. 2025. No. 42. Pp. 1–16. DOI: 10.1016/j.jth.2025.102021
10. *Rhoads D., Sol' e-Ribalta A., Borge-Holthoefer J.* The inclusive 15-minute city Walkability analysis with sidewalk networks // *Computers, Environment and Urban Systems*. 2023. No. 100. Pp. 1–11. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2022.101936
11. *Wang J., Kwan M-Po, Xiu G., Deng F.* A robust method for evaluating the potentials of 15-minute cities: Implications for sustainable urban futures // *Geography and Sustainability*. 2024. Vol. 5. Pp. 597–606. DOI: 10.1016/j.geosus.2024.07.004
12. *Popescu I.A., Nicolescu L.* How “Smart” is the 15-Minute City? Evaluating the Role of Technology in Advancing Accessibility, Mobility, and Well-being // *Transportation Research Part A*. 2025. Vol. 196. Pp. 1–18. DOI: 10.1016/j.tra.2025.104481
13. *Caprotti F., Duarte C., Joss S.* The 15-minute city as paranoid urbanism: Ten critical reflections // *Cities*. 2024. Vol. 155. Pp. 1–8. DOI: 10.1016/j.cities.2024.105497
14. *Юдин В.Ю., Бурмистрова В.А.* Обеспечение пешеходной доступности как важный фактор для создания комфортной среды и улучшения качества жизни людей в городе // *Экология в архитектуре и градостроительстве*. 2023. № 37. С. 10–16.
15. *Замахина Т.* Мишустин: В России приведут в порядок дороги к школам // RGRU. URL: <https://rg.ru/2024/09/04/mishustin-v-rossii-privedut-v-poriadok-dorogi-k-shkolam.html?ysclid=magww0184s427673184> (дата обращения: 09.05.2025).
16. *Путин спросил у ученицы тувинской школы № 20 далеко ли ей добираться от дома* // СЛУЖБА ПО КОНТРАКТУ. URL: <https://www.yandex.ru/video/preview/8092467392348836674> (дата обращения: 09.05.2025).
17. *10 Year Plan. Meeting the demand for mainstream school places in Essex 2024-2033* // Essex Country Council. 2024. 74 p.
18. *Garden Communities And Planning School Places* // Essex School Organization Service. 2022. 20 p.
19. *Site Selection Criteria and Evaluation Handbook* // State of Alaska — Department of Education & Early Development. 2021.
20. *Приказ Минстроя России. СП 42.13330.2016 «СНиП 2.07.01–89* Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» от 30.12.2016 № 1034/пр.* URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/14465/>
21. *Грошков Н.А.* Многосторонность интерпретации понятия доступности на примере учреждений общего образования Москвы // *Городские исследования и практики*. 2018. Т. 3. № 4. С. 133–151. DOI: 10.17323/usp342018133-151
22. *Об утверждении проекта внесения изменений в Генеральный план городского округа Королёв Московской области : Решение от 14.12.2022 № 393/85.* URL: <https://genplankorolev.ru/map>
23. *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: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&prevDoc=602107773&backlink=1&&nd=102955243&ysclid=m9k3oveoq1180007022>
24. *СП 476.1325800.2020. Территории городских и сельских поселений. Правила планировки, застройки и благоустройства жилых микрорайонов (введен впервые) : утв. Приказом Минстроя России от 24.01.2020 № 33/пр, введ. в действ. с 25.07.2020.*
25. *Методические рекомендации по развитию сети образовательных организаций и обеспеченности населения услугами таких организаций, включающие требования по размещению организаций сферы образования, в том числе в сельской местности, исходя из норм действующего законодательства Российской Федерации, с учетом возрастного состава и плотности населения, транспортной инфраструктуры и других факторов, влияющих на доступность и обеспеченность населения услугами сферы образования : утв. письмом заместителя министра образования и науки Российской Федерации А.А. Климова от 04.05.2016 г. № АК-15/02вн.* URL: <https://clck.ru/3LUjFU>
26. *Ogryzek M., Podawca K., Cienciala A.* Geospatial tools in the analyses of land use in the perspective of the accessibility of selected educational services in Poland // *Land Use Policy*. 2022. No. 122. Pp. 1–12. DOI: 10.1016/j.landusepol.2022.106373
27. *Nichols A., Ryan J.* How accessibility to schools is not (just) a transport problem: the case of public school choice in the city of Malmö, Sweden // *European Transport Research Review*. 2023. Vol. 15. No. 41. Pp. 1–15. DOI: 10.1186/s12544-023-00617-x
28. *Gorriani A., Presicce D., Messa F., Choubassi R.* Walkability for children in Bologna Beyond the 15-minute city framework // *Journal of Urban Mobility*. 2023. No. 3. Pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.urbmob.2023.100052

29. Luckner M., Łysak A., Archanowicz-Kudelska K. Modelling 15-Minute City Work and Education Amenities Using Surveys and Simulations // International conference on information systems development. 2024. Pp. 1–8. DOI: 10.62036/ISD.2024.77

Об авторах: **Ольга Юрьевна Лептюхова** — канд. техн. наук, доцент кафедры «Градостроительство»; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; AuthorID: 962842; e-mail: oy-2@mail.ru;

Виктория Алексеевна Чиркова — студентка кафедры «Градостроительство»; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; e-mail: ivikai.2017@yandex.ru.

REFERENCES

1. SNiP 2.07.01–89*. Urban planning. Planning and construction of urban and rural settlements. Approved by Gosstroem USSR No. 78 dated 05.16.1989, entered into force on 01.01.1990, with amendments and additions as amended on 09.25.1993 (rus.).
2. On Public Education : The Law of the RSFSR dated 09/02/1974. *Bulletin of the Supreme Soviet of the RSFSR*. 1974, 29, Ar. 1059 with amendments and additions as amended on 07.07.1987 (rus.).
3. 20-Minute Neighbourhoods Creating Healthier, Active, Prosperous Communities An Introduction for Council Planners in England. *Town and Country Planning Association*. 2021; 1-85.
4. Jafari A., Singh D., Giles-Corti B. Residential density and 20-minute neighbourhoods : a multi-neighbourhood. *Health and Place*. 2023; 83:1-11. DOI: 10.1016/j.healthplace.2023.103070
5. Teixeira J.F., McCormick B., Silva C., Papa E., Seisenberger S., Büttner B. et al. Classifying 15-minute Cities : a review of worldwide practices. *Transportation Research Part A*. 2024; 189:1-27. DOI: 10.1016/j.tra.2024.104234
6. Allam Z., Nieuwenhuijsen M., Chabaud D., Moreno C. The 15-minute city offers a new framework for sustainability, liveability, and health. *Planetary Health*. 2022; 6:181-183. DOI: 10.1016/S2542-5196(22)00014-6
7. Bartzokas-Tsiompras A., Bakogiannis E. Quantifying and visualizing the 15-Minute walkable city concept across Europe : a multicriteria approach. *Journal of Maps*. 2022; 19(1):1-9. DOI: 10.1080/17445647.2022.2141143
8. Val D., Lopes A.S. Accessibility inequality across Europe a comparison of 15-minute pedestrian accessibility in cities with 100,000 or more inhabitants. *Urban sustainability*. 2023; 55:1-13. DOI: 10.1038/s42949-023-00133-w
9. Sharma A., Chandi A., Winters M. An investigation of 15-minute neighbourhoods in Surrey, British Columbia. *Journal of Transport & Health*. 2025; 42:1-16. DOI: 10.1016/j.jth.2025.102021
10. Rhoads D., Sol' e-Ribalta A., Borge-Holthoefer J. The inclusive 15-minute city Walkability analysis with side-walk networks. *Computers, Environment and Urban Systems*. 2023; 100:1-11. DOI: 10.1016/j.compenvurb-sys.2022.101936
11. Wang J., Kwan M-Po, Xiu G., Deng F. A robust method for evaluating the potentials of 15-minute cities: Implications for sustainable urban futures. *Geography and Sustainability*. 2024; 5:597-606. DOI: 10.1016/j.geosus.2024.07.004
12. Popescu I.A., Nicolescu L. How “Smart” is the 15-Minute City? Evaluating the Role of Technology in Advancing Accessibility, Mobility, and Well-being. *Transportation Research Part A*. 2025; 196:1-18. DOI: 10.1016/j.tra.2025.104481
13. Caprotti F., Duarte C., Joss S. The 15-minute city as paranoid urbanism: Ten critical reflections. *Cities*. 2024; 155:1-8. DOI: 10.1016/j.cities.2024.105497
14. Yudin V.Yu., Burmistrova V.A. Pedestrian accessibility provision as an important factor for creating a comfortable environment and improving the people in the city life quality. *Ecology in architecture and urban planning*. 2023; 37:10-16 (rus.).
15. Zamakhina T. Mishustin: Roads to schools will be put in order in Russia. *RG RU*. URL: <https://rg.ru/2024/09/04/mishustin-v-rossii-privedut-v-poriadok-dorogi-k-shkolam.html?ysclid=magwwo184s427673184> (accessed: 05/09/2025) (rus.).
16. Putin asked a student of Tuvan school N20 how far she had to get from home. *CONTRACT SERVICE*. URL: <https://www.yandex.ru/video/preview/8092467392348836674> (date of request: 05/09/2025) (rus.).
17. 10 Year Plan Meeting the demand for mainstream school places in Essex 2024-2033. *Essex Country Council*. 2024; 74.
18. Garden Communities And Planning School Places. *Essex School Organization Service*. 2022; 20.
19. Site Selection Criteria and Evaluation Handbook. *State of Alaska — Department of Education & Early Development*. 2021.

20. Order of the Ministry of Construction of Russia. SP 42.13330.2016 “SNiP 2.07.01–89* Urban planning. Planning and construction of urban and rural settlements” dated 12/30/2016 No. 1034/pr. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/14465/> (rus.).
21. Groshkov N.A. The versatility of interpreting the concept of accessibility using the example of Moscow general education institutions. *Urban Research and Practice*. 2018; 3(4):133-151. DOI: 10.17323/usp342018133-151 (rus.).
22. On approval of the draft amendments to the General Plan of the Korolev urban District Moscow region : Decision of 12/14/2022 No. 393/85. URL: <https://genplankorolev.ru/map> (rus.).
23. SP 2.4.3648–20. Sanitary and epidemiological requirements for organizations of upbringing and education, recreation and recreation of children and youth approved by Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated 09/28/2020 No. 28. URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&prevDoc=602107773&backlink=1&&nd=102955243&ysclid=m9k3oveoq1180007022> (rus.).
24. SP 476.1325800.2020. Territories of urban and rural settlements. Rules of planning, Building, and Landscaping of Residential Neighborhoods (introduced for the first time) approved by By Order of the Ministry of Construction of the Russian Federation dated 24.01.2020 No. 33/pr, effective from 25.07.2020 (rus.).
25. Methodological recommendations for the development of a network of educational organizations and the provision of services to the population of such organizations, including requirements for the placement of educational organizations, including in rural areas, based on the norms of the current legislation of the Russian Federation, taking into account the age composition and density of the population, transport infrastructure and other factors affecting the availability and provision of services to the population spheres of education : Approved by Letter from the Deputy Minister of Education and Science of the Russian Federation A.A. Klimov dated 4.05.2016 No. AK-15/02vn. URL: <https://clck.ru/3LUjFU> (rus.).
26. Ogryzek M., Podawca K., Cienciała A. Geospatial tools in the analyses of land use in the perspective of the accessibility of selected educational services in Poland. *Land Use Policy*. 2022; 122:1-12. DOI: 10.1016/j.landusepol.2022.106373
27. Nichols A., Ryan J. How accessibility to schools is not (just) a transport problem: the case of public school choice in the city of Malmö, Sweden. *European Transport Research Review*. 2023; 15(41):1-15. DOI: 10.1186/s12544-023-00617-x
28. Gorrini A., Presicce D., Messa F., Choubassi R. Walkability for children in Bologna Beyond the 15-minute city framework. *Journal of Urban Mobility*. 2023; 3:1-10. DOI: 10.1016/j.urbmob.2023.100052
29. Luckner M., Łysak A., Archanowicz-Kudelska K. Modelling 15-Minute City Work and Education Amenities Using Surveys and Simulations. *International conference on information systems development*. 2024; 1-8. DOI: 10.62036/ISD.2024.77

About the authors: **Olga Yu. Leptyukhova** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; AuthorID: 962842; e-mail: oy-2@mail.ru;

Viktoriya A. Chirkova — Student; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: ivikai.2017@yandex.ru.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕКРЕАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ НА ГОРОДСКИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРКИ: ИССЛЕДОВАНИЕ НА ПРИМЕРЕ ЕКАТЕРИНИНСКОГО ПАРКА Г. МОСКВЫ

Светлана Владимировна Образцова^{1,2}, Наталья Владимировна Бакаева¹

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

² Научно-исследовательский и проектный институт Генерального плана города Москвы; г. Москва, Российская Федерация

Проведен аналитический обзор существующих методов определения рекреационной нагрузки на городские многофункциональные парки. Сопоставлены методы определения фактического и потенциального количества посетителей для городских многофункциональных парков, на основе которых определяется фактическая и потенциальная рекреационная нагрузка. Все существующие методы опираются на исследования рекреационной нагрузки 1970-х гг., но, несмотря на общую теоретическую базу, имеют различия в методических подходах и применении дополнительных переменных или коэффициентов, которые могут уточнять значения рекреационной нагрузки в зависимости от транспортной доступности, количества групп рекреантов, предпочтений населения и прочих факторов.

Методы определения рекреационной нагрузки на городские многофункциональные парки сгруппированы по трем основным группам в зависимости от подхода к определению количества единовременных посетителей, проведено натурное исследование на примере Екатерининского парка Москвы (в выходной день, в благоприятную погоду). Апробация существующих методов на примере выбранного парка продемонстрировала, что в результате применения разных методов определения рекреационной нагрузки в один и тот же период получены разные значения рекреационной нагрузки. При этом полученные значения превышают предельно допустимое значение нагрузки более чем в 3 раза.

Таким образом, подтверждена проблема несогласованности существующих методов определения рекреационной нагрузки на городские многофункциональные парки и определены условия, при которых применим каждый из них. Помимо этого, результаты натурных обследований подтвердили увеличивающуюся роль транспортной доступности территорий городских многофункциональных парков в определении рекреационной нагрузки.

Проведенное исследование методов определения рекреационной нагрузки на городские многофункциональные парки позволило уточнить условия применения каждого из методов, а также сделать выводы о влиянии объектов прилегающей территории на его посещаемость, а значит, на значение рекреационной нагрузки.

Ключевые слова: рекреационная нагрузка, городские многофункциональные парки, плотность населения, методы определения количества посетителей парков, натурные исследования, выборочный моментный метод, регистрационно-измерительный метод, рекреационная площадь

Для цитирования: Образцова С.В., Бакаева Н.В. Методы определения рекреационной нагрузки на городские многофункциональные парки: исследование на примере Екатерининского парка г. Москвы // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 2. С. 47–57. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.2.47-57

METHODS FOR DETERMINING THE RECREATIONAL LOAD TO URBAN MULTIFUNCTIONAL PARKS: A STUDY OF THE CATHERINE PARK IN MOSCOW

Svetlana V. Obratsova^{1,2}, Natalia V. Bakaeva¹

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

² Research and Design Institute of the Moscow City Plan; Moscow, Russian Federation

An analytical review of existing methods for determining the recreational load on urban multifunctional parks has been conducted. The methods of determining the actual and potential number of visitors for urban multifunctional parks are compared, on the basis of which the real and potential recreational load is determined. All existing methods are based on studies of the recreational load of the 1970s, but despite the general theoretical basis, there are differences in methodological approaches and the use of additional variables or coefficients that can refine the values of recreational load depending on transport accessibility, the number of recreational

groups, preferences of the population and other factors.

Methods for determining the recreational load on urban multifunctional parks are grouped into three main groups, depending on the approach to determining the number of one-time visitors. A field study of Moscow's Catherine Park was conducted (on a weekend, in pleasant weather). The approbation of existing methods has demonstrated that as a result of applying different methods for determining the recreational load in the same period, different values of the recreational load were obtained. At the same time, the values obtained exceed the maximum permissible load value by more than 3 times.

Thus, the problem of inconsistency of existing methods for determining the recreational load on urban multifunctional parks has been confirmed, and the conditions under which each of them is used have been determined. In addition, the results of field surveys confirmed the increasing role of transport accessibility of urban multifunctional parks in determining the recreational load.

The conducted study of methods for determining the recreational load on urban multifunctional parks made it possible to clarify the conditions of application of each of the methods, as well as draw conclusions about the influence of objects of the adjacent territory of an urban multifunctional park on its attendance, and, therefore, on the value of recreational load.

Keywords: recreational load, urban multifunctional parks, population density, methods for determining the number of park visitors, field studies, selective moment method, registration and measurement method, recreational area

For citation: Obraztsova S.V., Bakaeva N.V. Methods for determining the recreational load to urban multifunctional parks: a study of the Catherine park in Moscow. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2025; 2:47-57. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.2.47-57 (rus.).

Введение

Противоречия, возникающие в процессе урбанизации, между застроенными и природными территориями отмечались исследователями в области градостроительства еще в прошлом столетии [1–3]. В современных условиях эти противоречия обостряются в результате роста численности населения городов, развития транспортной инфраструктуры, освоения периферийных территорий в городах и других градостроительных процессов. С одной стороны, эти процессы ведут к повышению доступности природных территорий для жителей, с другой — к снижению связанности элементов природно-рекреационного каркаса и возрастанию антропогенной нагрузки на природные территории. Озелененными городскими территориями, в наибольшей степени подверженными влиянию вышеперечисленных градостроительных процессов, являются многофункциональные парки, которые не только обеспечивают население местами для отдыха, но и принимают на себя негативное воздействие от техногенных и антропогенных источников в городах.

Подтверждение этому тезису мы находим в трудах многих ученых, в том числе академика РААСН В.В. Владимирова: «наибольшую антропогенную нагрузку несут насаждения общего пользования, поскольку они предназначены как для массового отдыха населения, так и для защиты селитебной территории от вредных техногенных воздействий» [1]. Возникает проблемная градостроительная ситуация: с одной стороны, городские многофункциональные парки необходимы для создания благоприятной городской среды, с другой — эти территории деградируют ввиду завышенных антропогенных нагрузок на городские многофункциональные парки.

Одна из составляющих антропогенной нагрузки — рекреационная — отражает воздействие, оказываемое рекреационной деятельностью человека

на совокупность природных условий в границах городских озелененных территорий.

В градостроительной практике определение рекреационных нагрузок на природные территории в целом, и парки в частности, позволяет:

- оценивать востребованность среди населения;
- определять необходимость реконструкции и благоустройства территорий (изменение функционального зонирования, перепроектирование дорожно-тропиночной сети (ДТС) и прочее);
- планировать транспортное и пешеходное обслуживание территорий;
- анализировать доступность территорий.

Впервые термин «рекреационная нагрузка» появился в отечественных исследованиях в 1970-х гг. Институт географии АН СССР во главе с академиком В.С. Преображенским посвятил свои исследования определению фактической рекреационной нагрузки на природные территории и установлению предельно допустимых значений для закрепления их в нормативных документах [2].

Ленинградский ученый Е.Г. Шеффер в своем исследовании [4] определил факторы воздействия отдыхающих на природные территориальные комплексы (ПТК (термин Н.А. Солнцева) — участок территории, на котором все географические компоненты находятся в тесной взаимосвязи), в числе которых количество отдыхающих на территории. Именно этот фактор закладывается в основу определения рекреационных нагрузок и нормирования рекреационной плотности.

В 1977 г. В.П. Чинова делает предположение, что количество отдыхающих в ПТК зависит не только от природных особенностей территории, но и от ее транспортной доступности [3].

На основе предшествующих исследований в 1987 г. Всероссийским научно-исследовательским институтом лесоводства и механизации лесного хозяйства (ВНИИЛМ) разработан методиче-

ский документ по расчету рекреационной нагрузки на территории парков [5, 6]. Методика включает: измерение рекреационных нагрузок выборочным моментным методом (проведение наблюдений, суточный и годовой учет отдыхающих), а также хронометражным и расчетным методом для конкретных природных и социальных условий. Выборочный моментный метод отмечен как менее трудоемкий и более предпочтительный, а необходимый объем наблюдений определяют в соответствии с пуассоновским распределением плотностей. В настоящее время методика широко не применяется в практической деятельности в связи с тем, что за последние 40 лет заметно изменились рекреационные привычки, потребности населения, ритм жизни, распорядок дня, формат работы. Можно сделать вывод, что методика не отвечает современным реалиям и требует актуализации.

В 1995 г. ВНИИЛМ разрабатывают и выпускают Стандарт отрасли 56-100-95 «Методы и единицы измерения рекреационных нагрузок на лесные природные комплексы» [7], в котором устанавливаются методы и единицы измерения рекреационных нагрузок. Стандартом принимается, что для определения рекреационной нагрузки следует применять рекреационную плотность (чел/га).

В современных исследованиях в области рекреационного природопользования, например в работе [8], рассчитывают рекреационную нагрузку как количество единовременных посетителей (отдыхающих, рекреантов) на единицу территории за единицу времени. Исследователи опираются на опыт предшественников, применяя выборочный моментный метод для определения фактической рекреационной нагрузки, а также основываются на собственных разработках.

В градостроительстве вопрос определения рекреационной нагрузки на природно-техногенный комплекс поднимается в исследовании М.А. Слепнева [9], в котором автор измеряет фактическую рекреационную нагрузку как количество единовременных посетителей территории на единицу территории (принимая за единицу времени 1 ч). Для определения фактической рекреационной нагрузки автором применяется регистрационно-измерительный метод, основывающийся на замерах нагрузок на каждый вход на территорию за час времени. Также ученым в работе [9] предлагается методика расчета потенциальной рекреационной нагрузки в зависимости от плотности населения в радиусе пешеходной доступности от парка.

Задача расчета потенциальной рекреационной нагрузки в настоящее время все чаще возникает в градостроительных исследованиях. О.Н. Дьячковой в 2022 г. была разработана модель расчета рекреационной нагрузки на озелененные территории

общего пользования (ОТОП) [10]. Примечательно, что для расчета принимается во внимание исследуемая территория, прилегающая к парку, которая разбита на области, ранжированные по мере удаленности от ОТОП. Автором предложены: коэффициент привлекательности и индекс потенциального желания жителя посетить конкретную ОТОП, определяемые на вероятностной основе.

Расчетный метод, который применяется М.А. Слепневым для определения потенциальной рекреационной нагрузки, также используется в современной практике для укрупненной оценки фактической рекреационной нагрузки. СП 475.1325800.2020 «Парки. Правила градостроительного проектирования и благоустройства» до 2023 г. включал пункт, который допускал принимать значение единовременного количества посетителей городских парков как 10–15 % от населения, проживающего в зоне их пешеходной доступности. В настоящий момент пункт исключен, но в случае невозможности провести натурные замеры его продолжают применять на практике.

В зарубежной практике подходы к определению и нормированию рекреационной нагрузки отличаются. Упор в зарубежных исследованиях делается не на расчет потенциальных посетителей, а на управление и планировочную организацию территории, чтобы контролировать уровень влияния рекреационной нагрузки. Например, тематические парки США организованы таким образом, чтобы посетители реализовывали свою потребность в отдыхе и развлечении на искусственной части парка и не затрагивали природную, благодаря чему способны принимать большое количество посетителей единовременно и не подвергаться рекреационной дистрессии [11].

Подводя итог, можно сказать о многообразии существующих методов определения рекреационной нагрузки, но вместе с тем их разобщенности и противоречивости. Часть из рассмотренных методов опирается на проведение натурных исследований и анализ прилегающих территорий, но не учитывает потребности и предпочтения населения. Другие, наоборот, отмечают необходимость проведения социологических опросов и оценки транспортной доступности городского многофункционального парка. Настоящее исследование опирается на научные источники в области градостроительства и рекреационного природопользования и берет за основу полученные ранее знания об определении рекреационной нагрузки и факторах, которые могут быть использованы при ее расчете.

Таким образом, цель настоящего исследования — проанализировать существующие методы

определения рекреационной нагрузки и апробировать их на выбранном многофункциональном парке города Москвы.

Материалы и методы

Материалы: район исследования

Исследование проводится относительно элементов природно-рекреационного каркаса города Москвы — городских многофункциональных парков (рис. 1). Для апробации исследуемых методов выбран Екатерининский парк, расположенный в Центральном административном округе города Москвы в районе Мещанский (рис. 2).

Парк занимает площадь 13,8 га и относится к категории средних парков (в соответствии с классификацией парков СП 475.1325800.2020). Из 13,8 га территории — 2,5 га относится к рекреационной — территории, на которой посетитель может находиться с рекреационными целями (площадки различного функционально назначения, ДТС).

Натурные исследования парка проводились в выходные дни осеннего периода 2024 г. и весеннего периода 2025 г. и включали следующие этапы.

1. Фиксация единовременного пребывания рекреантов на рекреационных площадках в период с 13:00 до 19:00.

2. Замеры входящих на территорию парка посетителей за час времени с 14:00 до 15:00 и с 18:00 до 19:00.

Нагрузка замерялась на четырех организованных входах на территорию Екатерининского парка (рис. 2):

- вход № 1 — со стороны станции метрополитена «Достоевская» Люблинско-Дмитровской линии;
- вход № 2 — со стороны МФК Олимпийский;
- вход № 3 — со стороны социально-реабилитационного центра;
- вход № 4 — со стороны Армянского храмового комплекса.

Неорганизованные входы на территорию Екатерининского парка отсутствуют.

Для первого этапа выбраны следующие территории Екатерининского парка:

- детская площадка площадью 0,12 га;
- детская площадка площадью 0,02 га;
- спортивная площадка для командных игр (футбольное поле) площадью 0,09 га;
- спортивная площадка для индивидуальных тренировок (воркаут) площадью 0,06 га;
- пешеходная площадь на входе № 1 (выставочная зона) площадью 0,04 га;
- территория, прилегающая к водоему площадью 0,06 га.

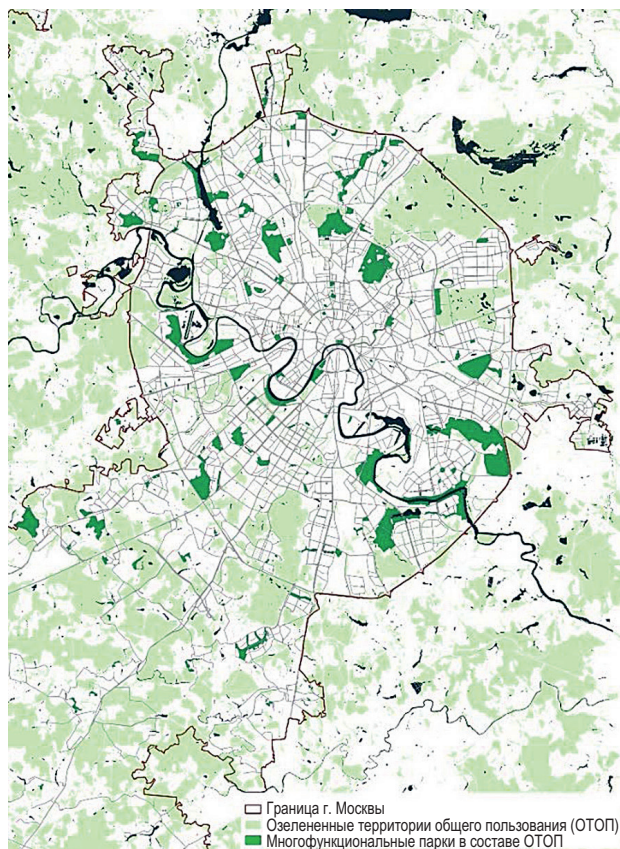


Рис. 1. Схема размещения городских многофункциональных парков города Москвы

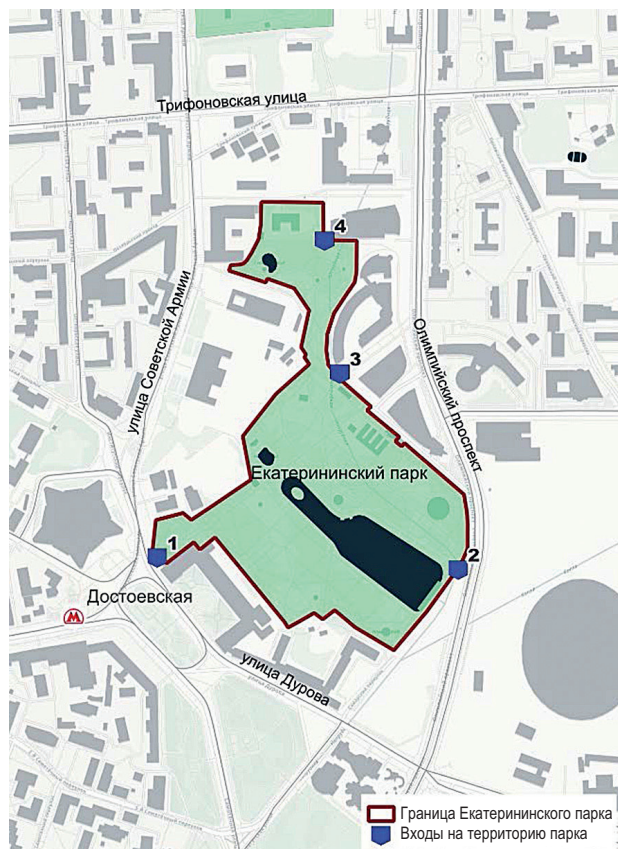


Рис. 2. Схема Екатерининского парка

На каждой площадке фиксировалось единовременное количество рекреантов каждые 10 мин в периоды с 13:00 до 14:00 и с 16:00 до 17:00. Максимальные значения отобраны для расчета с целью получить максимальную рекреационную нагрузку на территорию Екатерининского парка.

Для второго этапа на каждом входе (в соответствии со схемой на рис. 2) фиксировалось количество рекреантов, вошедших на территорию парка в течение часа. Чтобы получить значения за один и тот же час времени, замеры осуществлялись на каждом входе в течение 15 мин и приводились к часу.

Методы

Существующие методы расчета фактической и потенциальной рекреационных нагрузок представлены в табл. 1, в том числе методы определения количества посетителей.

Сравнительный анализ методов определения фактической рекреационной нагрузки показал, что все методы определения количества посетителей основываются на натурных наблюдениях. Представленные в проанализированных материалах методы можно сгруппировать в три основных:

1. *Выборочный моментный метод*. Основан на регистрации количества посетителей на каждой пробной площади территории парка и времени их пребывания утром, в обед и вечером в рабочие и нерабочие дни с учетом погодных условий. Такой метод позволяет наиболее точно зафиксировать количество единовременных посетителей в пиковые часы для определения фактической рекреационной нагрузки [5, 7].

2. *Регистрационно-измерительный метод*. Основан на подсчете посетителей по входам в парк. Но важно отметить, что он позволяет получить нагрузку, которая оказывается на входы, а не на саму

Таблица 1. Сводная таблица существующих методов определения фактической и потенциальной рекреационной нагрузки

Автор(ы)	Год	Метод определения количества посетителей (N) для фактической рекреационной нагрузки	Метод определения количества посетителей (N) для потенциальной рекреационной нагрузки	Формула	Единицы измерения
В.С. Преображенский, Ю.А. Веденин	1971	—	—	$R = \frac{N \cdot t}{S}$	чел-ч/га
ВНИИЛМ	1987	Выборочный моментный	—	$R = 365_1 \cdot \delta P(n) \cdot f(g)$, где $P(n)$ — средние единовременные R , чел/га; $f(g)$ — средние многолетние количества нерабочих и рабочих дней с комфортной и дискомфортной погодой в разные сезоны года, дн	чел-г/га
М.А. Слепнев	2017	Регистрационно-измерительный	Метод картографирования. Подсчет на основе показателя плотности населения	$R = N/S$	чел/га
В.В. Непомнящий, А.В. Завадская	2020	Выборочный моментный метод (плотность единовременных рекреантов и суммарное время вида отдыха)	—	$R = \frac{P \cdot t}{T}$; $P = N/S$, где P — плотность отдыхающих	чел-ч/га
Е.М. Лопина, И.А. Киреева-Гененко, А.Г. Корнилов	2021	Статистическое наблюдение с проведением социологического опроса	—	$R = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot T_i}{S_i}$ — учитывает i -группы рекреантов	чел-ч/га
О.Н. Дьячкова, А.Е. Михайлов, Н.В. Бакаева	2022	Моментные замеры посещений через входы (регистрационно-измерительный)	Вероятностный метод на основе потенциального желания	$M = \sum K_i \frac{P_i}{f(r_i)} N_i$, где M — средняя рекреационная нагрузка	чел/м ²

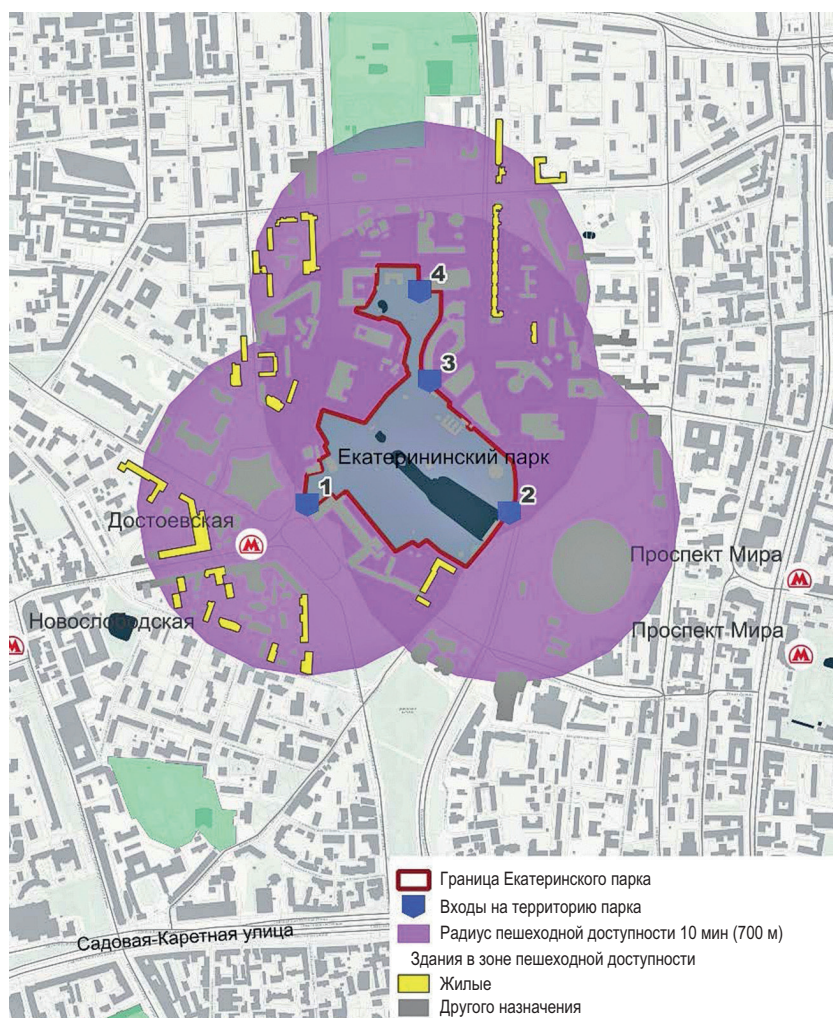


Рис. 3. Схема Екатерининского парка и жилых домов в радиусе пешеходной доступности

территорию, так как не учитывает продолжительность пребывания внутри парка [9, 12].

3. *Статистическое наблюдение с проведением социологического опроса.* Применен исследователями из Белгорода с целью выявления эстетико-потребительских параметров общественного природопользования. Метод применялся для получения результатов относительно ареола проживания респондента, в который могло включаться сразу несколько парков. Таким образом, применять его относительно получения рекреационной нагрузки на один из парков нецелесообразно [13].

Для достижения поставленной цели исследования первые два метода, как наиболее часто применяемые и подходящие для задач градостроительной деятельности, были авторами апробированы на Екатерининском парке Москвы и сопоставлены с полученными значениями расчетного метода.

С помощью вышеперечисленных методов определяется количество единовременных посетителей городского многофункционального парка преимущественно с целью расчета рекреационной нагрузки [14, 15]. Но стоит отметить, что принципиально

разные подходы могут дать результаты, сильно отличающиеся друг от друга.

В настоящем исследовании апробирован расчетный метод, позволяющий сравнивать результаты с аналогичными, полученными при помощи замеров натурального исследования.

Для определения численности населения в радиусе пешеходной доступности 700 м построены окружности от входов в Екатерининский парк (рис. 3). Выявлены жилые дома, попавшие в построенную зону, и определена численность населения каждого дома в зависимости от его жилой площади [16].

Результаты исследования

Результаты проведенного натурального исследования Екатерининского парка выборочным моментным методом представлены в табл. 2, и результаты, полученные регистрационно-измерительным методом, — в табл. 3. Натурное исследование проводилось весной 2025 г., в выходной день в благоприятную погоду в дневные и вечерние часы.

Таблица 2. Результаты проведенного натурного исследования Екатерининского парка выборочным моментным методом

Площадка (функция)	Площадь, га	День (с 14:00 до 15:00)		Вечер (с 18:00 до 19:00)	
		Количество человек	Рекреационная нагрузка, чел/га	Количество человек	Рекреационная нагрузка, чел/га
Детская (детский отдых)	0,12	26	217	22	183
Детская (детский отдых)	0,02	9	450	10	500
Спортивная (командные игры)	0,09	17	193	11	125
Спортивная (воркаут)	0,06	4	72	6	108
Пешеходная площадь при входе в парк (вход № 1)	0,06	26	406	24	375
Участок дорожно-тропиночной сети (прогулка)	0,04	16	423	21	556
Вдоль водоема	0,06	18	300	11	183
Среднее значение нагрузки	—	—	294		290

Таблица 3. Результаты проведенного натурного исследования Екатерининского парка регистрационно-измерительным методом

Входы	Рекреационная площадь, га	День (с 14:00 до 15:00)		Вечер (с 18:00 до 19:00)	
		Количество человек	Рекреационная нагрузка, чел/га	Количество человек	Рекреационная нагрузка, чел/га
№ 1	2,5	552	221	618	247
№ 2		86	34	174	70
№ 3		276	110	348	139
№ 4		36	15	48	19
Все входы		950	380	1188	475

Как показали результаты натурного исследования, в каждом из методов расчет ведется относительно разных рекреационных площадей и разных групп рекреантов, и, следовательно, полученные в результате значения различаются более чем на 100 чел/га.

Выборочным моментным методом фиксировалось количество единовременных рекреантов на конкретных учетных площадях: детских и спортивных площадках, площадях для тихого отдыха, участках ДТС, что позволило охватить рекреантов, которые находились внутри парка продолжительное время и оказывали рекреационную нагрузку на каждую из учетных площадей.

Регистрационно-измерительным методом фиксировалось количество человек, вошедших на территорию парка за определенный период времени, среди которых могли оказаться не только рекреанты, но и транзитные посетители. В результате мы получаем значение рекреационной нагрузки относительно рекреационной площади парка, но не имеем представления о том, какие из учетных посетителей этой территорией пользовались.

Стоит отметить, что с 2023 г. рекреационная нагрузка на ДТС парков не нормируется в соответ-

ствии с Изменением № 1 к СП 475.1325800.2020, а предельно допустимые значения рекреационной нагрузки варьируются в зависимости от функционального назначения рекреационных площадок. Предполагается, что таким способом значение рекреационной нагрузки получится более точным и будет в границе предельно допустимого значения. Но вместе с тем площадь ДТС занимает значительную долю площади рекреационной территории, а значит, вычитая площадь ДТС из расчета рекреационной нагрузки, значение этой нагрузки на другие территории парка получится выше.

В данном исследовании значения рекреационной нагрузки получены с учетом нагрузки на ДТС. Это позволяет сравнить полученные значения с укрупненным предельно допустимым нормативом рекреационной нагрузки на городские парки — 100 чел/га, который рассчитывается относительно всей рекреационной площади и не учитывает по отдельности ДТС и рекреационные площадки различного функционального назначения.

Также расчетным методом получено значение рекреационной нагрузки в зависимости от численности населения в радиусе пешеходной доступности 10 мин (700 м). В табл. 4 представлены исход-

Таблица 4. Результаты, полученные расчетным методом, на основе численности населения в радиусе пешеходной доступности Екатерининского парка

Количество жилых домов, ед.	Численность населения, чел.	10 % от численности населения, чел.	Рекреационная площадь, га	Рекреационная нагрузка, чел/га
28	11 296	1130	2,5	452

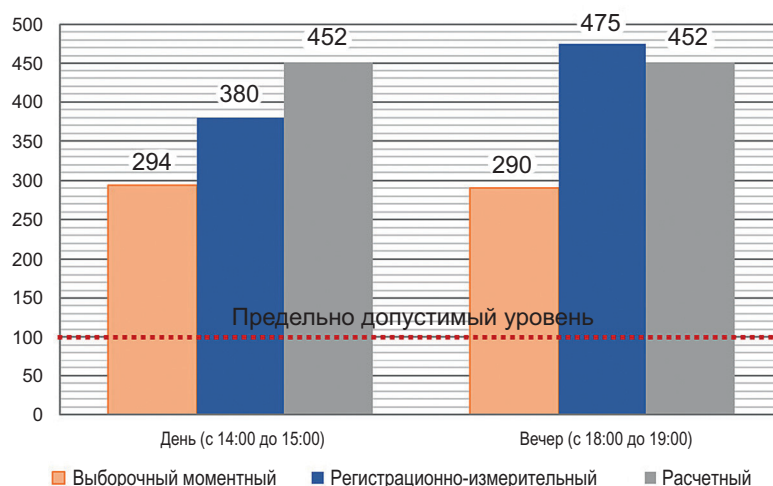


Рис. 4. Сравнение полученных тремя методами значений рекреационной нагрузки, чел/га, Екатерининского парка (по результатам натурных обследований 2025 г.)

ные данные и полученное значение рекреационной нагрузки для Екатерининского парка.

Сравнение итоговых результатов, полученных тремя разными методами (выборочный моментный, регистрационно-измерительный и расчетный), представлено на диаграмме рис. 4.

По результатам натурных исследований и расчета единовременных посетителей Екатерининского парка в пиковые часы (день и вечер выходного дня) делается вывод о превышении предельно допустимой рекреационной нагрузки почти в 3 раза (выборочным моментным методом) и в 4 раза и более (регистрационно-измерительным и расчетным).

Сравнение полученных в ходе эксперимента результатов показало, что регистрационно-измерительный метод дает более высокие значения рекреационной нагрузки, а также имеет более сильный разброс значений в дневной и вечерний часы (порядка 100 единиц).

Отмечается также, что выборочный моментный метод больше подходит для расчета рекреационной нагрузки, так как учитывает единовременное пребывание посетителей внутри городского многофункционального парка и позволяет получить значения нагрузок на конкретные рекреационные площади парка. Регистрационно-измерительный метод

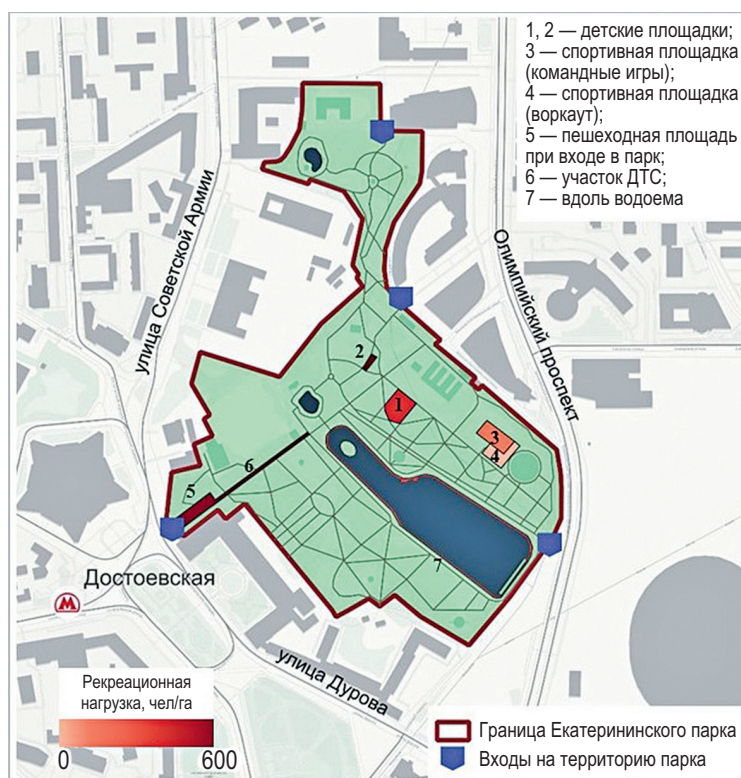


Рис. 5. Схема Екатерининского парка с отображением учетных площадей

показывает не столько рекреационную нагрузку на территорию, сколько нагрузку на входные группы парка, так как не учитывает единовременное пребывание посетителей внутри городского многофункционального парка.

Наиболее высокие значения рекреационной нагрузки получены (табл. 4):

- на наиболее загруженном участке дорожно-тропиночной сети — 556 чел/га;
- на детской площадке (меньшей площади) — 500 чел/га;
- на пешеходной площади при входе в парк — 406 чел/га.

Схема Екатерининского парка с отображением учетных площадей представлена на рис. 5.

Наиболее высокие значения нагрузки на входы получены на входе со стороны станции метрополитена «Достоевская» — 247 чел/га (табл. 3), что подтверждает значимость объектов транспортной инфраструктуры и их влияние на уровень рекреационной нагрузки на городские многофункциональные парки. Повышение транспортной доступности парка способствует росту посетителей, а значит и росту рекреационной нагрузки.

Таким образом, для определения единовременных посетителей городского многофункционального парка следует применять выборочный моментный метод, когда стоит цель расчета рекреационной нагрузки на территорию парка, а регистрационно-измерительный — когда стоит цель расчета нагрузки на входные группы и выявления пунктов генерации потока посетителей на прилегающих территориях.

Выводы

1. Проведенный сравнительный анализ методов определения рекреационной нагрузки на городские

многофункциональные парки позволил определить те методы, которые обычно применяются в градостроительной практике. Подтверждается необходимость проведения натурных наблюдений — замеров нагрузки на входы и количества единовременных посетителей на рекреационной территории, а также проведения социологического опроса для выявления потребностей населения. Тем не менее в рассмотренных методах выявлены такие различия, которые дают сильную разницу в получаемых результатах.

2. Апробация выборочного моментного и регистрационно-измерительного методов на примере Екатерининского парка, а также сопоставление их результатов друг с другом и с расчетным методом показали, что регистрационно-измерительный метод дает более высокие значения, чем выборочный моментный. Помимо этого, выборочный моментный метод дает схожие результаты рекреационной нагрузки вне зависимости от времени суток. Таким образом, выборочный моментный метод в большей степени отражает единовременное пребывание посетителей на рекреационных площадках, а регистрационно-измерительный метод — нагрузку на входы в парк.

3. Полученные значения рекреационной нагрузки, вне зависимости от метода ее определения, оказались выше предельно допустимой рекреационной нагрузки в 2–4 раза. Можно сделать вывод, что в условиях постоянно развивающегося города, а также при обеспечении транспортной доступности территорий неизбежен рост количества посетителей городских многофункциональных парков. Рекреационная нагрузка на городские парки возрастает, и сохранение территорий городских парков становится одной из основополагающих задач в градостроительстве.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Владимиров В.В.* Рациональное использование территории и охрана окружающей среды в районной планировке. М. : Знание, 1979. 32 с.
2. *Преображенский В.С., Веденин Ю.А.* География и отдых. М. : Знание, 1971. 48 с.
3. *Чиждова В.П.* Рекреационные нагрузки в зонах отдыха. М. : Лесная промышленность, 1977. 49 с.
4. *Шеффер Е.Г.* Ландшафтные исследования для проектов территориальных планировок (на примере лесопаркового пояса г. Ленинграда) : автореф. дис. ... канд. географ. наук. Ленинград, 1971. 25 с.
5. *Ханбеков Р.И.* Методические рекомендации по определению рекреационных нагрузок на лесные площади при организации туризма, экскурсий, массового повседневного отдыха и нормы этих нагрузок для центральной части южной тайги и зоны хвойно-широколиственных лесов. М. : ВНИИЛМ, 1985. 27 с.
6. *Ханбеков А.Ф., Поляков А.Ф.* Временная методика определения рекреационных нагрузок на природные комплексы при организации туризма, экскурсий, массового повседневного отдыха и временные нормы этих нагрузок // Гос. ком. СССР по лесн. хоз-ву и др.. М. : ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1987. 34 с.
7. Стандарт отрасли ОСТ 56-100-95. Методы и единицы измерения рекреационных нагрузок на лесные природные комплексы : утв. приказом Рослесхоза от 20 июля 1995 г. № 114.

8. Непомнящий В.В., Завадская А.В. Рекреационное природопользование : уч. пос. // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Новосибирск : Изд-во Сибирского отд. Российской акад. наук, 2020. 104 с.
9. Слепнев М.А. Функциональное зонирование городских природно-антропогенных территориальных комплексов на примере Московского региона : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2017. 20 с.
10. Дьячкова О.Н., Михайлов А.Е. Математическая модель расчета рекреационной нагрузки на городские озелененные территории // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2023. № 2. С. 90–96. DOI: 10.31857/S0869780923020042. EDN TWIJHR.
11. Tourism, ecotourism, and protected areas: the state of nature-based tourism around the world and guidelines for its development. Cambridge, 1996. 301 p.
12. Борисов М.В., Бакаева Н.В., Черняева И.В. Нормативно-техническое регулирование в области озеленения городской среды // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 2. С. 212–222. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.212-222. EDN VCSRFP.
13. Лопина Е.М., Куреева-Гененко И.А., Корнилов А.Г. Социально-географические и геоэкологические аспекты изучения эстетико-потребительских параметров среды и общественного природопользования : уч. пос. // Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет». Белгород : Издательский дом «БелГУ», 2021. 121 с.
14. Царегородцева А.Г., Алькеев М.А., Ракишева А.К. Обзор и анализ методов оценки рекреационной нагрузки на природные комплексы // Гидрометеорология и экология. 2014. № 1. С. 154–163.
15. Корсун М.А. Опыт эмпирического исследования городских парков как социального пространства // Вестник ВГЭУ. 2016. № 5 (85). С. 170–175.
16. Образцова С.В. Исследование зон доступности парков на примере г. Москвы // Архитектура и строительство России. 2024. № 2. С. 94–99.

Об авторах: Светлана Владимировна Образцова — аспирант; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ведущий инженер; **Научно-исследовательский и проектный институт Генерального плана города Москвы**; 125047, г. Москва, 2-я Брестская ул., д. 2/14; e-mail: svetl4ya98@ya.ru;

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

REFERENCES

1. Vladimirov V.V. *Racional'noe ispol'zovanie territorii i ohrana okruzha-yushhej sredy`v rajonnoj planirovke*. Moscow, Znanie, 1979; 32. (rus.).
2. Preobrazhenskij V.S., Vedenin Yu.A. *Geografiya i otdy`x*. Moscow, Znanie, 1971; 48. (rus.).
3. Chizhova V.P. *Rekreacionny`e nagruzki v zonax otdy`xa*. Moscow, Lesnaya prom-st', 1977; 49. (rus.).
4. Sheffer E.G. *Landshaftny`e issledovaniya dlya projektov territorial'ny`x planirovok (na primere lesoparkovogo poyasa g. Leningrada) : abstract of a dissertation for the degree of candidate of geographical sciences*. Leningrad, 1971; 25. (rus.).
5. Xanbekov R.I. *Metodicheskie rekomendacii po opredeleniyu rekreacionny`x nagruzok na lesny`e ploshhadi pri organizacii turizma, e`kskursij, massovogo povsednevnogo otdy`xa i normy`e`tix nagruzok dlya central'noj chasti yuzhnoj tajgi i zony`xvojno-shirokolistvenny`x lesov*. Moscow, VNIILM, 1985; 27. (rus.).
6. Xanbekov A.F., Polyakov A.F. *Vremennaya metodika opredeleniya rekreacionny`x nagruzok na prirodny`e komplekсы` pri organizacii turizma, e`kskursij, massovogo povsednevnogo otdy`xa i vre-menny`e normy`e`tix nagruzok*. Gos. kom. SSSR polesn. xoz-vui dr. Moscow, CзBNTIGoslesxoza SSSR, 1987; 34. (rus.).
7. Standart otrasli OST 56-100-95. *Metody` i edinicy izmereniya rekreacionny`x nagruzok na lesny`e prirodny`e komplekсы` : utv. prikazom Roslesxoza ot 20 iyulya 1995 g. No. 114*. (rus.).
8. Nepomnyashnij V.V., Zavadsкая A.V. *Rekreacionnoe prirodo-pol'zovanie : uchebnoe posobie. Ministerstvo prirodny`x resursov i e`kologii Rossijskoj Federacii*. Novosibirsk, Izd-vo Sibirskogo otd-niya Rossijskoj akad. nauk, 2020; 104. (rus.).
9. Slepnev M.A. *Funkcional'noe zoni-rovanie gorodskix prirodno-antropogenny`x territorial'ny`x komplekсов na primere Moskovskogo regiona : abstract of a dissertation for the degree of candidate of technical sciences*. Moscow, 2017; 20. (rus.).

10. D'yachkova O.N., Mixajlov A.E. Matematicheskaya model' rascheta rekreacionnoj nagruzki na gorodskie ozelenenny'e territorii. *Geo'kologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. 2023; 2:90-96. DOI: 10.31857/S0869780923020042. EDN TWIJHR. (rus.).
11. *Tourism, ecotourism, and protected areas: the state of nature-based tourism around the world and guidelines for its development*. Cambridge, 1996; 301.
12. Borisov M.V., Bakaeva N.V., Chernyaeva I.V. Normativno-texnicheskoe regulirovanie v oblasti ozeleneniya gorodskoj sredy'. *Vestnik MGSU*. 2020; 15(2):212-222. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.212-222. EDN VCSRFP. (rus.).
13. Lopina E.M., Kireeva-Genenko I.A., Kornilov A.G. Social'no-geograficheskie i geoe'kologicheskie aspekty' izucheniya e'stetiko-potrebitel'skix parametrov sredy' i obshhestvennogo prirodopol'zovaniya : uchebnoe posobie. *Ministerstvo nauki i vy'sshnego obrazovaniya Rossijskoj Federacii, Federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vy'sshnego obrazovaniya "Belgorodskij gosudarstvenny'j nacional'ny'j issledovatel'skij universitet"*. Belgorod, Izdatel'skij dom BelGU, 2021; 121. (rus.).
14. Czaregorodceva A.G., Al'keev M.A., Rakisheva A.K. Obzor i analiz metodov ocenki rekreacionnoj nagruzki na prirodny'e komplekсы'. *Gidrometeorologiya i e'kologiya*. 2014; 1:154-163.
15. Korsun M.A. Opy't e'mpiricheskogo issledovaniya gorodskix parkov kak soci-al'nogo prostranstva. *Vestnik VGE'U*. 2016; 5(85):170-175.
16. Obrazczova S.V. Issledovanie zon dostupnosti parkov na primere g. Moskvy'. *Arxitektura i stroitel'stvo Rossii*. 2024; 2:94-99.

About the authors: **Svetlana V. Obraztsova** — postgraduate student; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; Lead engineer; **Research and Design Institute of the Moscow City Plan**; 2/142nd Brestskaya St., Moscow, 125047, Russian Federation; e-mail: svetl4ya98@ya.ru;

Natalia V. Bakayeva — Doctor of Technical Sciences, Professor; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: natbak@mail.ru.

Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 2. С. 58–71.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 711.4:504.06

DOI: 10.22227/2311-1518.2025.2.58-71

КОНЦЕПЦИЯ ЗДОРОВОГО ГОРОДА: ПРИНЦИПЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ МАССОВОГО СПОРТА НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА КОТОНУ, РЕСПУБЛИКА БЕНИН

Нина Васильевна Данилина, Пьер Татча Консака

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

В условиях стремительной урбанизации и растущей потребности в формировании устойчивой городской среды особую актуальность приобретает разработка концепции здорового города, в которой ключевое значение имеет инфраструктура массового спорта. В представленной статье рассматриваются принципы размещения спортивной инфраструктуры в развивающихся городах на примере Котону — крупнейшего города Республики Бенин. Исследование опирается на поэтапный подход. На первом этапе проведен анализ природных, социально-демографических и градостроительных условий, влияющих на формирование городской спортивной инфраструктуры. Особое внимание уделено климату, рельефу, структуре застройки и демографической динамике, включая спортивные предпочтения различных возрастных и половых групп населения. Второй этап посвящен оценке градостроительного потенциала территорий, включая анализ существующих режимов землепользования, выявление территориальных резервов и оценку доступности спортивных объектов. На третьем этапе разработаны сценарии и принципы интеграции инфраструктуры массового спорта в структуру города с учетом типов застройки и специфики использования городской территории. Методология исследования базируется на применении геоинформационных систем (ГИС), пространственного анализа и методов системного и статистического анализа. Полученные результаты могут быть использованы для разработки стратегий пространственного развития городской среды в развивающихся странах с приоритетом на формирование условий для здорового образа жизни.

Ключевые слова: здоровый город, массовый спорт, спортивная инфраструктура, градостроительный потенциал территорий, типология, геоинформационные системы, землепользование, устойчивое развитие

Для цитирования: Данилина Н.В., Консака П.Т. Концепция здорового города: принципы размещения инфраструктуры массового спорта на примере города Котону, Республика Бенин // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 2. С. 58–71. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.2.58-71

OPTIMIZATION OF MASS SPORTS INFRASTRUCTURE IN BENIN USING THE EXAMPLE OF COTONOU: POSSIBILITIES OF COMBINING VARIOUS SPORTS IN CONDITIONS OF LIMITED SPACE

Nina V. Danilina, Tatcha P. Konsaka

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

In the context of rapid urbanization and the growing need to create a sustainable urban environment, the development of the concept of a “healthy city” in which the infrastructure of mass sports is of key importance is becoming especially relevant. The presented article considers the principles of placement of sports infrastructure in developing cities using the example of Cotonou, the largest city in the Republic of Benin. The study is based on a step-by-step approach. At the first stage, an analysis of natural, socio-demographic and urban planning conditions influencing the formation of urban sports infrastructure was carried out. Particular attention is paid to the climate, relief, development structure and demographic dynamics, including sports preferences of different age and gender groups of the population. The second stage is devoted to the assessment of the urban development potential of territories, including an analysis of existing land use regimes, identification of territorial reserves and assessment of the availability of sports facilities. At the third stage, scenarios and principles for integrating mass sports infrastructure into the city structure are developed, taking into account the types of development and the specifics of the use of the urban territory. The research methodology is based on the use of geographic information systems (GIS), spatial analysis and methods of system and statistical analysis. The obtained results can be used to develop strategies for spatial development of the urban environment in developing countries with a priority on the formation of conditions for a healthy lifestyle.

Keywords: healthy city, mass sports, sports infrastructure, urban development potential of territories, typology, geographic information systems, land use, sustainable development

For citation: Danilina N.V., Konsaka T.P. Optimization of mass sports infrastructure in Benin using the example of Cotonou: possibilities of combining various sports in conditions of limited space. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2025; 2:58-71. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.2.58-71 (rus.).

Введение

Здоровый город — концепция городского развития, целью которой является формирование комфортной городской среды, поощряющей здоровый образ жизни населения. Она появилась в 80-е гг. XX в. под эгидой Европейского регионального бюро Всемирной организации здравоохранения и в настоящее время набирает популярность во многих городах по всему миру. Вопрос физического и ментального здоровья населения является одним из современных вызовов человечеству [1, 2].

С точки зрения политики развития устойчивых городов концепция здорового города отвечает принципам биосферосовместимых городов в части симбиоза жителей и городской среды с целью реализации множества жизненных функций. Одной из таких функций является спорт, популярность которого среди населения возрастает с каждым годом. Развитие инфраструктуры массового спорта приобретает все большую значимость не только в контексте популяризации физической культуры и спорта, но и как фактор повышения качества жизни населения [3]. В исследовании рассматривается вопрос реализации концепции здорового города путем формирования системы инфраструктуры массового спорта. Концептуальная модель исследования отражается в поиске балансовых решений между вопросами землепользования в существующей высокоплотной застройке, потребностями жителей в инфраструктуре различных видов спорта и требованиями к ее размещению (рис. 1).

Особенно остро эта проблема встает в условиях ограниченных пространственных и экономических ресурсов, характерных для густонаселенных городов развивающихся стран. Одним из таких примеров является Котону — крупнейший город и фактическая столица Республики Бенин, где высокая плотность застройки, нехватка общественных пространств и ограниченность бюджетных возможностей затруд-

няют развитие полноценной и доступной спортивной инфраструктуры. Спортивные объекты массового пользования должны обеспечивать равный доступ для различных слоев населения и удовлетворять потребности как любительского, так и организованного спорта. В условиях дефицита городской территории и ускоренной урбанизации возникает необходимость в поиске новых подходов к проектированию и размещению спортивных объектов. Среди актуальных направлений — внедрение многофункциональных и трансформируемых решений, оптимизация использования существующих площадей, а также интеграция цифровых технологий, способствующих эффективному управлению ресурсами и повышению доступности.

Современные исследования подчеркивают необходимость адаптации спортивной инфраструктуры к условиям плотной городской застройки [4, 5]. В мировой практике предлагаются различные модели, включая многофункциональное и мобильное использование территорий [6, 7], вертикальное зонирование спортивных объектов (Япония) [8], а также интеграцию спортивных пространств в общественную городскую ткань с акцентом на социальную инклюзивность (Нидерланды) [9]. Немаловажную роль играет и цифровизация: алгоритмы на базе искусственного интеллекта уже применяются в ряде стран для оптимального распределения спортивных ресурсов и управления городской нагрузкой [10]. Потенциал адаптации подобных решений для городов Западной Африки, включая Котону, представляется значительным, особенно в контексте демографического роста и повышения уровня урбанизации [11, 12].

В этой связи научный интерес представляет разработка эффективных моделей размещения и оптимизации спортивной инфраструктуры, ориентированной на условия ограниченного пространства и ресурсоемких городов Глобального Юга. Целью настоящего исследования является анализ существующей

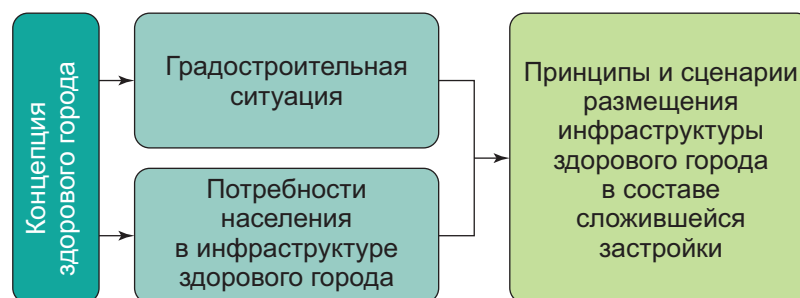


Рис. 1. Реализация концепции здорового города для формирования системы инфраструктуры массового спорта в городах

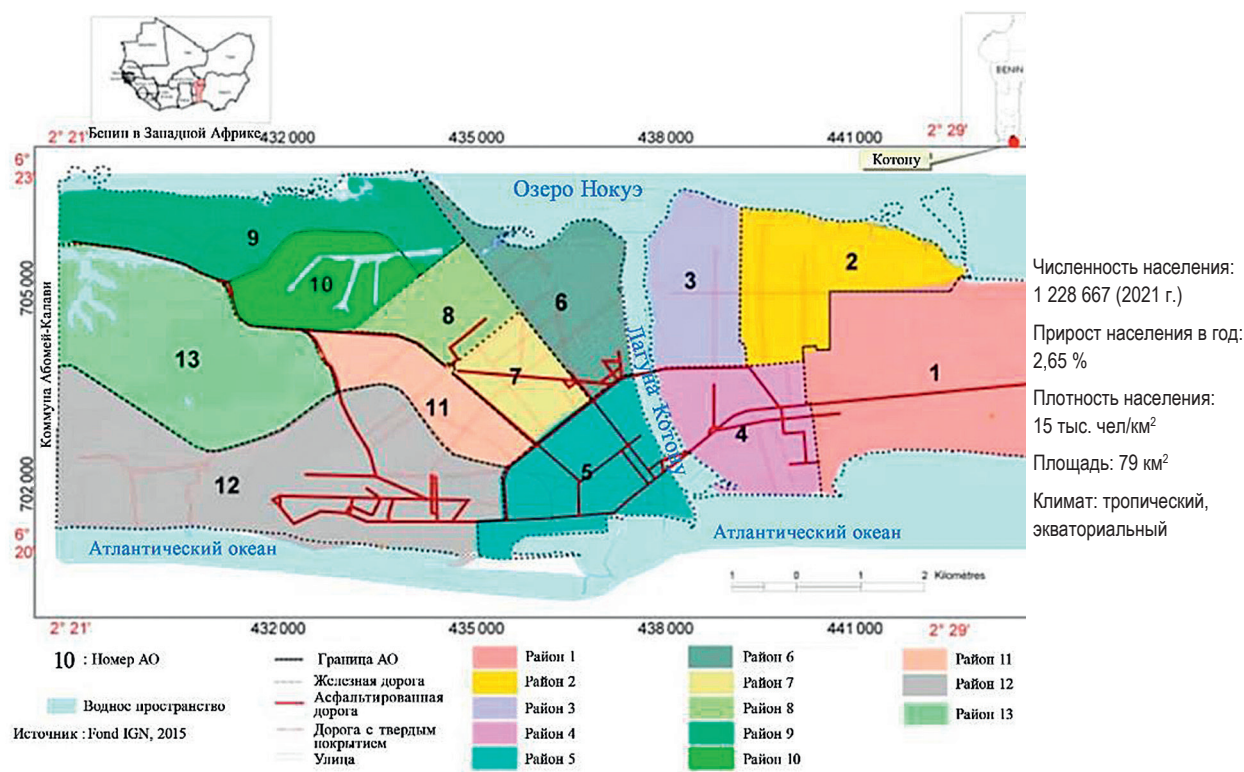


Рис. 2. Объект исследования — город Котону, Республика Бенин

ющих подходов к организации спортивной инфраструктуры массового спорта в городе Котону, выявление их слабых сторон и формулирование рекомендаций по повышению функциональной и социальной эффективности таких объектов на основе современных международных практик и инновационных решений.

Модели и методы

Город Котону, являющийся крупнейшим городом и экономическим центром Республики Бенин, выбран в качестве ключевого объекта исследования (рис. 2). Население города составляет около 1,2 млн человек, а площадь — 79 км². Географически Котону расположен на юге страны, между побережьем Атлантического океана и озером Нокуэ. Город обладает важным транспортно-логистическим потенциалом благодаря наличию морского порта и международного аэропорта, что делает его стратегически значимым узлом Западной Африки.

Котону характеризуется высокой плотностью застройки, дефицитом общественных пространств и ограниченной доступностью спортивной инфраструктуры. Основные спортивные дисциплины, представленные в городской среде, включают: боевые искусства, легкую атлетику, бокс, баскетбол, велоспорт, танцевальные направления, фитнес, футбол, гандбол, хоккей, дзюдо, мини-футбол, плавание, регби, теннис, настольный теннис, волейбол, спортивную

ходьбу, прыжки, стрельбу из лука и другое. Несмотря на разнообразие видов спорта, значительная часть объектов сосредоточена в специализированных спортивных центрах, тогда как спортивное развитие в открытых общественных пространствах остается ограниченным и не соответствует актуальным потребностям горожан.

Город Котону является типичным представителем современного города в развивающихся странах Африки, в частности в Бенине.

Целью исследования являлись разработка и апробация научно-обоснованного подхода к размещению спортивной инфраструктуры массового спорта (СИМС) в условиях стесненной застройки города Котону с учетом выявленных особенностей развивающегося города.

На рис. 3 представлен порядок исследования, который включал несколько этапов, в результате которого были получены основные сценарии размещения инфраструктуры массового спорта.

Первый этап — определение особенностей развивающихся городов на примере города Африки, влияющих на формирование инфраструктуры массового спорта. На данном этапе рассмотрен комплекс условий, определяющих вектор развития инфраструктуры массового спорта в городе, таких как:

- природные условия: климат, рельеф, ландшафт, наличие природных доминант — рек, водоемов, лесов и другого;



Рис. 3. Порядок исследования для разработки сценариев размещения инфраструктуры массового спорта

- социально-демографические условия: динамика численности населения, половозрастной состав, предпочтения по видам спорта;
- градостроительные условия: параметры и типы сложившейся застройки, правила землепользования различных видов собственности.

Второй этап — анализ градостроительной ситуации в городе и оценка градостроительного потенциала территорий для размещения инфраструктуры массового спорта различных типов. На данном этапе проводились следующие виды исследований:

- определение площадных характеристик для размещения различных видов инфраструктуры массового спорта в составе городских территорий;
- анализ сложившихся условий землепользования на территории города для выявления территориальных резервов для размещения различных видов инфраструктуры массовых видов спорта;
- анализ существующих условий доступа населения к различным видам инфраструктуры массового спорта.

Третий этап — разработка принципов и сценариев планировочных решений размещения инфраструктуры массового спорта в составе городских территорий. Данный этап включает:

- выделение типов застройки на территории города с характерными условиями землепользования и выделение территорий потенциального размещения инфраструктуры массового спорта;
- предложение различных сценариев планировочных решений размещения инфраструктуры массового спорта;
- разработка принципов размещения инфраструктуры массового спорта в условиях сложившейся застройки города.

В ходе исследования применялись методы: пространственного анализа больших данных с применением геоинформационных систем для сбора и обработки данных землепользования города, методы системного анализа и статистической обработки данных.

Результаты исследования и их анализ

Первый этап — определение особенностей развивающихся городов на примере города Африки, влияющих на формирование инфраструктуры массового спорта.

На первом этапе исследования рассмотрены ключевые характеристики развивающихся городов Африки, оказывающие определяющее влияние на вектор развития инфраструктуры массового спорта. В качестве кейса выбран город Котону — крупнейший урбанистический центр Республики Бенин, демонстрирующий типичные для африканских мегаполисов особенности природного, демографического и градостроительного характера.

Природные условия

Котону расположен в зоне тропического климата с выраженной сезонностью и высокой средней температурой воздуха в пределах 24–33 °С, а также значительной влажностью (рис. 4) [13]. Эти условия обуславливают необходимость проектирования открытых, хорошо вентилируемых спортивных объектов, оснащенных системами естественного затенения, влагостойкими покрытиями и зелеными насаждениями для оптимизации микроклимата.

Геоморфологическая структура города представлена преимущественно плоским рельефом с болоти-

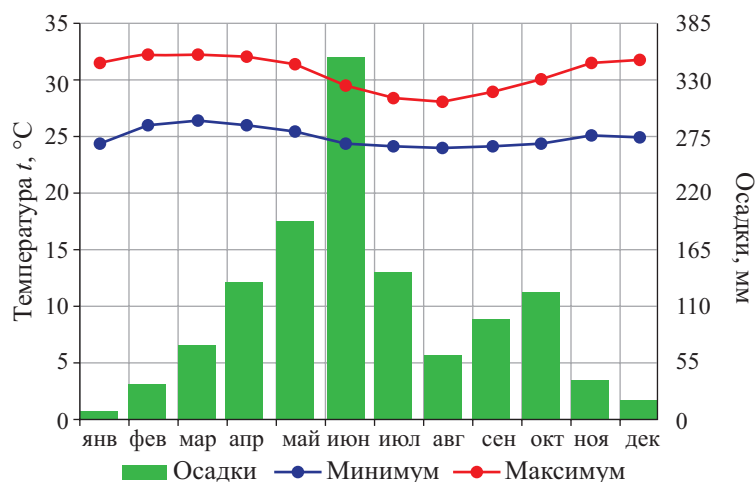


Рис. 4. Климатический график г. Котону

стыми участками, прорывами дождевых потоков и гидрографической сетью, включающей озеро Нокуэ и канал «Лагуна Котону». Город разделен на две части каналом под названием «Лагуна Котону». Прорытый французами в 1894 г., он обеспечивает прямое сообщение между озером Нокуэ и Атлантическим океаном [14]. Геоэкономические процессы, такие как прибрежная эрозия, значительно ограничивают территориальное расширение спортивной инфраструктуры и требуют учета при проектировании пространственно-функциональных систем.

Социально-демографические условия

Африканский континент характеризуется стремительным демографическим ростом и молодежной возрастной структурой населения. По данным ООН, к 2050 г. около 35 % мировой молодежи в возрасте 15–24 лет будет проживать в странах Африки [15]. В Котону аналогичная тенденция проявляется в доминировании молодого населения: средний возраст составляет 18 лет, а ежегодный прирост достигает 2,7 % по стране и 0,18 % в городе [16]. Примерно 40 % населения уже вовлечено в различные

формы спортивной активности, что создает устойчивый спрос на доступную и масштабируемую спортивную инфраструктуру, адаптированную под интересы молодежной аудитории. Приоритетными направлениями становятся развитие многофункциональных спортивных площадок, модернизация школьной инфраструктуры и формирование инклюзивных общественных спортивных пространств.

Формирование спортивной инфраструктуры в развивающемся урбанистическом контексте требует синтеза традиционных и современных форм физической активности. В культурной парадигме Котону сохраняется высокая значимость этнически обусловленных видов спорта и досуга, таких как дибек (уличный футбол), эгуну (национальная борьба), а также традиционные танцы (рис. 5). Параллельно с этим наблюдается рост популярности глобализированных спортивных практик: футбола, баскетбола, волейбола, воркаута, велоспорта и водных видов спорта (в том числе сапбординга и гребли на каноэ). Эффективное инфраструктурное планирование предполагает гармоничную интеграцию этих практик в единое пространство городской среды.



Рис. 5. Международные и традиционные виды массового спорта: *a* — футбол, баскетбол, волейбол, воркаут; *b* — бег, велосипед; *c* — водные виды спорта (плавание, сапдоски, каноэ); *d* — дибек (футбол); *e* — традиционные танцы; *f* — эгуну (борьба)

Градостроительные условия

Котону отличается высокой плотностью застройки и ограниченными территориальными ресурсами, обусловленными расположением между лагуной Нокуэ и Атлантическим океаном. Структура землепользования характеризуется высокой долей смешанного функционального зонирования, наличием неформальной застройки, низким уровнем инженерной обеспеченности ряда районов (включая дефицит водоснабжения, дорог, канализации), а также недостаточной развитостью транспортной инфраструктуры [17, 18]. Все эти факторы осложняют реализацию масштабных спортивных проектов. Дополнительные сложности создают экологические ограничения и слабая нормативно-правовая регламентация градостроительного развития, особенно в сегменте социально ориентированной инфраструктуры.

Таким образом, формирование устойчивой и доступной инфраструктуры массового спорта в условиях развивающихся африканских городов, таких как Котону, требует междисциплинарного подхода, сочетающего климатические, демографические, социокультурные и градостроительные параметры. Это позволяет не только повысить уровень физической активности населения, но и способствовать укреплению социальных связей и устойчивому развитию городской среды.

Второй этап — анализ градостроительной ситуации в городе и оценка градостроительного потенциала территорий для размещения инфраструктуры массового спорта различных типов.

В контексте актуализации задач устойчивого развития городов особое внимание уделяется созданию благоприятной урбанистической среды, способствующей формированию здорового образа жизни и вовлечению населения в регулярные занятия физической культурой и спортом. Одним из ключевых направлений в этом контексте выступает развитие инфраструктуры массового спорта, интегрированной в структуру городской застройки. Настоящее исследование направлено на выявление градостроительного потенциала для размещения объектов спортивной инфраструктуры различного типа на примере города Котону Республики Бенин.

Определение площадных характеристик для размещения различных видов инфраструктуры массового спорта в составе городских территорий

В первую очередь были определены нормативные и рекомендованные параметры площадей, необходимых для размещения типологически различающихся объектов массового спорта: открытых

спортивных площадок, многофункциональных физкультурно-оздоровительных комплексов, стадионов, специализированных тренировочных зон и велодорожек. Анализ исходил из действующих норм международных организаций [19–21], а также локальных условий плотности застройки, климатических особенностей и текущего использования территорий (табл. 1).

Анализ сложившихся условий землепользования на территории города для выявления территориальных резервов для размещения различных видов инфраструктуры массовых видов спорта

На основе данных муниципального кадастра и результатов полевых обследований была проведена систематизация землепользования по функциональному назначению, интенсивности использования и степени трансформируемости. По результатам исследования планировочной структуры города было выделено три основных типа застройки:

- районы с малоэтажной застройкой до 5 этажей, которая является самой распространенной по всему городу (МЗ);
- районы с трущобной застройкой, которые характеризуются большой плотностью неформального жилья и низким уровнем качества городской среды (ТЗ);
- районы с современной среднеэтажной застройкой до 9 этажей (СЗ).

На рис. 6 представлена карта с выявлением зоны для размещения СИМС в г. Котону.

Анализ существующих условий доступа населения к различным видам инфраструктуры массового спорта

В ходе анализа генерального плана Котону установлено, что в городе насчитывается всего 21 объект физической культуры и спорта за исключением территорий образовательных учреждений, размещенных крайне неравномерно по территории (рис. 7, а, б), в том числе:

- спортивные объекты городского значения — 9,52 % (2 объекта);
- спортивные объекты районного значения — 42,86 % (9 объектов);
- спортивные объекты локального значения — 47,62 % (10 объектов).

Большинство спортивных сооружений расположено в благоустроенных районах, в то время как в кварталах трущобной застройки объекты отсутствуют полностью. Это подтверждается результатами теплового картирования плотности спортивной инфраструктуры (рис. 7, с, d, e, f), демонстриру-

Таблица 1. Изучение возможностей совмещения различных видов спорта для г. Котону

Вид спорта	Минимальные размеры, м	Возможность совмещения	Рекомендуемые территории
Детская игровая площадка	10 × 10 – 20 × 20	Совмещается с воркаутом, беговыми и велослужками	Двор, парк, прибрежная территория
Мини-футбол	20 × 40	Совмещается с баскетболом (разметка), волейболом (мобильные стойки)	Школа, парк, отдельная территория
Баскетбол	15 × 28	Совмещается с мини-футболом, волейболом (разметка), теннисом (съемная сетка)	Школа, двор, спорткомплекс
Гандбол	20 × 40	Совмещается с мини-футболом, баскетболом (разметка)	Школа, спорткомплекс, парк
Воркаут	10 × 10 – 20 × 20	Совмещается с детской площадкой, беговыми и велослужками	Двор, прибрежная территория, парк
Волейбол	9 × 18	Совмещается с мини-футболом, баскетболом (разметка), теннисом (съемные стойки)	Парк, школа, спорткомплекс
Теннисный корт	10,97 × 23,77	Совмещается с волейболом (съемная сетка)	Спорткомплекс, парк, отдельная территория
Футболое поле	68 × 105	Совмещается с мини-футболом, баскетболом (разметка), волейболом (съемные стойки)	Спорткомплекс, школа, парк
Беговые дорожки	1,22 (ширина одной дорожки)	Совмещаются с велослужками, воркаутом, детскими площадками	Прибрежная территория, парк, школа
Велослужки	2,5–3	Совмещаются с беговыми дорожками, воркаутом, детскими площадками	Прибрежная территория, парк, отдельная территория
Бассейн	10 × 25 (минимум)	Не рекомендуется совмещать с другими зонами	Спорткомплекс, отдельная территория
Скейтпарк	20 × 40 (средний размер)	Совмещается с беговыми и велослужками, но требует отдельного покрытия	Парк, прибрежная территория, отдельная территория

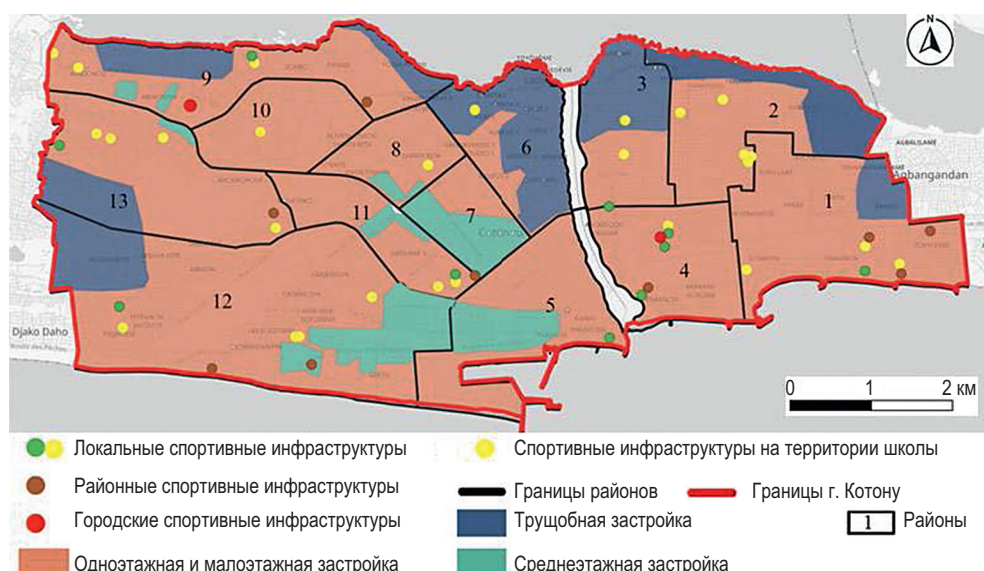


Рис. 6. Выявление зон для размещения СИМС в г. Котону

ющего пространственную диспропорцию между доступностью и населенностью районов.

Более половины спортивных объектов находятся в неудовлетворительном или среднем техническом состоянии. На всех стадиях — от проектирования до эксплуатации — отсутствуют устойчивые архитектурные и инженерные решения, а также применение возобновляемых источников энергии. Наблюдается низкий уровень интеграции спортивных объектов в городскую зеленую инфраструктуру. Большинство

площадок окружены застройкой и не имеют визуальных и функциональных связей с рекреационными пространствами, что снижает их привлекательность и экологическую устойчивость.

Градостроительная структура Котону, характеризующаяся высокой плотностью застройки и дефицитом свободных территорий, ограничивает возможности строительства новых спортивных объектов. Преобладание моноцентрической модели развития города затрудняет обеспечение равномерного охва-

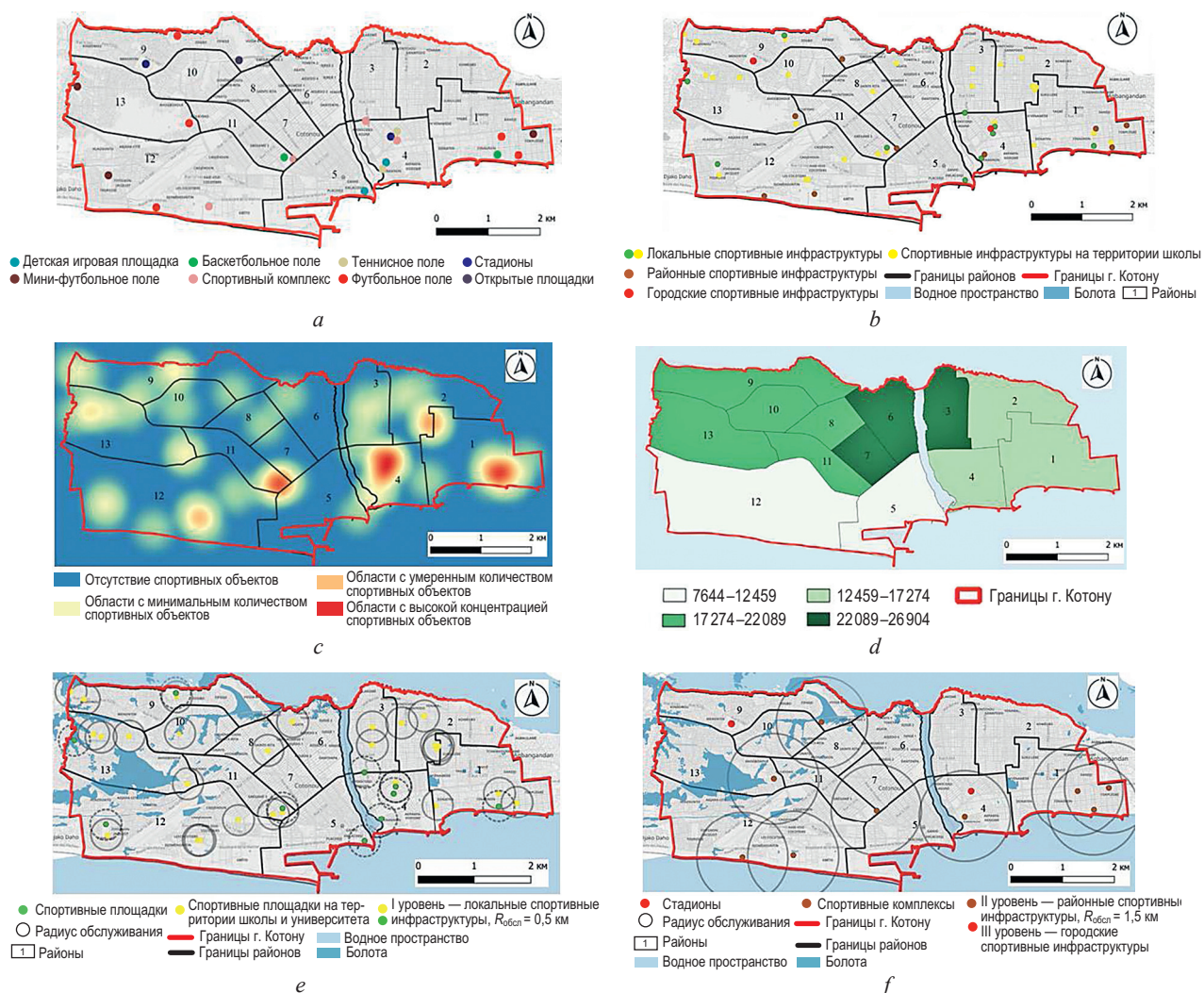


Рис. 7. Анализ градостроительных условий СИМС: 1 — условия наличия объектов СИМС: а — оценка существующей СИМС в г. Котону; б — оценка существующей СИМС в г. Котону (включая образовательные учреждения); 2 — условия размещения объектов СИМС: в — оценка условий размещения СИМС в г. Котону; г — оценка плотности населения г. Котону, чел/км²; 3 — условия доступности объектов СИМС: е — оценка доступности локальных СИМС в г. Котону; ф — оценка доступности городских и районных СИМС в г. Котону

та населения спортивной инфраструктурой. Размещение объектов преимущественно на территориях образовательных учреждений ограничивает их доступность во внеучебное время.

Дополнительно установлено, что спортивные объекты неравномерно интегрированы в функциональные зоны города. В жилых районах преобладают футбольные и баскетбольные площадки, при этом практически отсутствуют фитнес-центры, бассейны и другие специализированные объекты. Наименее обеспечены спортивной инфраструктурой трущобные и одноэтажные застроенные территории.

Третий этап — разработка принципов и сценариев планировочных решений размещения инфраструктуры массового спорта в составе городских территорий.

Развитие инфраструктуры массового спорта в современных урбанизированных территориях

представляет собой ключевую задачу обеспечения устойчивого и инклюзивного городского развития. На фоне нарастающих вызовов, связанных с ростом плотности застройки, ограниченностью доступных земельных ресурсов, а также необходимостью повышения качества жизни горожан, особую актуальность приобретает необходимость формирования обоснованных сценариев и принципов пространственной интеграции спортивных объектов в существующую городскую ткань.

Выделение типов застройки на территории города с характерными условиями землепользования и выделение территорий потенциального размещения инфраструктуры массового спорта

Результаты комплексного исследования городской среды Котону (Бенин) позволяют утверждать,

Таблица 2. Территории, на которых можно размещать спортивные объекты массового спорта

Районы	Тип застройки			Территории размещения спортивных объекты массового спорта					
	МЗ	ТЗ	СЗ	Дворовые зоны	Образовательные учреждения	Парковые зоны	Участки функциональных зон	Пляжные зоны	Всего
1	•	•	—	1	3	0	3	0	7
2	•	•	—	0	5	0	0	0	5
3	•	—	—	0	2	0	0	0	2
4	•	—	—	4	1	1	1	0	7
5	•	—	•	1	0	0	0	0	1
6	•	•	—	0	1	0	0	0	1
7	•	—	•	0	0	0	0	0	0
8	•	—	•	0	1	0	0	0	1
9	•	•	•	1	3	1	1	0	6
10	•	—	—	0	1	0	0	0	1
11	•	—	•	1	2	0	1	0	4
12	•	•	•	1	4	0	1	1	7
13	•	•	•	1	4	0	1	0	6
Итого				10	26	2	8	1	48

что общественные пространства обладают значительным потенциалом в формировании инфраструктурной базы для массового спорта, являясь важным элементом устойчивого и инклюзивного развития. Системный и типологический анализ выявил пять ключевых категорий таких пространств: дворовые территории, школьные площадки, специализированные спортивные зоны, парковые пространства и прибрежные зоны.

В табл. 2 представлен анализ районов города с целью выявления территорий, пригодных для размещения объектов массового спорта.

Исследование позволило выявить крайне неравномерное распределение спортивной инфраструктуры в городской структуре. В центральных и деловых районах, а также в районах с плотной жилой застройкой практически отсутствуют полноформатные объекты для занятий массовыми видами спорта. Даже наличие парков, прибрежных зон и школьных площадок не компенсирует дефицит, поскольку данные пространства используются фрагментарно и не адаптированы под нужды населения. Таким образом, было установлено, что существующая система землепользования не поддерживает реализацию принципов «здорового города».

Несмотря на фрагментарность застройки и недостаточное институциональное внимание к спортивной функции, в Котону существуют условия для интеграции физической активности в повседневную жизнь населения [22, 23].

Предложение различных сценариев планировочных решений размещения инфраструктуры массового спорта

Наиболее доступными и социально освоенными остаются дворы, где возможно развитие спонтанных форм спорта при минимальных вложениях. Территории образовательных учреждений обладают высокой готовностью к использованию, однако требуют организационных моделей совместного доступа. Специализированные комплексы выполняют важные спортивные и коммуникативные функции, нуждаясь в стратегическом развитии. Парки и пляжи, обладая высоким рекреационным потенциалом, остаются недоиспользованными вследствие инфраструктурных и организационных ограничений (рис. 8).

В контексте концепции «здорового города» Котону демонстрирует необходимость интеграции спорта в структуру городской жизни через развитие доступных, безопасных и функционально разнообразных общественных пространств (рис. 8). Такая трансформация способствует укреплению здоровья населения, социальной инклюзии и устойчивому городскому развитию [23, 24].

Разработка принципов размещения инфраструктуры массового спорта в условиях сложившейся застройки города

В современных условиях урбанизации и комплексной застройки городов, в частности, стран Западной Африки принципы пространственной

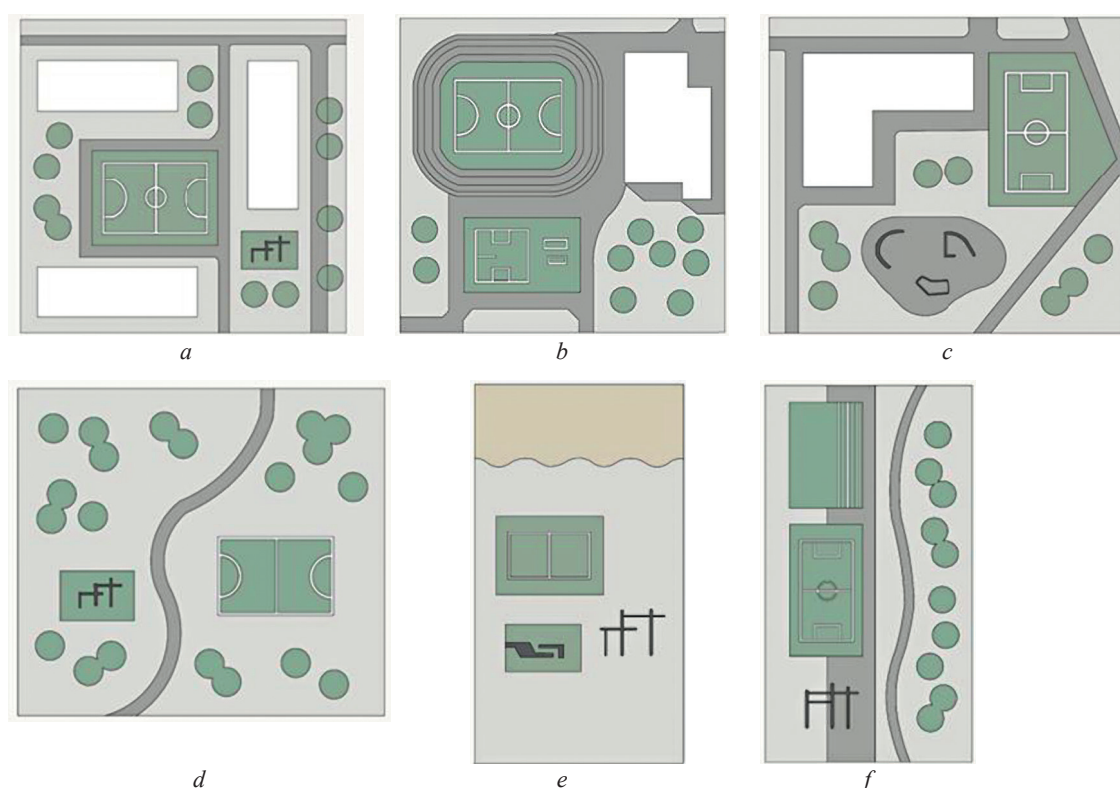


Рис. 8. Типология размещения спортивной инфраструктуры массового спорта в г. Котону: *a* — дворовые пространства; *b* — территория образовательные учреждения; *c* — функциональные зоны и участки; *d* — парковые зоны; *e* — прибрежная территория; *f* — спортивные линейные объекты

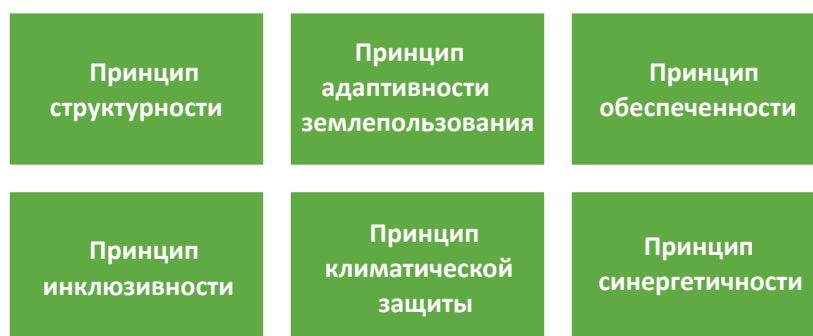


Рис. 9. Принципы формирования инфраструктуры массового спорта в рамках концепции здорового города

организации спортивной инфраструктуры базируются на многоуровневом подходе к обеспечению населения объектами массового спорта в рамках концепции здорового города. Они были разработаны по результатам проведенного исследования (рис. 9).

Принцип структурности. Размещение инфраструктуры массового спорта в условиях сложившейся застройки города Котону (Бенин) требует системного подхода, учитывающего иерархию градостроительных элементов:

- локальный уровень охватывает группы жилых домов, обеспечивая доступность объектов в радиусе 500 м (10 мин пешком); сюда входят площадки для игровых видов спорта, тренажерные зоны;
- районный уровень включает физкультурно-спортивные комплексы в пределах 1500 м (20 мин пешком), предназначенные для оздоровительного плавания, учебно-тренировочных занятий и начальной подготовки спортсменов, охватывая жилые и производственно-жилые районы;
- городской уровень представлен многофункциональными спортивными инфраструктурами с радиусом транспортной доступности (до 30 мин на общественном транспорте), ориентированным на межрайонное обслуживание и проведение соревнований, сюда входят большие объекты, такие как стадионы, спортивные центры, которые обслуживают всю территорию города.

Современная стратегия планирования спортивных объектов должна учитывать прогнозируемый

рост города и его агломерации, обеспечивая возможность поэтапного расширения инфраструктуры и трансформации существующих сооружений для оптимального территориального распределения и максимальной доступности [25–27].

Принцип адаптивности землепользования. Выбор участков для размещения инфраструктуры должен носить гибкий характер. Возможны различные варианты размещения спортивных площадок на территориях общего пользования. Для каждого типа застройки существуют особенности, которые определяются существующей плотностью и характером застройки. Также необходимо предусматривать минимизацию вмешательства в природные и полуприродные ландшафты, использование природных материалов, обеспечение водоотведения и озеленения прилегающих территорий.

Принцип обеспеченности. Обеспеченность населения инфраструктурой массового спорта является одной из ключевых задач городского планирования здоровых городов. Количество жителей, вовлеченных в занятия спортом, представляет собой целевой показатель для оценки качества жизни населения. Параметр обеспеченности устанавливает количество пользователей, т.е. существующий или планируемый спрос на инфраструктуру массового спорта и, соответственно, является расчетным для определения объемов строительства.

Принцип инклюзивности. Принцип заключается в необходимости обеспеченности физической и социально-экономической доступности спортивной инфраструктуры для всех категорий населения, в том числе уязвимых групп (женщины, дети, пожилые, лица с инвалидностью). Эффективность функционирования спортивной инфраструктуры определяется, прежде всего, ее доступностью, под которой понимается достижимость объектов в пределах нормативных пешеходных и транспортных радиусов обслуживания. Необходимо разработать муниципальную программу по интеграции спорта в общественные пространства с учетом принципов устойчивого развития и социальной инклюзии. В условиях плотной городской застройки Котону радиусы доступности приобретают особое значение: в пределах жилого района они определяются абсолютными расстояниями, тогда как за его границами — временем, необходимым для преодоления маршрута, включая поездку на общественном транспорте. Большинство объектов массового спорта относится к сооружениям периодического пользования, тогда как общегородские демонстрационные объекты сочетают функции как периодического, так и эпизодического посещения.

Принцип климатической защиты. На примере города Котону, расположенного в жарких усло-

виях Африки, показано, что климатическая защита является обязательным условием для занятий спортом. Реализация принципа диктует необходимость дополнительной площади для размещения малых архитектурных форм, озеленения и защитных конструкций, что отражается в типовых планировочных решениях, разработанных по результатам исследования.

Принцип синергетичности. Он определяет необходимость гибкого использования спортивных площадок и объектов для максимального одновременного использования пространства для различных видов спорта различными видами пользователей. Для реализации принципа необходима интеграция спортивных функций в состав более широких общественных пространств с целью повышения их эффективности использования и экономической обоснованности.

Таким образом, на третьем этапе планировочных разработок формируется целостная модель пространственной организации спортивной инфраструктуры, ориентированная на специфику городской среды и потребности ее жителей. Применение данной методики на примере города Котону может служить прототипом для других быстрорастущих городов Глобального Юга, стремящихся к созданию сбалансированной, устойчивой и здоровой городской среды.

Выводы

Проведенное исследование, посвященное анализу формирования инфраструктуры массового спорта в условиях развивающихся городов на примере Котону — экономической столицы Республики Бенин, позволило выработать целостный подход к проектированию спортивных объектов в контексте устойчивого и инклюзивного градостроительного развития. Полученные результаты подтверждают высокую степень взаимозависимости между природно-климатическими, демографическими, социокультурными и пространственно-градостроительными характеристиками городской среды и возможностями интеграции массового спорта в структуру повседневной жизни населения.

На первом этапе исследования были выявлены ключевые факторы, определяющие специфику урбанистического контекста Котону: тропический климат с высокой температурой и влажностью, низменный геоморфологический рельеф с прибрежной эрозией, возрастная структура населения с преобладанием молодежи, а также высокая плотность и фрагментарность застройки. Эти параметры формируют уникальные предпосылки и ограничения при проектировании спортивной инфраструктуры, требуя адаптации проектных решений к мест-

ным условиям через использование климатически устойчивых технологий, влагостойких и мобильных конструкций, природных форм затенения и адаптивных архитектурных решений.

На втором этапе была осуществлена комплексная оценка градостроительного потенциала территории, включающая инвентаризацию существующих спортивных объектов, анализ условий землепользования, выявление пространственных резервов и определение приоритетных зон для размещения спортивной инфраструктуры различных типов. Исследование выявило острый территориальный дисбаланс в обеспеченности населения спортивными объектами, особенно в густонаселенных жилых районах. В результате определены перспективные направления для интеграции спортивной инфраструктуры в городскую ткань: прибрежные зоны, школьные территории, парки и дворовые пространства, обладающие потенциалом к трансформации в доступные, многофункциональные и инклюзивные спортивные пространства.

На третьем этапе были сформулированы принципы пространственного планирования, направленные на реализацию концепции «здорового города», предложены сценарии интеграции спортивных объектов в различные типы городских территорий с учетом морфологических, институциональных

и социокультурных условий. Эти сценарии ориентированы на постепенное наращивание спортивного потенциала городской среды, вовлечение местных сообществ в процессы проектирования и эксплуатации, а также формирование устойчивых практик здорового образа жизни.

Результаты исследования планируется внедрить в работу исполнительной власти города Котону, ответственной за формирование комфортной городской среды. Разработанная отраслевая схема размещения объектов инфраструктуры на территории города позволит улучшить условия доступа населения к объектам спорта и способствовать внедрению принципов здорового города в городскую политику.

Таким образом, разработанная методология планирования спортивной инфраструктуры, апробированная на примере города Котону, демонстрирует возможность создания функционально насыщенной, социально ориентированной и экологически устойчивой городской среды в условиях развивающихся городов Глобального Юга. Полученные выводы могут быть использованы как основа для адаптации концепции «здорового города» к реалиям урбанистического развития в странах с аналогичными социально-экономическими и климатическими условиями.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Battaglia S., Cognigni M., Vettori M.P. Resilient Design for Outdoor Sports Infrastructure // Int. Conf. on Technological Imagination in the Green and Digital Transition. Cham : Springer, 2022. Pp. 659–667. DOI: 10.1007/978-3-031-29515-7_59
2. Lefèvre L. La valorisation du sport dans les espaces urbains métropolitains // Ministère des Sports de la France. Note d'analyse. 2018. No. 13.
3. David A.C. et al. The contribution of sports events and the redevelopment of sports facilities in Benin: Climatic diversity and economic challenges in the city of Cotonou // Int. J. of Academic Research and Development. 2020. Pp. 67–73.
4. Cervero R., Kockelman K. Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design // Transportation Research Part D: Transport and Environment. 1997. Vol. 2. No. 3. Pp. 199–219.
5. Gehl J. Cities for People. Washington DC : Island Press, 2010. 143 p.
6. Dovey K., Pafka E. The science of urban design? // Urban Design International. 2016. Vol. 21. Pp. 1–10. DOI: 10.1057/udi.2015.28
7. Andrews D.L. Assessing the sociology of sport: On the hopes and fears for the sociology of sport in the US // International Review for the Sociology of Sport. 2015. Vol. 50. No. 4, 5. Pp. 368–374. DOI: 10.1177/1012690214543125
8. Wang Y. Activation Strategies in Regeneration of Large Sports Block in High-Density Urban Area : dis. University of Hawai'i at Manoa. 2023.
9. Hajer M., Reijndorp A. In Search of New Public Domain. Rotterdam : NAi, 2001.
10. Zhang L. et al. AI-driven Dynamic Allocation of Urban Sports Facilities // Nature Urban Sustainability. 2022. Vol. 2. No. 1. 15 p.
11. Ojo A., Dzisi S. Appropriate Digital Solutions for African Sport Facilities // Journal of African Urban Planning. 2022. Vol. 7. No. 2. Pp. 45–63.
12. UN-Habitat. World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization. 2020.
13. Climats du monde. Cotonou (Benin). Température, précipitations, условия погоды, когда лучше посещать. URL: <https://www.climatsetvoyages.com/climat/benin/cotonou> (дата обращения: 09.01.2023).
14. Ministère de la Décentralisation et de la Gouvernance Locale. Plan de développement communal de Cotonou (Deuxième Génération 2018–2022). 2017. 276 p.

15. Walsh D., Morales H.R. The World Is Becoming More African // The New York Times. URL: <https://www.nytimes.com/interactive/2023/10/28/world/africa/africa-youth-population.html> (дата обращения: 20.01.2024).
16. Worldometer Benin Population (1950–2025). URL: <https://www.worldometers.info/world-population/benin-population/> (дата обращения: 09.01.2023).
17. Дегбегнон К.М., Илюшина Т.В., Дегбеньон О.П.А. Особенности зонирования земель населенных пунктов Республики Бенин с учетом процессов затопления, подтопления и береговой абразии территорий // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2019. Т. 63. № 1. С. 90–98. DOI: 10.30533/0536-101X-2019-63-1-90-98. EDN YYFBCP.
18. Казнинху А.А. Формирование городской жилой застройки в условиях Бенина с учетом задач устойчивого развития // Вестн. гражданских инженеров. 2019. № 5. С. 18–26. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-5-18-26
19. СП 42.13330.2016. Планировка и застройка городских и сельских поселений : введ. 01.07.2021.
20. Об утверждении методических рекомендаций... : Приказ Минспорта РФ от 21.03.2018 № 244 (ред. от 31.10.2018). URL: <http://docs.cntd.ru/document/557245385>
21. Аль Дарф Б. Архитектурное формирование физкультурно-спортивных сооружений в городах Сирии (г. Алеппо) : дис. ... канд. арх. Нижний Новгород : ННГАСУ, 2023. Т. 1. С. 318.
22. Hoekman R., Breedveld K., Kraaykamp G. A landscape of sport facilities in the Netherlands // Int. J. of Sport Policy and Politics. 2016. Vol. 8. No. 2. Pp. 305–320. DOI: 10.1080/19406940.2015.1099556
23. Лазарев Е.А., Вальтеран Т.Л. Особенности физкультурно-спортивной инфраструктуры крупного города (на примере Новосибирска) // Творчество и современность. 2019. № 2 (10). С. 61–70.
24. Зарубская Е.О. Формирование архитектурной типологии центров уличного спорта в ХМАО — Югре : дис. ... канд. арх. СПб., 2021. 296 с.
25. Public Projects, The Urban Sport Zone by City of Amsterdam. 2020. URL: <https://landezine-award.com/the-urban-sport-zone> (дата обращения: 12.01.2025).
26. Зобова М.Г. Принципы архитектурно-градостроительного проектирования и модернизации физкультурно-спортивных комплексов (на примере городского округа Самара). Нижний Новгород : ННГАСУ, 2009. 223 с.
27. Пивнева В.А. Принципы размещения спортивных сооружений в структуре города // XXIV Регион. конф. молодых ученых Волгоградской обл. 2020. С. 278–279.

Об авторах: **Нина Васильевна Данилина** — д-р техн. наук, доцент, член-корреспондент РААСН, зав. кафедрой градостроительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ResearcherID: AAE-7301-2020, ScopusAuthorID: 57192377385, РИНЦ ID: 686739; e-mail: Danilinanv@mgsu.ru;

Татча Пьер Консак — аспирант кафедры Градостроительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; e-mail: pierreconsaka@gmail.com.

REFERENCES

1. Battaglia S., Cognigni M., Vettori M.P. Resilient Design for Outdoor Sports Infrastructure. *International Conference on Technological Imagination in the Green and Digital Transition*. Cham, Springer International Publishing, 2022; 659-667.
2. Laurence Lefèvre. Promoting sport in metropolitan urban spaces. *French Ministry of Sports Analysis*. 2018; 13.
3. David A.C. et al. The contribution of sports events and the redevelopment of sports facilities in Benin: Climatic diversity and economic challenges in the city of Cotonou. *International Journal of Academic Research and Development*. 2020; 67-73.
4. Cervero R., Kockelman K. Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. *Transportation research part D: Transport and environment*. 1997; 2(3):199-219.
5. Gehl J. *Cities for People*. Washington DC, Island Press, 2010; 143.
6. Dovey K., Pafka E. The science of urban design? *Urban Design International*. 2016; 21:1-10. DOI: 10.1057/udi.2015.28
7. Andrews D.L. Assessing the sociology of sport: On the hopes and fears for the sociology of sport in the US. *International Review for the Sociology of Sport*. 2015; 50(4-5):368-374. DOI: 10.1177/1012690214543125
8. Wang Y. *Activation Strategies in Regeneration of Large Sports Block in High-Density Urban Area : dis. University of Hawai'i at Manoa*. 2023.

9. Hajer M., Reijndorp A. *In search of new public domain*. Rotterdam, NAI, 2001.
10. Zhang L. et al. AI-driven Dynamic Allocation of Urban Sports Facilities. *Nature Urban Sustainability*. 2022; 2(1):15.
11. Ojo A., Dzisi S. Appropriate Digital Solutions for African Sport Facilities. *Journal of African Urban Planning*. 2022; 7(2):45-63.
12. UN-Habitat. *World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization*. 2020.
13. World Climate Cotonou (Benin). *Temperature, expectations, weather conditions, best time to visit*. URL: <https://www.climatsetvoyages.com/climat/benin/cotonou> (access date: 09.01.2023).
14. Ministry of Decentralization and Local Governance, Department of the Common Coast of Cotonou Municipal Development Plan (Second Generation 2018–2022). 2017; 276.
15. Walsh D., Morales H.R. The World Is Becoming More African. *The New York Times*. URL: <https://www.nytimes.com/interactive/2023/10/28/world/africa/africa-youth-population.html> (access date: 20.01.2024).
16. Worldometer Benin Population (1950–2025). URL: <https://www.worldometers.info/world-population/benin-population/> (access date: 09.01.2023).
17. Degbegnon K.M., Ilyushina T.V., Degbenyon O.P.A. Features of zoning of lands of settlements of the Republic of Benin taking into account the processes of flooding, under flooding and coastal abrasion of territories. *News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography*. 2019; 63(1):90-98. DOI: 10.30533/0536-101X-2019-63-1-90-98. EDN YYFBCP. (rus.).
18. Kagninhu A.A. Formation of urban residential development in the conditions of Benin taking into account the tasks of sustainable development. *Bulletin of civil engineers*. 2019; 5:18-26. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-5-18-26 (rus.).
19. SP 42.13330.2016. Planning and development of urban and rural settlements : Effective date 2021-07-01. (rus.).
20. On approval of methodological recommendations on the application of standards and norms in determining the needs of constituent entities of the Russian Federation for physical culture and sports facilities : Order of the Ministry of Sports of the Russian Federation of March 21, 2018 No. 244 (as amended on October 31, 2018). URL: <http://docs.cntd.ru/document/557245385>, free. (rus.).
21. Al Darf Bushra. *Architectural formation of physical education and sports facilities in the cities of Syria (the city of Aleppo) : dissertation for the degree of candidate of architecture*. Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russia, 2023; 1:318. (rus.).
22. Hoekman R., Breedveld K., Kraaykamp G. A landscape of sport facilities in the Netherlands. *International Journal of Sport Policy and Politics*. 2016; 8(2):305-320. DOI: 10.1080/19406940.2015.1099556
23. Lazarev E.A., Valteran T.L. Features of the physical education and sports infrastructure of a large city (on the example of Novosibirsk). *Creativity and Modernity*. 2019; 2(10):61-70. (rus.).
24. Zarubskaya E.O. *Formation of an architectural typology of street sports centers in the conditions of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra : dissertation for the degree of candidate of architecture*. St. Petersburg, 2021; 296. (rus.).
25. *Public Projects, The Urban Sport Zone by City of Amsterdam*. 2020. URL: https://landezine-award.com/the-urban-sport-zone/?utm_source=chatgpt.com (access date: 12.01.2025).
26. Zobova M.G. *Principles of architectural and urban planning design and modernization of physical education and sports complexes (using the Samara urban district as an example)*. Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, 2009; 223. (rus.).
27. Pivneva V.A. Principles of placement of sports facilities in the city structure. *XXIV Regional Conference of Young Scientists and Researchers of the Volgograd Region*. 2020; 278-279. (rus.).

About the authors: **Nina V. Danilina** — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor Corresponding Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Head of the Department of Urban Planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ResearcherID: AAE-7301-2020, ScopusAuthorID: 57192377385, ID RSCI: 686739; e-mail: Danilinanv@mgsu.ru;

Pierre T. Konsaka — Postgraduate student of the Department of Urban Planning, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: pierrekonsaka@gmail.com.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЫЛИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ

Виктория Борисовна Петропавловская¹, Евгения Владимировна Ткач²,
Татьяна Борисовна Новиченкова¹, Юлия Сергеевна Филимонова³

¹ Тверской государственный технический университет (ТвГТУ); г. Тверь, Российская Федерация;

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

³ Московский политехнический университет (МПУ); г. Москва, Российская Федерация

Нынешнее состояние окружающей среды, загрязненность атмосферы отходящим теплом и парниковыми газами, а водоемов и почв многочисленными отходами, в том числе — строительной отрасли, и в то же время — нарастание необходимости снижения материалоемкости строительного комплекса требуют поиска путей решения этих проблем. Для этого необходимо разрабатывать новейшие способы их улавливания, разделения на отдельные вещества, переводить непосредственно в зоне их образования в утилизируемое состояние, разрабатывать новые технологии, рассматривающие отходы в качестве сырьевого источника. Превращение отхода во вторичный материальный ресурс способствует росту его привлекательности на рынке и повышению цены. Положительный опыт вовлечения отхода в промышленное применение, тиражируемый производствами, демонстрирует его ценность как ресурсного источника и мотивирует его широкое и эффективное использование. Так, промышленные пыли уже не одно десятилетие являются важными компонентами многих технологических систем. В строительных технологиях успешно применяют микрокремнезем — пылевидный отход ферросплавного производства, микрокальциты и другие минеральные порошковидные пыли от пиления горных пород и минералов и т.д. В данной работе в целях экономии природных ресурсов при получении строительных материалов, а также расходов энергии и топлива предлагается широко вовлекать промышленные пыли строительных производств в технологии изготовления цементных растворов и бетонов. Они могут рассматриваться как высокодисперсные наполнители, улучшающие структуру и свойства материалов. При этом улавливание промышленной пыли позволяет улучшить экологические показатели самих строительных производств и окружающей среды вокруг них, снижая нагрузку на биосферу.

Ключевые слова: промышленное пылеудаление, отход, пыль, цемент, пластификатор, прочность, плотность, водопотребность, мелкозернистый бетон

Для цитирования: Петропавловская В.Б., Ткач Е.В., Новиченкова Т.Б., Филимонова Ю.С. Применение промышленной пыли в производстве цементных бетонов и растворов // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 2. С. 72–80. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.2.72-80

APPLICATION OF INDUSTRIAL DUST IN THE PRODUCTION OF CEMENT CONCRETE AND MORTAR

Victoria B. Petropavlovskaya¹, Evgeniya V. Tkach²,
Tatyana B. Novichenkova¹, Yulia S. Filimonova³

¹ Tver State Technical University (TvSTU); Tver, Russian Federation;

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

³ Moscow Polytechnic University (MPU); Moscow, Russian Federation

The current state of the environment, pollution of the atmosphere with waste heat and greenhouse gases, and water bodies and soils with numerous wastes, including those from the construction industry, and at the same time the growing need to reduce the material intensity of the construction complex require finding ways to solve these problems. To solve them, it is necessary to develop new cutting-edge methods of capturing them, separating them into individual substances, converting them directly into a recyclable state in the area of their formation, and developing new technologies that consider waste as a raw material source. The transformation of waste into a secondary material resource contributes to the growth of its attractiveness in the market and an increase in price. The positive experience of involving waste in industrial use, replicated by industries, demonstrates its value as a resource source and motivates its wide and effective use. Thus, industrial dusts have been important components of many technological systems for decades.

Microsilica, a dusty waste of ferroalloy production, microcalcites and other mineral powder dusts from sawing rocks and minerals, etc. are successfully used in construction technologies. In this work, in order to save natural resources in obtaining construction materials, as well as energy and fuel costs, it is proposed to widely involve industrial dusts of construction production in the technologies of manufacturing cement mortars and concrete. They can be considered as highly dispersed fillers that improve the structure and properties of materials. At the same time, the capture of industrial dust allows improving the environmental performance of the construction industries themselves and the environment around them, reducing the load on the biosphere.

Keywords: dust removal, waste, dust, cement, plasticizer, strength, density, water requirement, concrete

For citation: Petropavlovskaya V.B., Tkach E.V., Novichenkova T.B., Filimonova Yu.S. Application of industrial dust in the production of cement concrete and mortar. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2025; 2:72-80. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.2.72-80 (rus.).

Введение

Промышленная пыль производства минеральной ваты относится к классу отходов, не претерпевающих изменений исходных свойств в процессе их использования и переработки. Следовательно, она может быть успешно применена во многих производствах, в первую очередь — в производстве строительной продукции, которая нуждается в больших объемах ресурсов [1, 2].

При производстве базальтовых волокон порода проходит процессы дробления, мойки и сушки, далее под воздействием высоких температур расплавляется и преобразуется в непрерывные волокна без примесей и добавок. В ходе производства волокон специальными установками улавливается дисперсная базальтовая пыль, для которой на данный момент не нашли путей применения [3–5]. Базальтовые волокна обладают такими свойствами, как высокая химическая и биологическая стойкость, экологическая безопасность, а также повышенными механическими характеристиками [6–8]. А значит, такими же свойствами будет обладать и промышленная пыль. Это обеспечивает ей возможность эффективного применения в качестве дисперсного армирующего компонента в производстве сухих смесей, растворов и бетонов.

При производстве базальтовых волокон большое количество образующейся промышленной пыли требует значительных расходов на транспортировку, утилизацию и хранение, эти факторы снижают эффективность и прибыльность основного производства [9–12], как и в целом по стране — количество отходов промышленности устойчиво растет, что, в свою очередь, несет за собой проблему накопления больших объемов отхода, требующую немедленного решения [13–15].

Материалы и методы

В работе в качестве основного материала использовался цемент Старооскольского цементного завода Белгородской области «ОСКОЛЦЕМЕНТ».

Цемент класса ЦЕМ I 42,5Н Старооскольского цементного завода Белгородской области «ОСКОЛЦЕМЕНТ» характеризуется нормальной густотой 29 %, началом схватывания 2 ч 25 мин,

концом схватывания — 4 часа. Тонкость помола характеризуется по ГОСТ 30744–2001 остатком на сите 008–89 %.

Гранулометрический состав цемента характеризуется максимальным и минимальным размером частиц $d(0,9) = 84,423$ мкм, $d(0,1) = 6,572$ мкм и средним размером частиц $d(0,5) = 31,984$ мкм (рис. 1).

Средний арифметический диаметр: $D(1,0) = 0,67$ мкм; средний объемный диаметр: $D(4,3) = 39,74$ мкм; средний поверхностный диаметр: $D(3,2) = 11,22$ мкм.

Основные показатели цемента ЦЕМ I 42,5Н Старооскольского цементного завода приведены в табл. 1.

В качестве мелкого заполнителя в составе рабочих смесей был использован песок Красногорского песчаного карьера, характеризующийся модулем крупности — 1,8. Основные характеристики песка приведены в табл. 2.

В исследованиях для проведения экспериментов был использован отход пылеудаления предприятия «Рагос» Тверской области.

Продукт очистки отходящих дымовых газов от вагранки при получении расплава является отходом и удаляется в отдельные приемники (рис. 2). Сбор и переработка этих отходов экономически выгодны.

Химический состав порошков отхода базальтового производства предприятия «Рагос» приведен в табл. 3.

Гранулометрический состав базальта характеризуется максимальным и минимальным размером частиц $d(0,9) = 331,917$ мкм, $d(0,1) = 7,785$ мкм и средним размером частиц $d(0,5) = 88,926$ мкм, представлен на рис. 2.

Средний арифметический диаметр: $D(1,0) = 3,01$ мкм; средний объемный диаметр: $D(4,3) = 131,99$ мкм; средний поверхностный диаметр: $D(3,2) = 21,77$ мкм (рис. 3).

Средний арифметический диаметр: $D(1,0) = 3,01$ мкм; средний объемный диаметр: $D(4,3) = 131,99$ мкм; средний поверхностный диаметр: $D(3,2) = 21,77$ мкм.

Продукт очистки отходящих дымовых газов в производстве базальтового волокна имеет плотность $0,500$ кг/м³.

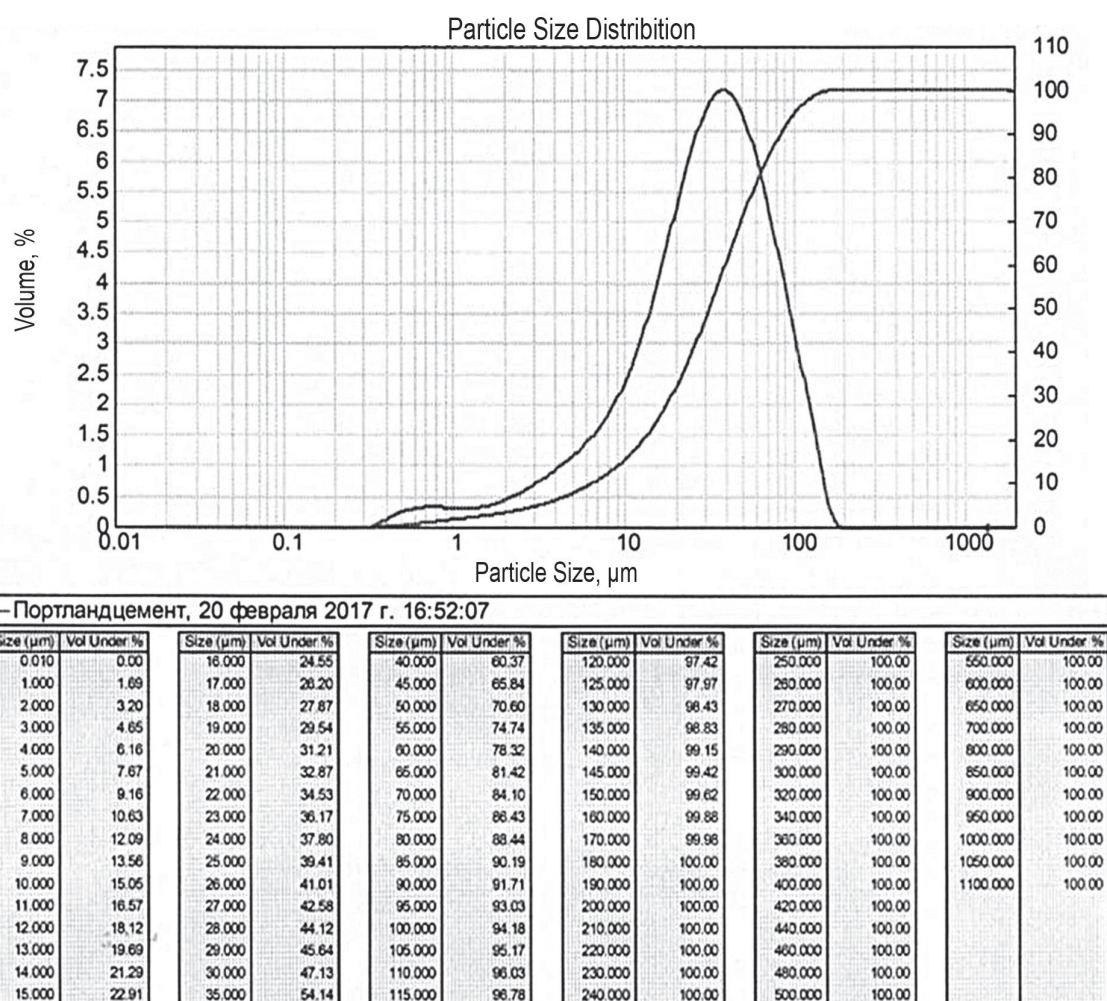


Рис. 1. Гранулометрический анализ цемента ЦЕМ I 42,5Н

Таблица 1. Основные показатели цемента ЦЕМ I 42,5Н

Наименование показателей	Единица измерения	ГОСТ 10178–85	Фактические показатели
1	2	3	4
Физические показатели по ГОСТ 31108–2016, ГОСТ 30515–2013			
Тонкость помола по остатку на сите (№ 008)	%	Не менее 85	89
Нормальная густота цементного теста	%	—	29
Сроки схватывания (начало схватывания)	ч/мин	Не ранее 45	2 ч 25 мин
Сроки схватывания (конец схватывания)	ч/мин	Не позднее 10	4 ч
Расплыв конуса (при В/Ц = 0,4)	мм	106–115	109
Предел прочности по ГОСТ 31108–2016, ГОСТ 30515–2013			
При изгибе в возрасте 28 сут.	МПа	Не менее 5,9	8,3
При сжатии в возрасте 28 сут.	МПа	Не менее 49,0	55,7

В целях увеличения содержания воздуха и получения высокой связности и устойчивости к расслоению бетонной смеси в исследованиях использовалась добавка «Линамикс Р».

«Линамикс Р» — это пластифицирующая воздухововлекающая добавка с длительной сохраняемостью удобоукладываемости. По своим потреби-

тельским свойствам добавка «Линамикс Р» отвечает требованиям к добавкам, увеличивающим воздухововлечение по ГОСТ 24211. Добавка «Линамикс Р» представляет собой смесь модифицированного лигносульфоната натрия и воздухововлекающего компонента. Добавка «Линамикс Р» представляет собой водный раствор коричневого цвета с плот-

Таблица 2. Основные показатели песка Красногорского песчаного карьера

Наименование показателей	ГОСТ 8736–93	Фактические показатели
Зерновой состав	Полные остатки, %	Полные остатки, %
2,5	–	1,3
1,25	–	2,9
0,63	10–30	16,8
0,315	–	65,9
0,14	–	94,0
< 0,14	–	100
Модуль крупности	1,5–2,0 (мелкий)	1,8
Содержание глины в комках, %	Не более 0,35	Нет
Насыпная плотность, г/м ³	–	1575
Истинная плотность, г/м ³	–	2630
Пылевидные и глинистые частицы, %	Не более 3	1
Пустотность, %	–	45



Рис. 2. Продукт очистки отходящих дымовых газов предприятия «Рагос»

Таблица 3. Химический состав промышленной пыли

CO ₂	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CO ₂
1,45	1,58	9,06	12,14	52,67	0,65	0,57	13,92	1,10	6,87	1,45

ность не менее 1,13 г/см³ и pH не менее 4,5. Рекомендуемый диапазон дозировок добавки составляет 0,3–0,9 по товарному продукту от массы вяжущего.

В целях увеличения содержания воздуха, улучшения технологических свойств бетонной смеси (однородности, удобоукладываемости, нерасслаиваемости), снижения расхода цемента (до 20 % по паспорту) использовалась добавка «ПФМ-НКЛ». «ПФМ-НКЛ» — это полифункциональная воздухововлекающая добавка — суперпластификатор на основе смеси натриевых солей полиметиленафталинсульфокислот различной молекулярной массы с добавлением воздухововлекающего и гидрофобизирующего компонента. По своим потребительским свойствам добавка «ПФМ-НКЛ» отвечает требова-

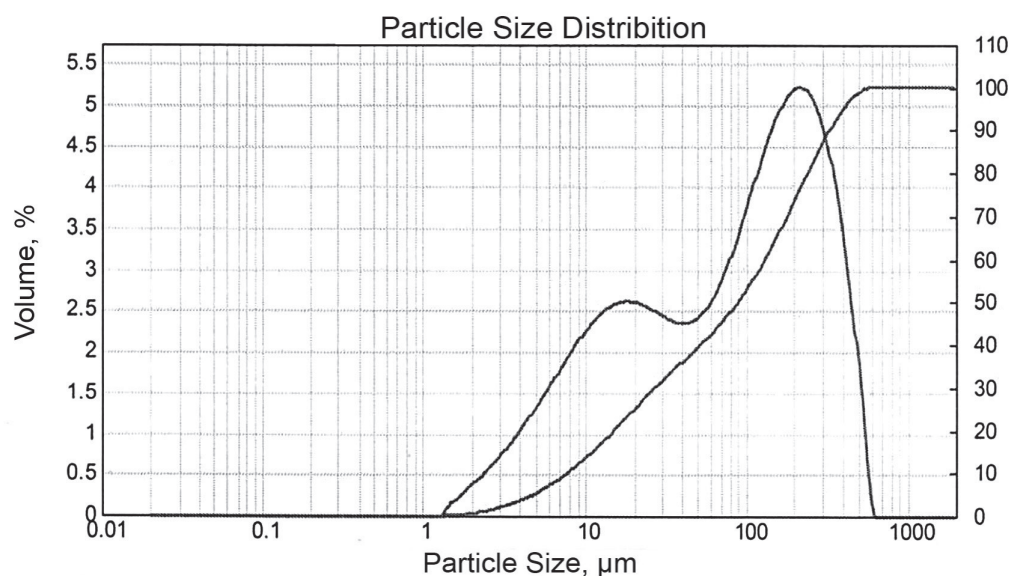
ниям к добавкам, увеличивающим воздухоудерживание по ГОСТ 24211.

Добавка «ПФМ-НКЛ» представляет собой порошок коричневого цвета с pH не более 11. Рекомендуемый диапазон дозировок добавки составляет 0,4–0,8 по товарному продукту от массы вяжущего.

Методы

Экспериментальные исследования проводились в лабораториях кафедры производства строительных изделий и конструкций Тверского государственного технического университета. Выбор методов и методик проводимых исследований определялся поставленной задачей и программой исследований.

Для определения водопотребности цемента и пластифицирующего эффекта использовалась стандарт-



— Базальт, 20 февраля 2017 г. 17:06:12

Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %
0.010	0.00	16.000	20.95	40.000	35.97	120.000	57.46	250.000	81.05	550.000	99.89				
1.000	0.00	17.000	21.98	45.000	37.77	125.000	58.60	260.000	82.36	600.000	100.00				
2.000	0.54	18.000	22.96	50.000	39.42	130.000	59.72	270.000	83.60	650.000	100.00				
3.000	1.96	19.000	23.89	55.000	40.94	135.000	60.83	280.000	84.79	700.000	100.00				
4.000	3.60	20.000	24.76	60.000	42.39	140.000	61.92	290.000	85.91	800.000	100.00				
5.000	5.32	21.000	25.59	65.000	43.78	145.000	62.98	300.000	86.97	850.000	100.00				
6.000	7.03	22.000	26.38	70.000	45.12	150.000	64.03	320.000	88.93	900.000	100.00				
7.000	8.71	23.000	27.13	75.000	46.44	160.000	66.07	340.000	90.68	950.000	100.00				
8.000	10.35	24.000	27.84	80.000	47.74	170.000	68.04	360.000	92.24	1000.000	100.00				
9.000	11.92	25.000	28.52	85.000	49.01	180.000	69.93	380.000	93.62	1050.000	100.00				
10.000	13.42	26.000	29.17	90.000	50.27	190.000	71.74	400.000	94.83	1100.000	100.00				
11.000	14.85	27.000	29.79	95.000	51.51	200.000	73.47	420.000	95.89						
12.000	16.20	28.000	30.38	100.000	52.73	210.000	75.13	440.000	96.80						
13.000	17.49	29.000	30.94	105.000	53.94	220.000	76.72	460.000	97.57						
14.000	18.71	30.000	31.49	110.000	55.13	230.000	78.23	480.000	98.22						
15.000	19.86	35.000	33.91	115.000	56.30	240.000	79.68	500.000	98.76						

Оператор: 16 % остаток на сетке с размером ячейки 0,315 мм

Рис. 3. Результаты гранулометрического анализа промышленной пыли

ная методика определения расплыва цементного теста на встряхивающем столике по ГОСТ 30744 «Цементы. Методы испытаний».

Влияние отхода на сроки схватывания цементного теста также определялось по стандартной методике на приборе Вика по ГОСТ 30744 «Цементы. Методы испытаний».

Плотность и прочность мелкозернистого бетона с добавкой отхода пылеудаления базальтового волокна согласно рис. 4 определялась на образцах $70 \times 70 \times 70$ мм по стандартным методикам ГОСТ 10180 «Бетоны. Методы испытаний».

С целью изучения физико-механических характеристик, отражающих структурные свойства, формировали образцы литьевым способом. Твердение модифицированных бетонных образцов осуществлялось при нормальной температуре и влажности. Предел прочности при сжатии, среднюю плотность, водопоглощение определяли по стандартным методикам как среднее из шести образцов результатов испытания.

Результаты

Результаты совместного влияния промышленной пыли и В/Ц отношения на прочность и плотность бетона на 14-е сутки твердения приведены на рис. 5, 6.

Анализ полученных результатов показал, что наибольшая прочность характерна для бездобавочных образцов. Однако при увеличении водотвердого отношения от 0,4 до 0,5 прочность образцов с добавкой пыли 7,5 % идентична прочности бездобавочного бетона. Наименьшая прочность характерна для образцов с содержанием добавки в количестве 15 % при В/Ц = 0,5.

Зависимость средней плотности от совместного влияния промышленной пыли и В/Ц подобна зависимости прочности. Однако изменение плотности образцов с различным содержанием добавки промышленной пыли имеет разный характер (рис. 6). В случае содержания промышленной пыли в количестве 7,5 % — плотность монотонно повышается, тогда как в случае содержания ее в количестве 15 % — монотонно убывает. В случае бездобавоч-

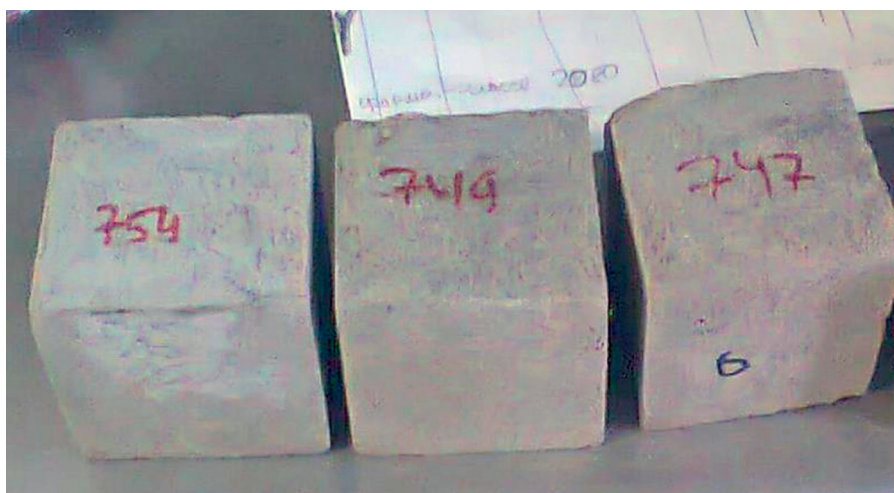


Рис. 4. Формование бетонных образцов с отходом промышленности

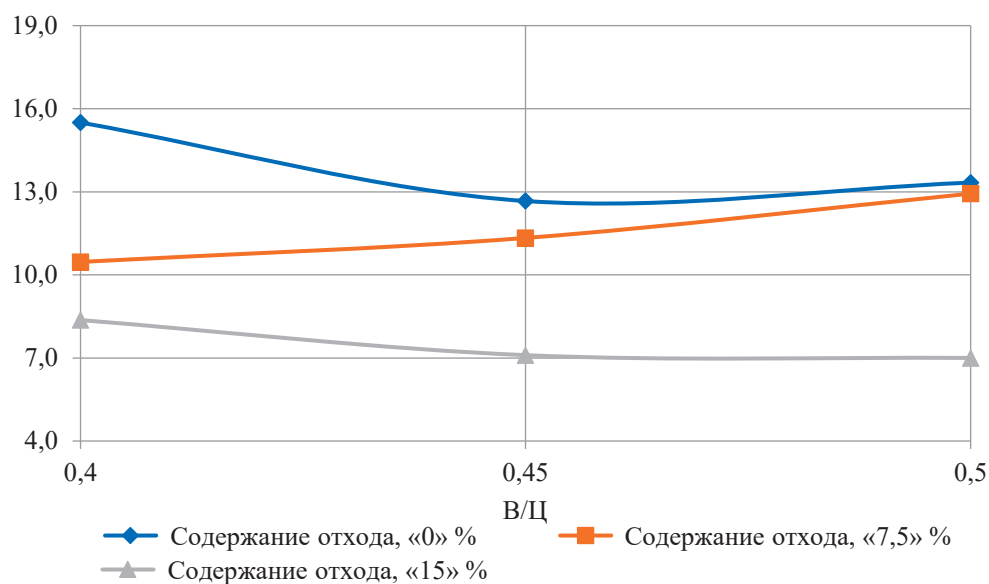


Рис. 5. Влияние отхода (промышленной пыли) и В/Ц на прочность бетона в возрасте 14 сут.

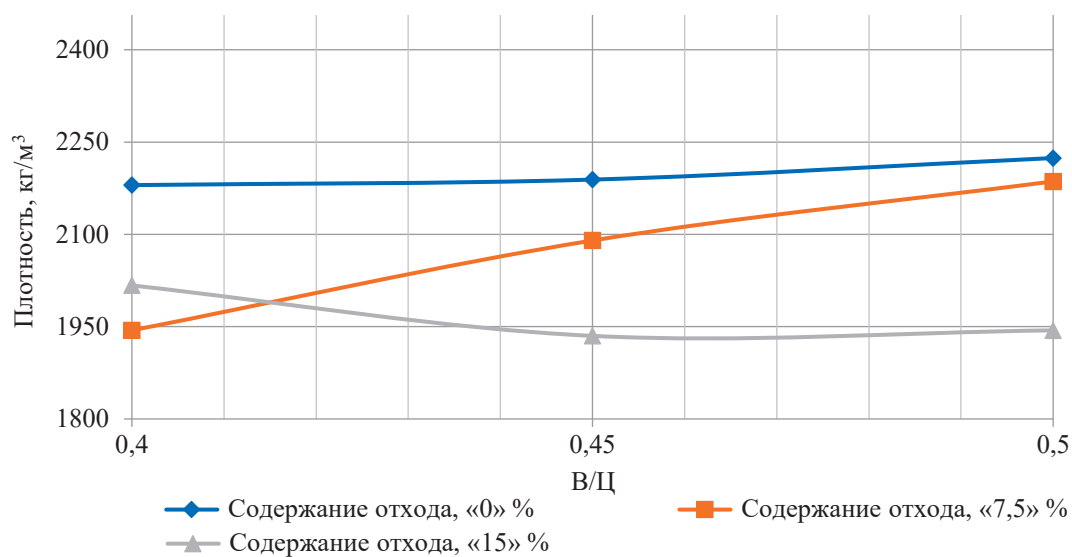


Рис. 6. Влияние количества отхода (промышленной пыли) и В/Ц на плотность бетона в возрасте 14 сут.

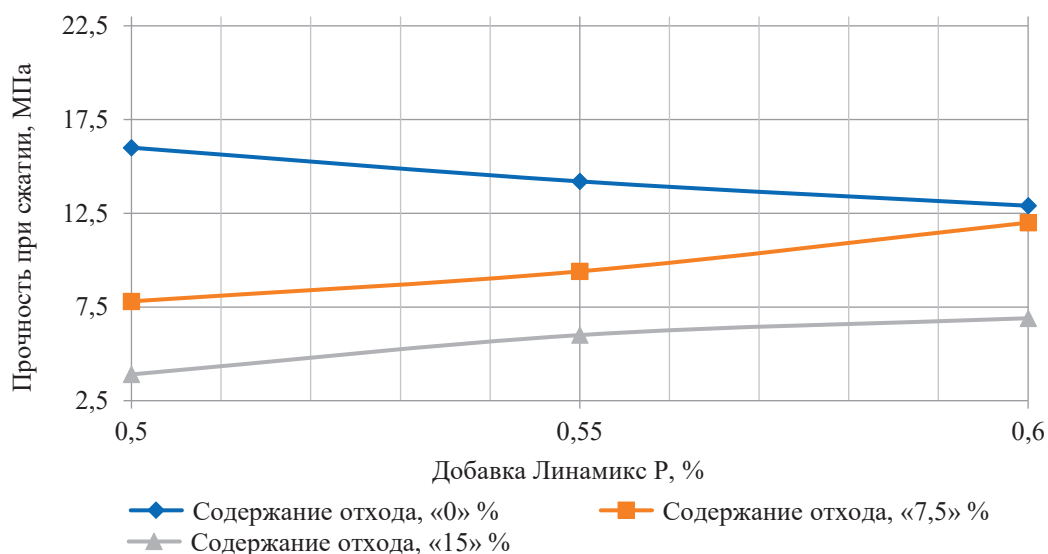


Рис. 7. Влияние отхода (промышленной пыли) и добавки Линамикс на прочность бетона в возрасте 14 сут.

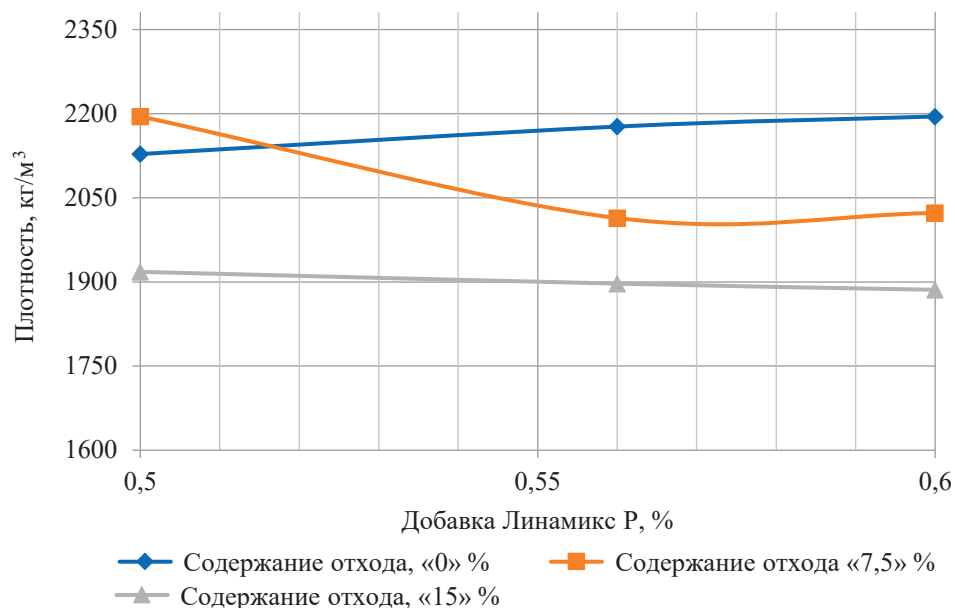


Рис. 8. Влияние отхода (промышленной пыли) и добавки Линамикс на плотность бетона в возрасте 14 сут.

ных составов — плотность практически не меняется для всех исследованных В/Ц.

Изменение плотности подобно характеру изменения прочности. Лимитирующим фактором, определяющим плотность бетона, является водопотребность.

Поэтому на следующем этапе была изучена возможность снижения водопотребности путем применения пластификатора (рис. 7, 8). Исследования подтвердили преимущество для данных систем добавки Линамикс Р, показавшей наибольшую эффективность среди исследуемых добавок-пластификаторов. При сочетании промышленной пыли с пластификатором Линамикс Р повышается величина рациональной дозы пыли до 7,5 %. Оптимальное содержание пластификатора Линамикс Р составило 0,6 %.

Закключение

Проведенные исследования показали, что вовлечение отхода промышленной пыли в производство бетонов и растворов возможно. Снижение прочности бетона на 15 % в сравнении с бездобавочными составами может быть нивелировано использованием химических добавок, обладающих высоким редуцирующим эффектом.

Таким образом, доказано, что промышленная пыль является важным техногенным сырьевым вторичным материальным ресурсом, который может успешно применяться в производстве строительной продукции, обеспечивая замену природных компонентов на техногенное сырье с высоким потенциалом в области цементного и бетонного производства с высокими эксплуатационными свойствами.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Завадько М.Ю., Петропавловская В.Б. Использование пылевидных отходов базальтового производства в качестве армирующей добавки в гипсовых композитах гидратационного твердения // Современные проблемы строительной науки : сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. 2017. С. 152–158.
2. Неверова А.С. Газобетон на основе отходов кремнедробления // Архитектура, строительство, транспорт : сб. мат. Междунар. науч.-практ. конф. (к 85-летию ФГБОУ ВПО «СибАДИ»). 2015. С. 535–539.
3. Кондратьев В.В., Иванчик Н.Н., Петровская В.Н., Немаров А.А., Карлина А.И. Переработка и применение мелкодисперсных отходов кремниевого производства в строительстве // Олон Улсын Бетоны XIV БАГА ХУРАЛ : сб. мат. Междунар. строит. симпозиума. 2015. С. 105–114.
4. Аблесимов Н.Е., Малова Ю.Г. Каменное (базальтовое) волокно: исследования и научные школы // Научное обозрение. Технические науки. 2016. № 6. С. 5–9.
5. Защепкина К.А. Перспективы применения материалов с добавлением базальтовых волокон и базальтового ровинга // Наукові нотатки. 2014. № 45. С. 215–219.
6. Бабаев В.Б. Базальтовое волокно как компонент для микроармирования цементных композитов // Вестник Белгородского государственного университета имени В.Г. Шухова: БГТУ. 2012. № 4. С. 58–61.
7. Секерин В.Д., Горохова А.Е., Новикова Е.Н. Отходы базальтового волокна — в доходы // Экономика и предпринимательство. 2016. № 8 (73). С. 417–419.
8. Цховребов Э.С., Калаева С.З., Петропавловская В.Б., Ниязгулов Ф.Х. Концептуальное моделирование системы прогнозирования вызванных опасными отходами чрезвычайных ситуаций // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 4 (47). С. 702–715.
9. Королева Л.А., Филиппова О.П., Петропавловская В.Б., Цховребов Э.С. Об актуальных аспектах строительства объектов обращения отходов: экономика, экология и предупреждение чрезвычайных ситуаций // Экономика строительства. 2024. № 5. С. 401–405.
10. Баженов Ю.М. Технология бетона. М. : Изд-во АСВ, 2011. 528 с.
11. Урханова Л.А., Лхасаранов С.А., Иванов А.А. Оптимизация состава гидротехнического бетона с применением композиционных вяжущих // Техника и технология силикатов. 2023. Т. 30. № 4. С. 350–356.
12. Филимонова Ю.С., Величко Е.Г. Исследование комплексной модификации тяжелого бетона // Строительство и реконструкция. 2021. № 4 (96). С. 107–109. DOI: 10.33979/2073-7416-2021-96-4-107-11213.
13. Ткач Е.В., Темирканов Р.И. Улучшение физико-механических свойств модифицированного бетона на основе применения химически активированного микрокремнезема с микроармирующим волокном // Строительство и реконструкция. 2020. № 2 (88). С. 123–135.
14. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Чилин И.А., Дондуков В.Г., Селютин Н. Модифицированные бетоны: реальность и перспективы // Вестник НИЦ Строительство. 2024. № 1 (40). С. 92–104.
15. Ткач Е.В., Филимонова Ю.С., Корнеев А.И. Тяжелый бетон на основе полидисперсного вяжущего с комплексным полимерным модификатором с повышенными эксплуатационными показателями // Строительство и реконструкция. 2022. № 2. С. 112–119. DOI: 10.33979/2073-7416-2022-100-2-112-119

Об авторах: **Виктория Борисовна Петропавловская** — доктор техн. наук, доцент, профессор кафедры «Производство строительных изделий и конструкций»; **Тверской государственный технический университет (ТвГТУ)**; 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22; e-mail: victoriapetrop@gmail.com;

Евгения Владимировна Ткач — доктор техн. наук, профессор, профессор кафедры «Градостроительство»; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; e-mail: ev_tkach@mail.ru;

Татьяна Борисовна Новиченкова — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Производство строительных изделий и конструкций»; **Тверской государственный технический университет (ТвГТУ)**; 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22; e-mail: tanovi.69@mail.ru;

Юлия Сергеевна Филимонова — канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленное, гражданское и подземное строительство»; **Московский политехнический университет (МПУ)**; 107023, г. Москва, ул. Большая Семеновская, д. 38; e-mail: JuliaS06@mail.ru.

REFERENCES

1. Zavadko M.Yu., Petrovpavlovskaya V.B. Use of dusty waste from basalt production as a reinforcing additive in gypsum composites of hydrotational hardening. *Modern problems of construction science : Collection of scientific papers of the international scientific and practical conference*. 2017; 152-158. (rus.).

2. Neverova A.S. Aerated concrete based on flint crushing waste. *Architecture, construction, transport : Collection materials of the International scientific and practical conference (for the 85th anniversary of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "SibADI")*. 2015; 535-539. (rus.).
3. Kondratyev V.V., Ivanchik N.N., Petrovskaya V.N., Nemarov A.A., Karlina A.I. Processing and application of fine-dispersed silicon production waste in construction. *Olon Ulsyn Concretes XIV BAGA KHURAL : Proceedings of the international construction symposium*. 2015; 105-114. (rus.).
4. Ablesimov N.E., Malova Yu.G. Stone (basalt) fiber: research and scientific schools. *Scientific review. Technical sciences*. 2016; 6:5-9. (rus.).
5. Zashchepkina K.A. Prospects for the use of materials with the addition of basalt fibers and basalt roving. *Scientific notes*. 2014; 45:215-219.
6. Babaev V.B., Strokova V.V., Nelyubova V.V. Basalt fiber as a component for micro-reinforcement of cement composites. *Bulletin of the Belgorod State University named after VG Shukhov: BSTU*. 2012; 4:58-61. (rus.).
7. Sekerin V.D., Gorokhova A.E., Novikova E.N. Basalt fiber waste — into income. *Economics and Entrepreneurship*. 2016; 8(73):417-419. (rus.).
8. Tskhovrebov E.S., Kalayeva S.Z., Petropavlovskaya V.B., Niyazgulov F.Kh. Conceptual modeling of a system for forecasting emergency situations caused by hazardous waste. *News of universities. Investments. Construction. Real estate*. 2023; 13(4(47)):702-715. (rus.).
9. Koroleva L.A., Filippova O.P., Petropavlovskaya V.B., Tskhovrebov E.S. On current aspects of the construction of waste management facilities: economics, ecology and prevention of emergency situations. *Construction Economics*. 2024; 5:401-405. (rus.).
10. Bazhenov Yu.M. *Concrete technology*. Moscow, ASV Publishing House, 2011; 528. (rus.).
11. Urkhanova L.A., Lkhasaranov S.A., Ivanov A.A. Optimization of the composition of hydraulic concrete using composite binders. *Silicate engineering and technology*. 2023; 30(4):350-356. (rus.).
12. Filimonova Yu.S., Velichko E.G. Study of complex modification of heavy concrete. *Construction and reconstruction*. 2021; 4(96):107-109. DOI: 10.33979/2073-7416-2021-96-4-107-112 (rus.).
13. Tkach E.V., Temirkanov R.I. Improving the physical and mechanical properties of modified concrete based on the use of chemically activated microsilica with micro-reinforcing fiber. *Construction and reconstruction*. 2020; 2(88):123-135. (rus.).
14. Kaprielov S.S., Sheinfeld A.V., Chilin I.A., Dondukov V.G., Selyutin N. Modified concrete: reality and prospects. *Bulletin of the Research Center of Construction*. 2024; 1(40):92-104. (rus.).
15. Tkach E.V., Filimonova Yu.S., Korneev A.I. Heavy concrete based on a polydisperse binder with a complex polymer modifier with improved performance indicators. *Construction and reconstruction*. 2022; 2:112-119. DOI: 10.33979/2073-7416-2022-100-2-112-119 (rus.).

About the authors: **Victoria B. Petropavlovskaya** — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of "Production of Building Products and Structures"; **Tver State Technical University (TvSTU)**; 22 emb. Af. Nikitina, Tver, 170026, Russian Federation; e-mail: victoriapetrop@gmail.com;

Evgeniya V. Tkach — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Urban Development; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: ev_tkach@mail.ru;

Tatyana B. Novichenkova — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Production of Building Products and Structures; **Tver State Technical University (TvSTU)**; 22 emb. Af. Nikitina, Tver, 170026, Russian Federation; e-mail: tanovi.69@mail.ru;

Yulia S. Filimonova — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial, Civil and Underground Construction; **Moscow Polytechnic University (MPU)**; 38 Bolshaya Semenovskaya st., Moscow, 107023, Russian Federation; e-mail: JuliaS06@mail.ru.

Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 2. С. 81–90.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 628.5:629.12.081.5

DOI: 10.22227/2311-1518.2025.2.81-90

ПОСЛЕДСТВИЯ ТЕХНОГЕННЫХ КАТАСТРОФ И ИХ ЛИКВИДАЦИИ

Юрий Леонидович Сколубович, Алексей Юрьевич Сколубович,
Анна Александровна Цыба

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

Техногенные катастрофы представляют собой серьезные угрозы для окружающей среды, здоровья человека и экономики. Они могут быть вызваны различными факторами, включая человеческие ошибки, технические неисправности и природные явления. В данной статье рассмотрены причины, масштабы и экологические последствия аварийных разливов нефти и нефтепродуктов, а также методы их ликвидации. Разливы нефти, сбросы химических веществ и другие формы загрязнения могут привести к гибели морских организмов, включая рыбу, моллюсков и морских млекопитающих. Например, разливы нефти могут покрывать поверхности воды, нарушая фотосинтез водорослей и приводя к кислородному голоданию в водоемах. Это, в свою очередь, может вызвать массовую гибель рыбы и других морских обитателей, что негативно скажется на рыболовстве и экосистемах. Разливы мазута представляют серьезную угрозу для морской среды. При аварии в декабре 2024 г. в Керченском проливе значительная часть мазута осела на дно, так как температура воды составляла около 10 °С. Часть нефтепродуктов была поднята на поверхность и выброшена на берег в связи со штормом. В настоящее время основные мероприятия по сбору нефтепродуктов заключаются в сборе и вывозе мазута с песком с побережья, удалении нефтепродуктов с поверхности и дна водоема. Однако в связи с повышением температуры воды через 2–3 месяца возможно образование значительного количества эмульгированных нефтепродуктов в воде, что потребует специальных водоочистных сооружений. По результатам рассмотрения вопроса составлены предложения по ликвидации последствий аварии и предотвращению загрязнения акватории.

Ключевые слова: ликвидация аварийных разливов, технология, способы ликвидации, нефтеразливы, сорбент, мазут, Керченский пролив

Для цитирования: Сколубович Ю.Л., Сколубович А.Ю., Цыба А.А. Последствия техногенных катастроф и их ликвидации // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 2. С. 81–90. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.2.81-90

CONSEQUENCES OF TECHNOGENIC DISASTERS AND THEIR ELIMINATION

Yuri L. Skolubovich, Alexey Yu. Skolubovich, Anna A. Tsyba

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

Technogenic disasters pose serious threats to the environment, human health, and the economy. They can be caused by various factors, including human error, technical malfunctions, and natural phenomena. This article examines the causes, scale, and environmental consequences of accidental oil and petroleum product spills, as well as methods for their remediation. Oil spills, chemical releases, and other forms of pollution can lead to the death of marine organisms, including fish, shellfish, and marine mammals. For example, oil spills can coat the surface of the water, disrupting algae photosynthesis and leading to oxygen depletion in water bodies. This, in turn, can cause mass die-offs of fish and other marine life, negatively impacting fisheries and ecosystems. Fuel oil spills pose a serious threat to the marine environment. During an accident in December 2024 in the Kerch Strait, a significant portion of the fuel oil settled to the bottom because the water temperature was around 10 °C. Some of the petroleum products were brought to the surface and washed ashore due to a storm. Currently, the main measures for collecting petroleum products involve collecting and removing fuel oil mixed with sand from the coast, and removing petroleum products from the surface and bottom of the water body. However, due to the increase in water temperature in 2–3 months, the formation of a significant amount of emulsified petroleum products in the water is possible, which will require specialized water treatment facilities. Based on the review of the issue, proposals have been formulated to mitigate the consequences of the accident and prevent pollution of the water area.

Keywords: elimination of emergency spills, technology, methods of elimination, oil spills, sorbent, fuel oil, Kerch Strait

For citation: Skolubovich Yu.L., Skolubovich A.Yu., Tsyba A.A. Consequences of technogenic disasters and their elimination. Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology. 2025; 2:81-90. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.2.81-90 (rus.).

Введение

Обеспечение экологической безопасности всегда было и остается актуальной проблемой с точки зрения техногенного развития. С увеличением объемов добычи, переработки и транспортировки нефти и нефтепродуктов возрастает и количество загрязнений, попадающих во все экосистемы, в том числе в водные объекты и Мировой океан. Источниками загрязнения нефтью может стать любой объект нефтяного комплекса: нефтехранилища, скважины, приемосдаточные пункты и прочее [1].

Наиболее катастрофические последствия на водные объекты оказывают аварийные разливы нефти, причинами которых могут быть столкновение танкеров, их посадки на мель, взрывы и пожары, крушение судов из-за их технического состояния и метеорологических условий. История наиболее крупных аварий, разливов нефти и нефтепродуктов берет свое начало со второй половины XX в. [2].

В 1978 г. танкер *Амосо Cadix* (рис. 1) сел на мель неподалеку от побережья Бретани (Франция). Эта была крупнейшая экологическая катастрофа за всю историю Европы. В воде оказалось 223 тыс. тонн

нефти. Загрязнение нефтью побережья Франции распространилось.

В 1979 г. произошла крупнейшая в истории авария на мексиканской нефтяной платформе *Ixtoc I* (рис. 2), в ходе которой сначала возник резкий выброс нефти из месторождения, а затем она воспламенилась и взорвалась. Буровая установка обрушилась в море, и нефть стала свободно вытекать в Мексиканский залив. В результате в Мексиканский залив вылилось до 460 тыс. тонн сырой нефти. 75 тыс. км² Мексиканского залива оказалось покрыто нефтяной пленкой — это 5 % его площади. Разлив нефти негативно повлиял на экосистему региона, погибло большое количество морских черепах Кемпа, рыб, крабов, моллюсков и других водных и полуводных видов. Из-за сильных течений в океане нефтяное загрязнение затронуло береговую линию в Мексике и даже достигло Техаса.

В 1979 г. во время тропического шторма около побережья Тринидад и Тобаго столкнулись два полностью загруженных нефтеналивных танкера *Atlantic Empress* и *Aegean Captain* в Карибском море. На первом судне находилось 275 тыс. тонн нефти,



Рис. 1. Крушение танкера *Amoco Cadiz*, побережье Бретани (Франция), 1978 г.



Рис. 2. Разлив нефти с платформы *Ixtoc I* в Мексиканском заливе, 1979 г.



Рис. 3. Разлив нефти с поврежденного танкера «Экссон Валдез» у побережья Аляски, 1989 г.

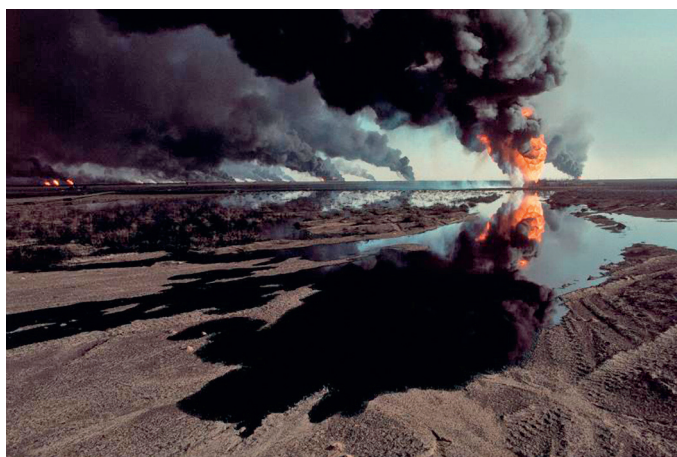


Рис. 4. Разлив нефти в Персидском заливе, 1991 г.

а на втором — 200 тыс. В результате аварии началась утечка масла, оба судна загорелись, и в Атлантический океан попало 290 тыс. тон нефти. Один из танкеров затонул.

В марте 1989 г. нефтяной танкер «Экссон Валдез» (рис. 3) американской компании Еххон сел на мель в заливе Принц Уильямс у побережья Аляски. Через образовавшуюся в судне пробоину в океан вылилось свыше 48 тыс. т нефти. В результате пострадало свыше 2,5 тыс. км² морской акватории, под угрозой исчезновения оказались 28 видов животных. Район аварии был труднодоступным, что сделало невозможным быструю реакцию служб и спасателей. В результате катастрофы в море образовалось нефтяное пятно в 28 тыс. км². Было загрязнено нефтью около двух тысяч километров береговой линии. Спустя восемнадцать лет эту территорию обследовали и выявили более двадцати галлонов черного топлива в песке. Из-за этого вдоль береговой линии все еще не восстановилась экосистема. По подсчетам уче-

ных остатки излитой нефти исчезают со скоростью четыре процента в год от оставшейся общей массы. То есть для восстановления пострадавшего района потребуется не один десяток лет.

В 1991 г. в ходе войны в Персидском заливе были открыты задвижки на нефтяных терминалах «Си-Айленд» в Кувейте и опорожнены семь крупных нефтяных танкеров, нагруженных нефтью. До 1,5 млн т нефти (различные источники приводят разные данные) вылилось в Персидский залив (рис. 4). У берегов Кувейта и Саудовской Аравии появилось огромное нефтяное пятно 162,5 км в длину и 67,6 км в ширину. Таким образом, общая площадь пятна составляла около 11 тыс. км². Пострадало более 700 км прибрежной зоны Кувейта, Ирана, Катара. Толщина нефтяной пленки в некоторых местах достигала 12,7 см [3]. Также в Кувейте было подожжено 732 нефтяных скважины.

Это привело к ужасным последствиям: около года небо было черным без доступа солнечного



Рис. 5. Крушение танкера Prestige у побережья Испании, 2002 г.

света. Загрязнение воздуха превышало норму на 900 %. Погибло несколько десятков тысяч птиц, популяция верблюдов с 20 тыс. особей снизилась до 2 тыс., погибло около 90 % ракообразных и крабов, погибли морские обитатели, пострадали прибрежные растения. Также пострадал коралловый риф, так как эти существа очень чувствительны к экологической обстановке.

В январе 2000 г. в результате катастрофы в воды бухты Гуанабара близ Рио-де-Жанейро из трубопровода в море попало более 1,3 млн л нефти, что привело к крупнейшей за всю историю мегаполиса экологической катастрофе. Бразильские биологи сравнили масштабы экологического бедствия с последствиями войны в Персидском заливе. К счастью, нефть удалось остановить. Она прошла по течению четыре срочно построенных заградительных барьера и «застряла» лишь на пятом. Часть сырья уже удалили с поверхности реки, часть разлилась по вырытым в экстренном порядке специальным отводным каналам. Оставшиеся же 80 тыс. галлонов из миллиона (4 млн литров), попавших в водоем, рабочие вычерпывали вручную [4].

В ноябре 2002 г. в результате сильнейшего шторма у побережья Испании разломился и затонул танкер Prestige, груженный мазутом (рис. 5). В море попали 64 тыс. т мазута. Несмотря на сравнительно небольшой объем разлитых нефтепродуктов, катастрофа была признана самым масштабным бедствием за всю историю Западной Европы и Испании, так как мазут гораздо более токсичен, чем сырая нефть.

В 2003 г. в южной части Онежского залива Белого моря в районе архипелага Осинки в результате аварийной швартовки двух танкеров произошел разлив 54 т мазута. Особенности дна позволили собрать лишь 9 т. Спустя 10 лет наблюдалось вторичное загрязнение воды нефтяными углеводородами. Ученые выявили полную гибель молодняка камбал

2003 г., уменьшение рыбы в размерах и снижение ее выживаемости. Уровень углеводов в камбале оставался повышенным. Кроме того, белухи, обитавшие в этом районе, были вынуждены покинуть защищенные от ветра и волн места, где ранее приносили потомство. Вследствие этого повысилась смертность молодых особей.

В 2007 г. в результате шторма в Керченском проливе в Азовском и Черном морях за один день затонули четыре судна, еще шесть сели на мель, получили повреждения два танкера. Из разломившегося танкера «Волгонефть-139» (рис. 6) в море вылилось более 2 тыс. т мазута, на затонувших сухогрузах находилось около 7 тыс. т серы. Мазут быстро распространился по акватории, загрязнив побережье протяженностью 50 км. Экологические последствия были серьезными: погибло от 15,5 до 18,5 тыс. водоплавающих птиц. Особенностью ликвидации последствий аварии является тяжесть мазута, что приводит к его оседанию на дно и повторному выбросу при штормах. Он также залегает под слоем песка, усложняя процесс очистки. Проблема многократно усложняется наличием мусора (пластика и бытового) в зоне загрязнения. Однако водные экосистемы значительно не пострадали. Мазут сохранялся на побережье в виде корок и скоплений, но его концентрация в воде и донных отложениях быстро снизилась. Естественная трансформация мазута заняла от 750 до 2010 дней [5].

В декабре 2024 г. в Керченском проливе на фоне экстремальных погодных условий потерпели крушение 2 танкера «Волгонефть-212» и «Волгонефть-239», перевозившие мазут. Дополнительным фактором аварии стало использование старых танкеров, которые не были предназначены для таких условий. Один из танкеров вообще не должен был выходить в море из-за приостановленных документов. В результате в море вылилось почти 4 тыс. тонн мазута, что вызвало серьезное загрязне-



Рис. 6. Крушение танкера «Волgoneфть-139» в Керченском проливе, 2007 г.



Рис. 7. Карта распространения мазута в Керченском проливе, 2024 г.



Рис. 8. Разлив дизельного топлива в Норильске, 2020 г.

ние не только акватории Черного моря, но и прибрежных зон от м. Панагия до заповедника Утриш на территории Краснодарского края. Загрязнение распространилось на азовское побережье. Особую тревогу вызывают масштабы загрязнения пляжей Анапы, где ситуация достигла критического уровня (рис. 7).

Для морской экосистемы ключевым фактором восстановления после аварии с проливом нефти и нефтепродуктов является способность к самоочищению, определяемая продолжительностью разлива и динамикой загрязнения [6]. Катастрофы подчеркивают уязвимость Керченского пролива к экологиче-

ским катастрофам из-за интенсивного судоходства и сложных погодных условий. Однако разлив 2024 г. оказался более масштабным и сложным для ликвидации, что указывает на необходимость улучшения системы предотвращения аварий и разработки новых технологий для борьбы с разливами мазута.

Одна из крупнейших утечек нефтепродуктов в арктической зоне в истории, создавшая угрозу для экосистемы Северного Ледовитого океана, возникла при разгерметизации резервуара на ТЭЦ-3 в Норильске (район Кайеркан) 29 мая 2020 г. и привела к попаданию 21,2 тыс. т дизельного топлива за пределы промзоны. Из них по оценкам специ-

Источники загрязнения окружающей среды нефтью и нефтепродуктами

Источники загрязнений	Доля в общем объеме, %
Бытовые и промышленные отходы	30
Эксплуатация судов	27
Естественные источники	24
Аварии танкеров и нефтяных платформ	12
Атмосферные осадки	7

алистов порядка 6 тыс. т попали в грунт, а около 15 тыс. т — в гидросферу (рис. 8). Владелец ТЭЦ-3 «Норникель» уплатил штраф в сумме 146 млрд рублей.

Даже если аварийный выброс происходит на суше, разлившаяся нефть или нефтепродукты попадают в конечном счете в воду, таким образом, акватории рек, озер и морей, прежде всего их поверхность, являются основной ареной борьбы с нефтяными загрязнениями.

Ежегодно в Мировой океан попадает до 11 млн т нефти и нефтепродуктов. Однако аварийные разливы, вызванные добычей и транспортировкой, не являются главным источником загрязнения (табл.) [7].

Последствия разливов нефти носят весьма тяжелый характер, так как нарушается экологическое равновесие окружающей среды [8]. Нефтяное загрязнение негативно влияет на многие естественные взаимосвязи и процессы, значительно изменяет условия жизни всех живых организмов и способно накапливаться в биомассе. Попадая в нефтяной разлив, мелкие животные погибают сразу. Птицы не могут отличить водоем от нефтяного пятна, поэтому садятся прямо в нефть. Внешнее загрязнение нефтью разрушает их оперение, спутывает перья и вызывает раздражение глаз. От средних до крупных разливов обычно гибнет до 5 тысяч птиц. Пытаясь себя очистить от нефти клювом, птицы заглатывают ее, и токсичное вещество попадает в их организм, от чего они и погибают. На растительность разлитая нефть тоже влияет губительно. На тех местах, где произошел разлив, долгое время расти ничего не будет.

Через 10 мин после того как нефть попала в воду, образуется нефтяное пятно толщиной 1 см. Через некоторое время за счет испарившихся легких фракций и расширения пятна толщина пленки уменьшается до 1 мм. Одна тонна нефти может покрыть площадь до 12 км². Образуя на поверхности воды пленку, которая затрудняет водо- и газообмен между океаном и атмосферой, нефтепродукты резко ухудшают развитие морских организмов. Под воздействием ветра, волн и погоды происходят дальнейшие изменения. Чаще всего пятно дрейфует под воздействием ветра и распадается на более мелкие

пятна, которые отдаляются на большие расстояния от места разлива.

Конечно же страдает и атмосфера в результате испарения легких фракций нефти. Часто такие испарения переносятся на большие расстояния, выпадают с осадками и тем самым отравляют почву. При попадании на грунт нефтяные продукты проникают вглубь, что вызывает нарушение газообмена.

Случаи, связанные с острым отравлением парами нефтепродуктов, достаточно большая редкость, но долговременное воздействие на организм вызывает развитие различных болезней.

Более серьезная проблема возникает в случае, когда взаимодействие летучих углеводородов, которые входят в состав нефти и нефтепродуктов, ультрафиолетового излучения и окислов азота приводит к образованию смога. В такой ситуации серьезно могут пострадать тысячи человек.

Как показывает практика, если авария происходит вблизи населенного пункта, то отравляющий эффект нефти усиливается, так как продукты испарения смешиваются с другими загрязнителями человеческого происхождения [9, 10].

Чтобы избежать таких тяжелых последствий, необходимо произвести ликвидацию аварийных разливов нефти и нефтепродуктов.

Сбор разлитых нефтепродуктов в водоемах — сложная задача, требующая применения различных технологий и методов. Эти методы можно классифицировать на механические, физико-химические и биологические, а также учитывать специфические подходы для удаления нефтепродуктов со дна водоемов.

Механические методы являются наиболее распространенными и эффективными для ликвидации разливов нефти. Они включают использование боновых заграждений (рис. 9). Эти устройства устанавливаются по периметру нефтяного пятна для его локализации. Боны удерживают нефть на поверхности, предотвращая ее дальнейшее распространение. Предлагается использовать в качестве бонов полипропиленовый микроволокнистый материал, разработанный профессором Г.Г. Волокитиным в ТГАСУ [11, 12].

Использование скиммеров для сбора нефтепродуктов с поверхности воды, работающих по принципу адгезии или вакуума, позволяет эффективно

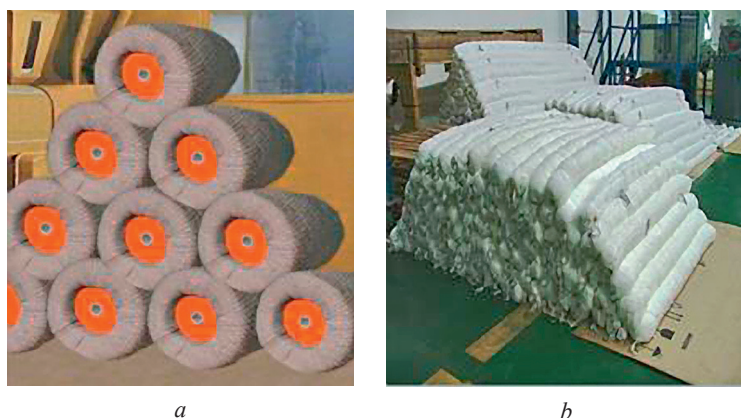


Рис. 9. Боновые ограждения для морских (а) и речных (б) акваторий на основе полипропиленового микроволокну

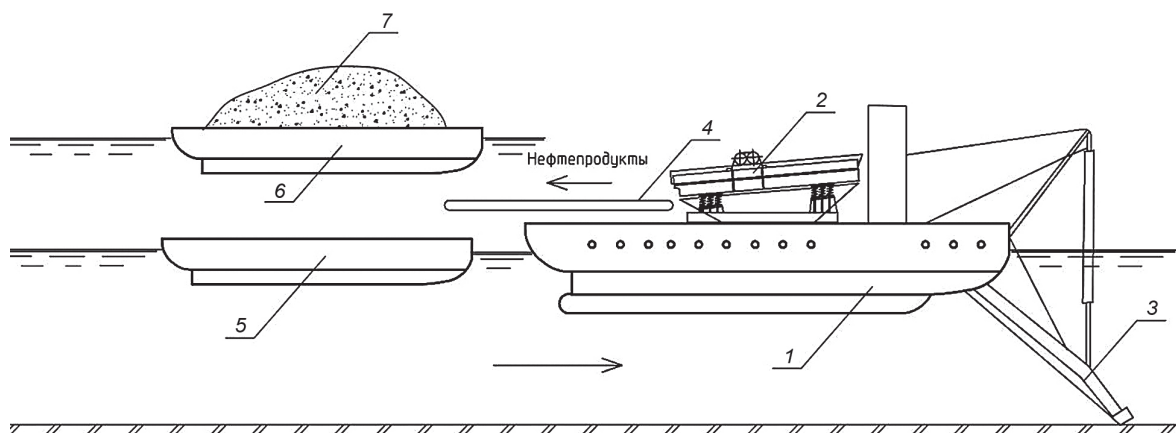


Рис. 10. Установка для очистки придонных отложений: 1 — баржа; 2 — грохот; 3 — земснаряд; 4 — отвод мазута; 5, 6 — баржа, 7 — песок с мазутом

отделять нефть от воды. Возможно также использование насосов для откачки нефтяной пленки с помощью гибких рукавов. Однако их эффективность может снижаться из-за тонкости пленки и вибрации, создаваемой оборудованием.

Использование сорбентов позволяет удалять как плавающие, так и эмульгированные нефтепродукты. Сорбенты могут быть как натуральными, так и синтетическими, они эффективно удаляют загрязнения без негативного воздействия на экосистему. В качестве сорбентов при очистке эмульгированных нефтепродуктов с целью снижения стоимости очистки и решения вопросов дальнейшей утилизации можно рекомендовать дробленый рядовой уголь, использование которого будет рассмотрено ниже.

Для рассеивания нефтяных загрязнений могут использоваться диспергенты, однако их применение может привести к образованию осадка на дне водоема, что создаст дополнительные экологические проблемы.

Биологические методы основаны на использовании микроорганизмов для разложения углеводородов. Этот подход, как правило, применяется после механической и физико-химической очистки для устранения остатков загрязнений. Для такой

очистки могут быть использованы препараты, разработанные в Сибирском федеральном университете (г. Красноярск) [13], а также производимые в НПО «Вектор» (г. Новосибирск), такие как «Путидойл» [14].

Сбор нефти со дна водоемов представляет собой отдельную задачу, которая требует специализированных методов. Авторами предлагается эрлифтный метод, использующий водовоздушную струю для поднятия нефтесодержащих осадков на поверхность. Эрлифтный метод позволяет значительно сократить время и затраты на операцию по сбору нефти. Благодаря своей эффективности и простоте он может быть использован в широком диапазоне условий и с минимальными затратами на обучение персонала. Этот метод позволяет минимизировать вторичное загрязнение водоема.

В НГАСУ (Сибстрин) предложена установка, монтируемая на барже (рис. 10), предусматривающая отвод со дна нефтесодержащего осадка с последующим его разделением на рассеивающем устройстве (типа грохота, используемого для разделения фракций горных пород). Таким образом можно отделить значительную часть нерастворимых неф-

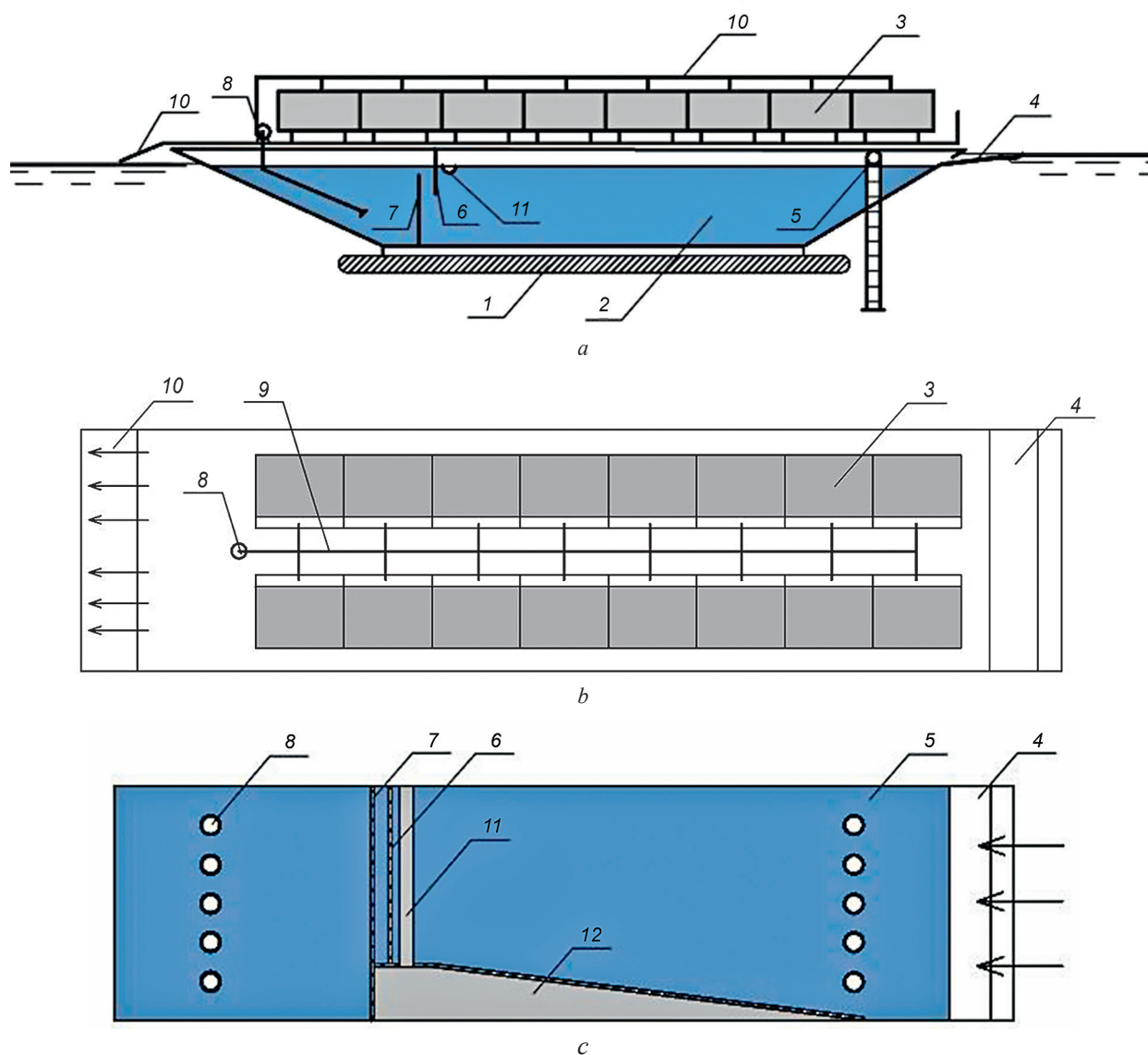


Рис. 11. Установка для сбора нефтепродуктов, плавающих на поверхности морской воды: *a* — вид сбоку; *b* — вид сверху; *c* — вид под перекрытием; 1 — плавучая платформа; 2 — полая емкость; 3 — фильтрующий контейнер; 4 — устройство для сбора нефтяной пленки; 5 — насосы; 6 — полупогружная перегородка; 7 — затопленный водослив; 8 — насосы; 9 — распределительная система; 10 — наклонное перекрытие; 11 — желоб; 12 — сборник нефтепродуктов

тепродуктов со дна водоема от песка с последующей их утилизацией.

Также предложена установка, монтируемая на барже, предусматривающая забор нефтесодержащих вод как с поверхности, так и с глубины водоема, отвод их в нефтеловушку с разделением плавающих нефтепродуктов от растворенных (рис. 11). Далее плавающие нефтепродукты отводятся на дальнейшую обработку и утилизацию, а вода, содержащая эмульгированные нефтепродукты, насосами подается на фильтры, загруженные в качестве фильтрующей загрузки сорбентом, например, дробленным рядовым углем с ближайших месторождений (Донбасс). Вода проходит через фильтры, очищается от нефтепродуктов и сбрасывается обратно в водоем. Отработанную загрузку с задержанными на ней неф-

тепродуктами выгружают и используют в качестве топлива на котельных.

Серьезной проблемой является утилизация песка, насыщенного нефтепродуктами. Учеными ТГУ (г. Хабаровск) предлагается его использование при производстве асфальта, а также в дорожном строительстве [15].

Таким образом, современные методы сбора и очистки разлитых нефтепродуктов в водоемах разнообразны и требуют комплексного подхода в зависимости от условий загрязнения. Механические методы остаются наиболее эффективными для ликвидации разливов на поверхности воды, в то время как удаление эмульгированных нефтепродуктов требует специализированных технологий. Эффективное применение этих методов в зависимости от условий

может значительно снизить экологический ущерб от нефтяных загрязнений.

Ликвидация нефтяных загрязнений — это сложная, дорогая и трудновыполнимая процедура, кото-

рая обычно не приводит к полной очистке водоема. Поэтому стратегия борьбы с аварийными разливами нефти в значительной мере должна включать деятельность, направленную на их предотвращение.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Никонов А.Н., Потапова С.О. Нефтяная промышленность как один из серьезных загрязнителей окружающей среды // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. Т. 1. № 9. С. 666–673. EDN SMGFTZ.
2. Владимиров В.А. Разливы нефти: причины, масштабы, последствия // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2014. № 1. С. 217–229. EDN SCHGLZ.
3. Адлард Э.Р. Николас П. Черемисинов, Антон Давлетишин. Управление чрезвычайными ситуациями при разливах нефти на шельфе. Руководство для специалистов по чрезвычайным ситуациям. 2010. URL: <https://download.e-bookshelf.de/download/0000/5881/68/L-G-0000588168-0002361974.pdf> (дата обращения: 21.04.2025).
4. Крупнейшие разливы нефти в истории человечества // Neftegaz.ru. 2010. URL: <https://neftgaz.ru/analysis/ecology/329375-krupneyshie-razlivy-nefti-v-istorii-chelovechestva/> (дата обращения: 21.04.2025).
5. Фацук Д.Я. Эколого-географические последствия катастрофы танкера «Волгонефть-139» в Керченском проливе 11 ноября 2007 г. // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2009. № 1. С. 105–117. EDN JVYJGF.
6. Кузнецов А.Н., Федоров Ю.А., Фатмаль П. Самоочищение морских побережий, загрязненных мазутом: результаты многолетних наблюдений, моделирование и картографирование // Экологические проблемы. Взгляд в будущее. 2020. С. 388–393. EDN GNWNMA.
7. Кулакова И.И., Лисичкин Г.В. Ликвидация аварийных разливов нефти. Сорбционная очистка поверхности акваторий от нефтяных загрязнений : уч. пос. к спецкурсам кафедры химии нефти и органического катализа «Переработка нефти» и «Нефтехимия». М., 2022. 82 с.
8. Вылкован А.И., Венцюлис Л.С., Зайцев В.М., Филатов В.Д. Современные методы и средства борьбы с разливами нефти : науч.-практ. пос. СПб. : Центр Техинформ, 2000. 155 с.
9. Меркотун И.Н., Аксенов В.Н. Причины и последствия разливов нефти и нефтепродуктов // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2018. № 1 (9). С. 298–300. EDN XSLWQX.
10. Степаньян О.В. Воздействие разливов нефтепродуктов на прибрежноводные и водные растения // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2019. № 2 (287). С. 12–17. DOI: 10.33285/2411-7013-2019-2(287)-12-17. EDN EHDPOE.
11. Патент РФ 2174165. Устройство для получения волокнистых материалов из расплава термопластов / Волокитин Г.Г., Зотов С.Н. Заявл. 04.12.2000. Оpubл. 27.09.2001.
12. Патент РФ 2345182. Устройство для получения волокнистых материалов из термопластов / Волокитин Г.Г., Филоненко Д.А., Скрипникова Н.К. Заявл. 11.07.2006. Оpubл. 27.01.2009.
13. Дубровская О.Г., Дубровская С.Д., Бобрик А.Г., Ташибулатова О., Самадов Н.С. Перспективы применения высокоселективных сорбентов в системах очистки карьерных вод // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 8 (146). С. 1–9.
14. Габибов Ф.Г., Агаев Т.Б., Гусейнова Л.В., Габибова Л.Ф. Инженерно-экологические проблемы деградации, очистки и рекультивации почвогрунтов, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. М. : Издательство «Георесурс», 2023. 728 с.
15. Лофлер М., Шелегов В.Г., Слободчикова Н.А. Направления использования нефтешламов в дорожном строительстве // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2018. Т. 8. № 4 (27). С. 98–104. EDN YWAKYX.

Об авторах: **Юрий Леонидович Сколубович** — доктор технических наук, профессор, ректор; **Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)**; 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, д. 113; e-mail: rector@sibstrin.ru;

Алексей Юрьевич Сколубович — канд. техн. наук, доцент кафедры «Водоснабжение и водоотведение»; **Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)**; 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, д. 113; e-mail: a.skolubovich45@sibstrin.ru;

Анна Александровна Цыба — старший преподаватель кафедры «Водоснабжение и водоотведение»; **Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)**; 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская,

REFERENCES

1. Nikonov A.N., Potapova S.O. Neftyanaya promyshlennost', kak odin iz ser'eznykh zagryaznitelei okruzhayushchei sredy. *Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy*. 2018; 9:666-673. EDN SMGFTZ. (rus.).
2. Vladimirov V.A. Razlivy nefti: Prichiny, masshtaby, posledstviya. *Strategiya grazhdanskoj zashchity: problemy i issledovaniya*. 2014; 1:217-229. EDN SCHGLZ. (rus.).
3. Adlard Eh.R. Nikolas P. Cheremisinov, Anton Davletshin. Upravlenie chrezvychainymi situatsiyami pri razlivakh nefti na shel'fe. *Rukovodstvo dlya spetsialistov po chrezvychainym situatsiyam*. 2010. URL: <https://download.e-bookshelf.de/download/0000/5881/68/L-G-0000588168-0002361974.pdf> (data obrashcheniya: 21.04.2025). (rus.).
4. Krupneishie razlivy nefti v istorii chelovechestva. *Neftegaz.ru*. 2010. URL: <https://neftgaz.ru/analysis/ecology/329375-krupneyshie-razlivy-nefti-v-istorii-chelovechestva/> (data obrashcheniya: 21.04.2025). (rus.).
5. Fashchuk D.Ya. Ehkologo-geograficheskie posledstviya katastrofy tankera «Vologoneft'-139» v Kerchenskom prolyve 11 noyabrya 2007 g. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 2009; 1:105-117. EDN JVYJGF. (rus.).
6. Kuznetsov A.N., Fedorov Yu.A., Fattal' P. Samoochishchenie morskikh poberezhii, zagryaznennykh mazutom: rezul'taty mnogoletnikh nablyudeni, modelirovanie i kartografirovaniye. *Ehkologicheskie problemy. Vzgl'yad v budushchee*. 2020; 388-393. EDN GNWNMA. (rus.).
7. Kulakova I.I., Lisichkin G.V. Likvidatsiya avariinykh razlivov nefti. Sorbtsionnaya ochistka poverkhnosti akvatorii ot neftnykh zagryaznenii. *Uchebnoe posobie k spetskursam kafedry khimii nefti i organicheskogo kataliza "Pererabotka nefti" i "Neftekhiya"*. Moscow, 2022; 82 (rus.).
8. Vylkovan A.I., Ventsyulis L.S., Zaitsev V.M., Filatov V.D. *Sovremennye metody i sredstva bor'by s razlivami nefti: Nauchno-prakticheskoe posobie*. Saint Petersburg, Tsentr Tekhinform, 2000; 155. (rus.).
9. Merkotun I.N., Aksenov V.N. Prichiny i posledstviya razlivov nefti i nefteproduktov. *Sovremennye tekhnologii obespecheniya grazhdanskoj oborony i likvidatsii posledstviy chrezvychainykh situatsii*. 2018; (9):298-300. EDN XSLWQX. (rus.).
10. Stepan'yan O.V. Vozdeistvie razlivov nefteproduktov na pribrezhnovodnye i vodnye rasteniya. *Zashchita okruzhayushchei sredy v neftegazovom komplekse*. 2019; 2(287):12-17. DOI: 10.33285/2411-7013-2019-2(287)-12-17. EDN EHDPOE. (rus.).
11. Patent RF 2174165. *Ustroystvo dlya polucheniya voloknistykh materialov iz rasplava termoplastov* / Volokitin G.G., Zotov S.N. Zayavl. 04.12.2000. Opubl. 27.09.2001. (rus.).
12. Patent RF 2345182. *Ustroystvo dlya polucheniya voloknistykh materialov iz termoplastov* / Volokitin G.G., Filonenko D.A., Skripnikova N.K. Zayavl. 11.07.2006. Opubl. 27.01.2009. (rus.).
13. Dubrovskaya O.G., Dubrovskaya S.D., Bobrik A.G., Tashbulatova O., Samadov N.S. Perspektivy primeneniya vysokoselektivnykh sorbentov v sistemakh ochistki kar'ernykh vod. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*. 2024; 8(146):1-9. (rus.).
14. Gabibov F.G., Agaev T.B., Guseinova L.V., Gabibova L.F. *Inzhenerno-ehkologicheskie problemy degradatsii, ochistki i rekul'tivatsii pochvogruntov, zagryaznennykh neft'yu i nefteproduktami*. Moscow, Izdatel'stvo "GeoresurS", 2023; 728. (rus.).
15. Lofler M., Shelegov V.G., Slobodchikova N.A. Napravleniya ispol'zovaniya nefteshlamov v dorozhnom stroitel'stve. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2018; 8:4(27):98-104. EDN YWAKYX. (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, 630008, Russian Federation; e-mail: rector@sibstrin.ru;

Alexey Yu. Skolubovich — PhD in Engineering Associate Professor, Department of "Water Supply and Sanitation"; **Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)**; 113 Leningradskaya St., Novosibirsk, 630008, Russian Federation; e-mail: a.skolubovich45@sibstrin.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, 630008, Russian Federation; e-mail: a.tsyba@sibstrin.ru.

Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 2. С. 91–99.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 628

DOI: 10.22227/2311-1518.2025.2.91-99

БИОРЕМЕДИАЦИЯ МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ЗАВОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХЛОРЕЛЛЫ: ДИНАМИКА РОСТА И СНИЖЕНИЕ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ

Елена Сергеевна Гогина¹, Игорь Алексеевич Гульшин², Елена Васильевна Спасибо¹

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

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

В работе исследовано применение микроводоросли *Chlorella vulgaris* для постмембранной биоремедиации сточных вод нефтеперерабатывающего завода (НПЗ). Целью исследования являлась количественная оценка способности культуры удалять тяжелые металлы и биогенные элементы из концентрата и пермеата без дополнительного введения CO₂ и искусственного освещения. В лабораторных экспериментах отслеживали динамику изменений концентраций ключевых загрязнителей (K⁺, Fe, Cu и др.) и прирост сухой биомассы. За время культивирования концентрация калия снизилась с 24,3 до 10,8 мг·л⁻¹ (–56 %), одновременно зарегистрировано статистически достоверное снижение уровней железа и меди. Полученные результаты подтверждают высокую сорбционно-метаболическую активность *C. vulgaris* и демонстрируют ее пригодность для интеграции в технологию очистки сложных промышленных стоков. Кинетические данные послужат основой для разработки математической модели процесса и оптимизации параметров фотобиореактора. Научная новизна работы заключается в комплексной оценке адаптационного потенциала *C. vulgaris* к сточным водам с повышенным солесодержанием и в идентификации факторов, ограничивающих эффективность биоремедиации. Практическая значимость выражается в создании предпосылок для внедрения экологически безопасной технологии, обеспечивающей одновременную очистку воды и получение ценного вторичного ресурса — микроводорослевой биомассы, пригодной для дальнейшей переработки.

Ключевые слова: *Chlorella vulgaris*, биоремедиация, сточные воды НПЗ, тяжелые металлы, микроводоросли, мембранная фильтрация, фотобиореактор, микроводорослевая биомасса, устойчивые технологии очистки

Для цитирования: Гогина Е.С., Гульшин И.А., Спасибо Е.В. Биоремедиация металлосодержащих сточных вод нефтеперерабатывающего завода с использованием хлореллы: динамика роста и снижение загрязнителей // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 2. С. 91–99. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.2.91-99

BIOREMEDIATION OF METAL-LADEN PETROLEUM-REFINERY WASTEWATER USING CHLORELLA: GROWTH DYNAMICS AND POLLUTANT ABATEMENT

Elena S. Gogina¹, Igor A. Gulshin², Elena V. Spasibo¹

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

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

This study investigates the use of the microalga *Chlorella vulgaris* for post-membrane bioremediation of petroleum-refinery wastewater. The objective was to quantitatively evaluate the culture's ability to remove heavy metals and macronutrients from both concentrate and permeate without supplemental CO₂ or artificial illumination. Laboratory experiments tracked the temporal evolution of key pollutants (K⁺, Fe, Cu, etc.) and the accumulation of dry algal biomass. During cultivation, the potassium concentration decreased from 24.3 to 10.8 mg l⁻¹ (–56 %), accompanied by statistically significant reductions in iron and copper. These findings confirm the high sorption-metabolic activity of *C. vulgaris* and demonstrate its suitability for integration into treatment schemes for complex industrial effluents. The resulting kinetic data will support the development of a mathematical model and subsequent optimisation of photobioreactor parameters. The study's novelty lies in its comprehensive assessment of *C. vulgaris* adaptation to saline refinery wastewaters and in identifying the factors limiting bioremediation efficiency. Practically, the work establishes a scientific foundation for implementing an environmentally benign technology that simultaneously purifies water and yields a valuable secondary resource — microalgal biomass suitable for downstream processing.

Keywords: *Chlorella vulgaris, bioremediation, refinery wastewater, heavy metals, microalgae, membrane filtration, photobioreactor, microalgal biomass, environmentally sustainable treatment technologies*

For citation: Gogina E.S., Gulshin I.A., Spasibo E.V. Bioremediation of metal-laden petroleum-refinery wastewater using chlorella: growth dynamics and pollutant abatement. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2025; 2:91-99. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.2.91-99 (rus.).

Развитие нефтеперерабатывающей промышленности играет важную роль в экономике многих стран, однако эта отрасль неизбежно сопряжена с образованием значительных объемов сточных вод. Сточные воды нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) характеризуются повышенным содержанием разнообразных загрязняющих веществ, включая тяжелые металлы (такие как железо, марганец, медь, свинец, никель), нефтепродукты и избыточное количество биогенных элементов — азота и фосфора. Загрязненные сточные воды, поступающие в окружающую среду без надлежащей обработки, приводят к нарушению экосистем водных объектов, ухудшению качества питьевой воды и накоплению токсичных соединений в цепях питания. Кроме того, насыщенность тяжелыми металлами представляет особую угрозу для живых организмов, поскольку такие элементы, попадая в ткани, могут вызывать мутагенное и канцерогенное действие [1].

Традиционно для очистки сточных вод НПЗ применяются физико-химические методы, включающие химическую коагуляцию, флотацию, сорбцию на активированном угле и различные мембранные технологии [2–5]. Хотя эти технологии обеспечивают значительное снижение концентрации основных загрязняющих веществ, их использование часто связано с высокими энергетическими затратами и образованием вторичных отходов, требующих дополнительной утилизации. Это приводит к необходимости поиска новых подходов и технологий очистки подобных сточных вод, эффективное использование которых сопряжено с пониженным антропогенным воздействием на окружающую среду [6].

В связи с этим все большее внимание уделяется новым биологическим методам очистки сточных вод, в частности применению микроводорослей [7]. Хлорелла, как одна из наиболее изученных и широко распространенных микроводорослей, обладает уникальными свойствами, позволяющими эффективно связывать тяжелые металлы и поглощать избыточные концентрации азота и фосфора из водной среды. Механизм биоремедиации с участием хлореллы основан на ее способности использовать питательные элементы для собственного роста и развития, одновременно аккумулируя металлы в клеточных структурах [8]. Данная микроводоросль не только способствует биологической очистке воды, но и при благоприятных условиях культивирования формирует биомассу, которая может быть использована

в ряде отраслей промышленности: от производства кормовых добавок до получения биотоплива [9].

Значимость применения хлореллы в очистке сточных вод от нефтеперерабатывающих предприятий определяется несколькими факторами. Во-первых, эта микроводоросль не требует сложных питательных сред и способна расти в условиях повышенной минерализации, что характерно для промышленных стоков [10]. Во-вторых, биоремедиация с помощью хлореллы ведет к одновременному снижению разных групп загрязнителей: тяжелых металлов и биогенных элементов. В-третьих, внедрение микроводорослей в систему очистки сточных вод дополнительно способствует обогащению воды кислородом и снижению содержания растворенного углекислого газа, что положительно влияет на последующее возможное восстановление экосистемы [11]. Наконец, использование хлореллы в интегрированных схемах очистки сточных вод может сэкономить ресурсы и уменьшить объем вредных выбросов по сравнению с более энергоемкими физико-химическими методами.

В России вопросами биоремедиации промышленных сточных вод занимаются различные группы исследователей [12–16]. Так, например, в работе [17] проведено комплексное исследование методов биоремедиации замаслуженных сточных вод, однако в качестве основной микрофлоры использовались *Oscillatoria amphibia*, *Oscillatoria Woronichinii* и *Sinechocystis salina*. В большинстве исследований микрофлора используется в качестве экспериментального препарата для очистки загрязненных природных объектов, а не в качестве технологии очистки сточных вод [18, 19]. Несмотря на то, что биоремедиация сточных вод НПЗ в России исследуется уже достаточно давно, внедрение новых решений в практику носит единичный характер, что обусловлено, в том числе, отсутствием достаточного количества подтвержденных характеристик и параметров технологии для подготовки соответствующих методических рекомендаций по ее расчету и применению.

Таким образом, актуальность исследования, посвященного применению хлореллы для биоремедиации сточных вод НПЗ, обусловлена необходимостью разработки эффективных и экологически безопасных технологий. Их внедрение позволит решить не только задачу очистки промышленных сточных вод от токсичных элементов, но и обеспечит формирование дополнительного устойчивого ресурса

Концентрации загрязняющих веществ в исследуемых образцах

Наименование показателя	Пермеат	Концентрат
pH (водородный показатель)	5,47	6,92
ХПК, мгО/л	50,0	52,0
БПК ₅ , мгО ₂ /л	34,1	35,2
Аммоний-ион, мг/л	0,17	0,15
Нитрит-ион, мг/л	0,021	0,034
Нитрат-ион, мг/л	2,2	1,1
Фосфаты, мг/л	0,02	2,77
Марганец, мг/л	НПО	0,075
Железо, мг/л	0,01	0,081
Медь, мг/л	0,003	0,022
Магний, мг/л	Менее 0,1	62,4
Калий, мг/л	1,14	24,6
Нефтепродукты, мг/л	0,0276	0,1345

в виде биомассы, которая может быть переработана во вторичное сырье. Изучение влияния микроводорослей на динамику содержания тяжелых металлов и биогенных элементов в сточных водах необходимо для совершенствования существующих подходов к технологиям очистки и дальнейшей интеграции биотехнологических решений в промышленную практику. Кроме того, расширение исследований в области применения хлореллы и других микроводорослей способствует углубленному пониманию биохимических механизмов сорбции и аккумуляции металлов, что открывает новые перспективы для развития экологически ориентированных технологий очистки сточных вод. Сочетание экономической эффективности, экологической безопасности и высокого потенциала по снижению токсических соединений делает биоремедиацию с участием хлореллы особенно актуальной в контексте современных природоохранных задач и стратегий. В рамках данного исследования получены предварительные результаты эксперимента на смешанных сточных водах нефтеперерабатывающего завода. Результаты характеризуют динамику роста микрофлоры с учетом снижения концентраций основных наблюдаемых загрязнений исследуемой сточной воды и необходимы для разработки и реализации программ дальнейших исследований.

Исследование проводилось на сточных водах действующего нефтеперерабатывающего предприятия. На предприятии сточные воды подвергаются очистке в мембранном биореакторе, на исследование биоремедиации поступали образцы концентрата и пермеата. В пробах анализировались основные физико-химические показатели, в том числе интегральные (химическое потребление кислорода, ХПК и биологическое потребление кислорода, БПК₅), а также биогенные элементы и отдельные металлы. Усредненные концентрации загрязняющих веществ в исследуемых образцах представлены в таблице.

Отбор, транспортировка и хранение проб перед исследованием выполнялись в соответствии с общепринятыми рекомендациями. Аналитические исследования проводились по аттестованным методикам с применением следующего измерительного оборудования: спектрофотометр Nach Lange DR 3900 (азот аммонийный, азот нитратный, азот нитритный, фосфор фосфатов, железо общее), анализатор жидкости «Флюорат-02-5М» (нефтепродукты, ХПК), анализатор БПК OxiTop (БПК₅), pH-метр SEVEN COMPACT S220-KIT (pH), атомно-абсорбционный спектрометр «КВАНТ.З» (марганец, медь, магний, калий). Оценка биомассы осуществлялась при помощи измерения оптической плотности среды при помощи спектрофотометра UNICO 2800, а также по определению динамики значения сухой массы после выпаривания, что в данном случае не учитывало процессы биосорбции.

Исследование биоремедиации выполнялось в лабораторных реакционных сосудах объемом 2 л. В рамках данного этапа исследования условия процесса были приближены к естественным без обеспечения дополнительного излучения света и подачи углекислого газа (температура 21 ± 1 °C, освещенность 520 лк). Общая продолжительность исследования составила 250 дней, в течение которых рассматривалась динамика прироста биомассы и снижения концентраций загрязняющих веществ. Отбор проб осуществлялся еженедельно. Для предотвращения контаминации культуры хлореллы при проведении лабораторных экспериментов поддерживался комплекс мер, использующихся при проектировании фотобиореакторов [20]. Исследование выполнялось в целях подготовки к конструированию и запуску пилотной установки, поэтому важно было подобрать методы для последующего построения математической модели.

Понятно, что высокая динамика роста микроводорослей и значительная выходная биомасса

в фотобиореакторах (ФБ) являются базовыми и фундаментальными показателями, которых стремятся достичь многие исследователи. Согласно выводам исследования [21], существует широкий спектр подходов к математическому моделированию процесса культивирования микроводорослей, в том числе методов, основанных на кинетике, физико-химических параметрах и различных эмпирических уравнениях. Результаты таких исследований позволяют не только описать механизмы роста культуры, но и оптимизировать технологические параметры для повышения эффективности фотобиореакторов. Один из классических методов, применяемых при оценке роста микроорганизмов, включая микроводоросли, — модель Моно. Для анализа влияния концентрации питательных веществ на выход биомассы *Chlorellavulgaris* исследователями [22] предлагается использовать модифицированную модель Моно. В работах [23, 24] предложены модели Друпа и Людекинга-Пирета, которые позволяют учитывать также параметры биореактора (температуру, освещенность). На основе положений этих моделей была подготовлена модифицированная модель Друпа [25], которая учитывает не только свойства и количество субстрата и параметры установки, но и позволяет проводить моделирование для прикрепленной биомассы, что является одним из ключевых элементов современных фотобиореакторов. Данная модель (1) будет использоваться в ходе дальнейших исследований:

$$X_i \frac{dP_i}{dt} = X_i (\rho(S_i, P_i) - (P_i + P_{\min}) \mu_X(P_i, I_i)) + \frac{QX_{i-1}}{V_i} (P_{i-1} - P_i),$$

где X — концентрация биомассы (по сухому веществу), кг/м³; P — внутренняя квота субстрата в клетках; S — концентрация растворенного субстрата, кг/м³; μ — скорость роста 1/с; Q — расход сточных вод, м³/с; V — объем фотобиореактора, м³.

В настоящее время по результатам проведенных предварительных исследований на целевой сточной воде удалось получить данные по снижению концентрации загрязняющих веществ и приросту биомассы. В первую очередь эти данные необходимы для выявления возможности культивации фитобиомассы на данной воде с учетом содержания необходимых солей и отсутствия сильного ингибирующего воздействия. Важным условием эффективной биоремедиации с участием хлореллы является оптимальное содержание в среде ряда неорганических солей, играющих роль питательных компонентов для микроводорослей. Как показывают результаты исследований, наибольшее положительное влияние на рост и развитие хлореллы оказывают такие элементы, как азот (N), фосфор (P), сера (S), маг-

ний (Mg) и железо (Fe). При этом для успешного культивирования требуется обеспечить присутствие целого комплекса из 10–20 элементов, в том числе N, P, Mg, K, S, Fe, Cu, Ca, Mn и Mo. В ряде случаев калий (K) и кальций (Ca) могут быть частично или полностью заменены натрием (Na) и магнием (Mg) соответственно. Помимо индивидуальных концентраций вышеперечисленных веществ важным показателем является и общее солесодержание воды, поскольку избыточная минерализация может оказывать ингибирующее воздействие на микроводоросли.

В ходе лабораторных экспериментов, проводимых в рамках данной научно-исследовательской работы, помимо основных показателей (ХПК, БПК₅, нефтепродукты, pH и др.) дополнительно анализировалось наличие в пробах необходимых микро- и макроэлементов. В частности, оценивалось содержание азота (в форме аммоний-, нитрит- и нитрат-ионов), фосфора (фосфаты), магния, калия, железа, меди, а также ряда других металлов. При этом, чтобы уточнить, насколько эффективно хлорелла может использовать исследуемые сточные воды в качестве питательной среды без дополнительного обогащения, определялось и общее солесодержание. Для подтверждения факта роста микроводорослей измеряли оптическую плотность среды (спектрофотометрия) и массу сухого вещества (после выпаривания), что позволяло судить о динамике накопления биомассы. На рис. 1 представлен график снижения калия и прироста фитобиомассы по дням эксперимента.

В ходе эксперимента удалось достичь снижения концентрации калия в концентрате с 24,3 до 10,8 мг/л с приростом биомассы более чем на 60 мг/л (до концентрации 0,085 г/л с пиковым значением на уровне 0,110 г/л на 30-й неделе эксперимента).

В ходе текущего этапа исследования, помимо снижения концентрации ионов калия, было зафиксировано также заметное уменьшение содержания других металлов в сточной воде, в частности железа и меди. Так, концентрация железа в концентрате за время эксперимента снизилась с исходных 0,083–0,087 (средняя величина) до 0,025 мг/л, а меди — с 0,022 до менее 0,010 мг/л в конце исследовательского периода. Аналогичный эффект отмечался и по марганцу: содержание Mn в отдельных контрольных точках анализа уменьшилось с 0,075 до 0,038–0,042 мг/л. Во всех случаях параллельно с уменьшением концентрации металлов происходил прирост биомассы микроводорослей, что подтверждает гипотезу о том, что хлорелла при благоприятном соотношении питательных элементов способна эффективно сорбировать не только калий, но и широкий спектр тяжелых металлов. Достиг-

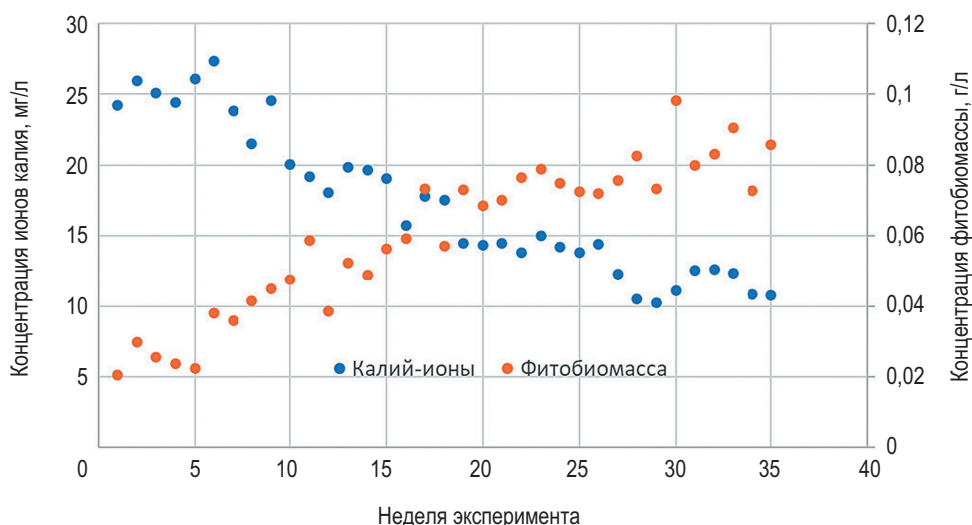


Рис. 1. График снижения концентрации ионов калия и прироста фитобiomассы по неделям эксперимента

нутые результаты важны для понимания комплексного механизма биоремедиации, где в ходе роста водорослей одновременно происходит поглощение избыточных биогенных компонентов и связывание токсичных металлов.

При этом динамика роста хлореллы в условиях лабораторных экспериментов оказалась неоднородной: вначале наблюдалась активная фаза размножения, которая постепенно сменялась стабилизацией показателей биомассы. Наиболее заметное накопление сухого вещества было отмечено к 20–25-й неделе, когда биомасса достигала примерно 0,080–0,090 г/л, а максимальные пиковые значения до 0,110 г/л фиксировались ближе к 30-й неделе эксперимента. В то же время эффективность снижения концентраций металлов и биогенных веществ оставалась высокой вплоть до завершения исследования. Сопоставление данных по изменению оптической плотности и показателей сухого вещества свидетельствует, что в условиях данного опыта хлорелла хорошо адаптировалась к отсутствию дополнительной подачи углекислого газа и освещению в диапазоне 500–550 лк. Анализ солесодержания показал, что первоначально высокая минерализация сточных вод не оказала значимого ингибирующего воздействия на микроводоросли, поскольку концентрации ключевых элементов (азота, фосфора, магния и т.д.) были достаточны для обеспечения их роста.

Таким образом, в рамках экспериментальных серий учитывались как количественные показатели загрязняющих веществ (прежде всего тяжелых металлов и биогенных элементов), так и концентрации ключевых солей, необходимых для роста культуры. Это позволило комплексно оценить возможность культивирования хлореллы в конкретных условиях по двум критериям: отсутствию ингибирующих факто-

ров и наличию достаточного количества питательных компонентов. Полученные результаты не только подтверждают перспективность использования хлореллы для очистки сточных вод НПЗ, но и дают основание для дальнейшего совершенствования биотехнологического процесса с учетом оптимизации минерального состава среды, а также разработки специализированных фотобиореакторов и моделей, способных учесть особенности роста культуры на воде со сложным и переменным составом.

Для углубленного изучения процессов биоремедиации в дальнейшем планируется расширить исследования сразу по нескольким направлениям. Во-первых, будет проведена серия опытов на более крупных стендах, имитирующих условия промышленных фотобиореакторов, в том числе с внедрением контролируемой подачи CO_2 и регулированием температуры. Во-вторых, помимо калия, железа, меди и марганца, в новом цикле экспериментов предполагается анализировать динамику свинца, никеля и цинка, которые также часто встречаются в промышленных сточных водах. Для этих целей будут использованы как традиционные методы атомно-абсорбционной спектроскопии, так и высокочувствительные методы спектрального анализа с более детальным контролем концентраций металлов в диапазоне от долей до единиц миллиграммов на литр. В-третьих, особое внимание будет уделено составлению материального баланса микро- и макроэлементов, что позволит оценить, насколько полноценно хлорелла усваивает элементы, и не происходит ли накопление каких-либо соединений в биомассе до токсичных для самой культуры уровней. Результаты текущего исследования подтверждают, что использование хлореллы в качестве биосорбента для очистки сточных вод от тяжелых металлов может быть эффективным и при

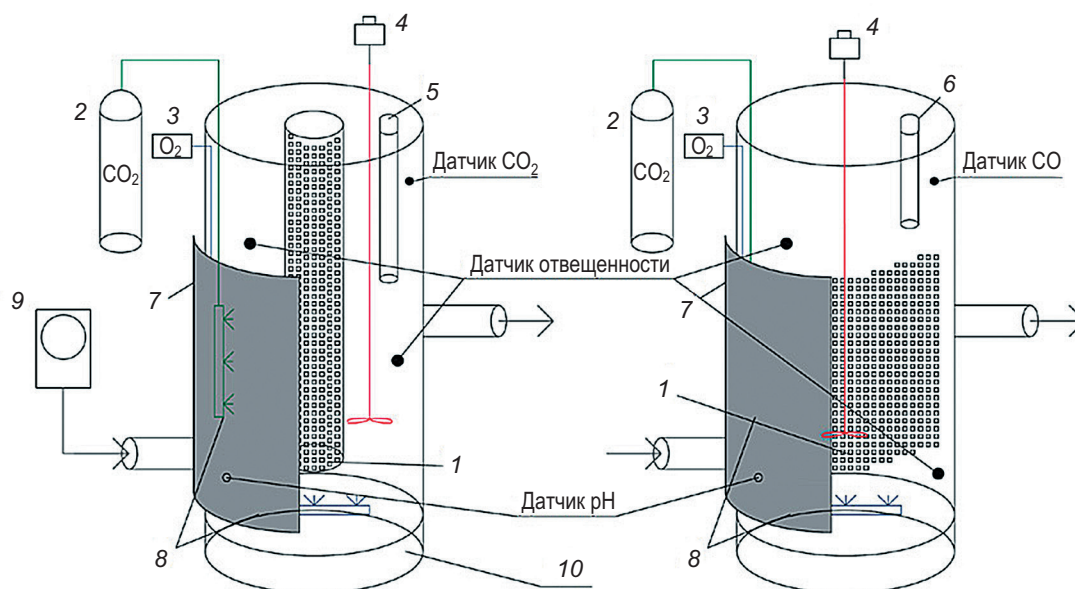


Рис. 2. Схематическое изображение лабораторного фотобиореактора: 1 — источник света; 2 — баллон CO_2 ; 3 — воздушная подушка; 4 — мешалка; 5, 6 — распылитель воздуха; 7 — защитный экран; 8 — аэраторы; 9 — насос-дозатор; 10 — место для БУ

относительно высокой минерализации среды. Вместе с тем остается открытым вопрос оптимизации условий культивирования в промышленных масштабах, поскольку лабораторный формат зачастую не отражает всей совокупности факторов, влияющих на процесс (изменения температуры, колебания состава сточных вод, необходимость постоянного освещения и аэрации и т.д.). Система, представленная на рис. 2, станет базовой основой для дальнейших опытов, где будет обеспечена возможность управления освещенностью, аэрацией и температурой, а также добавления различных субстратов для уточнения критических параметров роста. Полученные экспериментальные данные послужат входными значениями для разрабатываемой математической модели, основанной на модифицированной модели Друпэ. С помощью этой модели предполагается количественно описать влияние ключевых параметров на скорость роста и сорбцию тяжелых металлов, а также прогнозировать эффективность процесса биоремедиации при варьировании состава сточной воды, температуры и интенсивности освещения.

Перспективы внедрения разработанной технологии в промышленную практику напрямую связаны с возможностью интеграции фотобиореактора в существующие схемы очистки на предприятиях нефтепереработки. Первичные результаты позволяют рассчитывать на снижение затрат при удалении не только традиционных загрязнителей (нефтепродуктов, соединений азота и фосфора), но и опасных металлов, требующих по существующим методам высокоэнергетических процедур осаждения или сорбции на специальных материалах. Использо-

вание хлореллы способствует также формированию дополнительного биоресурса в виде фитобиомассы, которую можно перерабатывать в корма для животных, биотопливо или другие продукты. С одной стороны, это повышает экономическую выгоду предприятия, с другой — снижает экологические риски, связанные с накоплением токсичных отходов. Дальнейшее совершенствование технологии будет включать поиск оптимального баланса между параметрами роста водорослей (скоростью размножения, скоростью поглощения металлов, устойчивостью к флуктуациям в составе сточных вод) и реальными показателями экономической эффективности. Не менее важен и вопрос о безопасности получаемой биомассы: для некоторых направлений ее использования требуется подтверждение полного отсутствия в клетках избыточных концентраций опасных металлов.

Таким образом, проведенные исследования демонстрируют возможность снижения концентрации ряда опасных металлов (K, Fe, Cu, Mn и др.) в сточных водах нефтепереработки при одновременном росте микроводорослей рода *Chlorella*. Достигнутая степень очистки и накопление биомассы позволяют утверждать, что биоремедиация может успешно дополнять существующие на предприятии методы очистки, снижая нагрузку на физико-химические системы и уменьшая общее антропогенное воздействие на окружающую среду. Предварительные данные служат основой для разработки более сложных и универсальных биотехнологических решений с возможностью масштабирования. В перспективе данная технология будет дополнена систе-

мой непрерывного мониторинга, позволяющей оперативно регулировать параметры фотобиореактора и обеспечивать оптимальный режим роста водорослей. В конечном итоге подобные исследования вносят вклад в формирование экологически устойчивых подходов к утилизации промышленных сточных вод и открывают новые горизонты для ресурсосбережения и охраны окружающей среды.

Выводы, сформулированные на основании анализа полученных данных, указывают на эффективность и перспективность применения хлореллы для комплексной очистки сточных вод НПЗ от тяжелых

металлов и биогенных элементов. Осуществленный прирост фитобиомассы в достаточно жесткой по минерализации среде доказывает адаптивный потенциал культуры, а снижение концентрации металлов подтверждает значимость биосорбционных механизмов. Продолжение исследований в направлении масштабирования и оптимизации процесса представляется логичным и необходимым шагом для внедрения данной биотехнологии в промышленную практику и для обеспечения более глубокого контроля качества очищенной воды, а также рационального использования образуемой биомассы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Zaynab M., Al-Yahyai R., Ameen A., Sharif Y., Ali L., Fatima M. et al. Health and environmental effects of heavy metals // *Journal of King Saud University-Science*. 2022. Vol. 34. No. 1. P. 101653. DOI: 10.1016/j.jksus.2021.101653
2. Sathish T., Saravanan R., Vijayan V. Investigations on influences of MWCNT composite membranes in oil refineries waste water treatment with Taguchi route // *Chemosphere*. 2022. Vol. 298. P. 134265. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.134265
3. Elmobarak W.F., Hameed B.H., Almomani F., Abdullah A.Z. A review on the treatment of petroleum refinery wastewater using advanced oxidation processes // *Catalysts*. 2021. Vol. 11. No. 7. P. 782. DOI: 10.3390/catal11070782
4. Thorat B.N., Sonwani R.K. Current technologies and future perspectives for the treatment of complex petroleum refinery wastewater : a review // *Bioresource Technology*. 2022. Vol. 355. P. 127263. DOI: 10.1016/j.biortech.2022.127263
5. Mokif L.A., Jasim H.K., Abdulhusain N.A. Petroleum and oily wastewater treatment methods : a mini review // *Materials Today: Proceedings*. 2022. Vol. 49. Pp. 2671–2674. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.08.340
6. Wang C., Chen Z., Li Y., Feng K., Peng Z., Zhu Y. et al. Refinery wastewater treatment via a multistage enhanced biochemical process // *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11. No. 1. P. 10282. DOI: 10.1038/s41598-021-89665-8
7. Kadri M.S., Nayana K., Firhi R.F., Abdi G., Sukumar C., Kulanthaiyesu A. Greening the oil industry: Microalgae biorefinery for sustainable oil-produced water treatment and resource recovery // *Journal of Water Process Engineering*. 2024. Vol. 60. P. 105259. DOI: 10.1016/j.jwpe.2024.105259
8. Manzoor F., Karbassi A., Golzary A. Removal of heavy metal contaminants from wastewater by using *Chlorella vulgaris* Beijerinck : a review // *Current Environmental Management (Formerly: Current Environmental Engineering)*. 2019. Vol. 6. No. 3. Pp. 174–187. DOI: 10.2174/2212717806666190716160536
9. Ubando A.T., Africa A.D.M., Maniquiz-Redillas M.C., Culaba A.B., Chen W.H., Chang J.S. Microalgal biosorption of heavy metals : a comprehensive bibliometric review // *Journal of Hazardous Materials*. 2021. Vol. 402. P. 123431. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.123431
10. Mahlangu D., Mphahlele K., De Paola F., Mthombeni N.H. Microalgae-mediated biosorption for effective heavy metals removal from wastewater : a review // *Water*. 2024. Vol. 16. No. 5. P. 718. DOI: 10.3390/w16050718
11. Keyvan Hosseini M., Keyvan Hosseini P., Helchi S., Pajoum Shariati F. The comparison between two methods of membrane cleaning to control membrane fouling in a hybrid membrane photobioreactor (HMPBR) // *Preparative Biochemistry & Biotechnology*. 2023. Vol. 53. No. 4. Pp. 394–400. DOI: 10.1080/10826068.2022.2095574
12. Аникина С.А., Чеснокова М.Г., Краус Ю.А. Биоремедиация сточных вод нефтехимической промышленности // *Наука и молодежь в XXI веке : мат. Всеросс. студен. науч. конф.* 2015. С. 85–87. EDN UWVSLH.
13. Гальперина А.Р. Разработка приемов биоремедиации сточных вод с остаточной замазученностью // *Юг России: экология, развитие*. 2010. Т. 5. № 4. С. 109–111.
14. Гальперина А.Р. Влияние цианобактерий на процесс очистки нефтезагрязненных стоков // *Вода Magazine*. 2018. № 3 (127). С. 38–40.
15. Шахова Д.А., Головачева Н.А. Биотехнология очистки сточных вод нефтеперерабатывающих заводов // *Пищевые технологии : сб. тезисов III Междунар. симпозиума, посвященного 90-летию со дня рождения Л.А. Остроумова*. Кемерово, 2024. С. 553–557.
16. Акмуханова Н.Р., Заядан Б.К., Садвакасова А.К., Тореханова М.М., Тимофеев Н.П., Бауенова М.О. и др. Подбор перспективного штамма микроводорослей для биоремедиации сточных вод аквакультуры // *Микробиология*. 2022. Т. 91. № 5. С. 576–585. DOI: 10.31857/S0026365622100123. EDN EAESOA.

17. Гальперина А.Р. Разработка приемов биоремедиации замазученных сточных вод : дис. ... канд. биол. наук. Уфа, Институт биологии Уфимского научного центра Российской академии наук, 2012.
18. Шарапова И.Э. Разработка комплексных форм биопрепарата для биоремедиации загрязненных нефтяными углеводородами почв и водных сред : дис. ... канд. техн. наук. Сыктывкар, Санкт-Петербургский государственный технологический институт, 2012.
19. Стравинскене Е.С. Проблема биодоступности тяжелых металлов в экологическом мониторинге природных вод : дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, Красноярский государственный аграрный университет, 2012.
20. Vo H.N.P., Ngo H.H., Guo W., Nguyen T.M.H., Liu Y., Liu Y. et al. A critical review on designs and applications of microalgae-based photobioreactors for pollutants treatment // *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 651. Pp. 1549–1568. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.282
21. Pires J.C., Alvim-Ferraz M.C., Martins F.G. Photobioreactor design for microalgae production through computational fluid dynamics : a review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 79. Pp. 248–254. DOI: 10.1016/j.rser.2017.05.064
22. Al Ketife A.M., Judd S., Znad H. A mathematical model for carbon fixation and nutrient removal by an algal photobioreactor // *Chemical Engineering Science*. 2016. Vol. 153. Pp. 354–362. DOI: 10.1016/j.ces.2016.07.042
23. Zhang W., Zhao Y., Cui B., Wang H., Liu T. Evaluation of filamentous green algae as feedstocks for biofuel production // *Bioresource technology*. 2016. Vol. 220. Pp. 407–413. DOI: 10.1016/j.biortech.2016.08.106
24. Das A., Basu S., Ghosh S., Dairkee U.K., Chowdhury R. Mathematical modelling of flat plate biofilm photobioreactors with circular and rectangular configurations // *Biosystems Engineering*. 2018. Vol. 174. Pp. 66–79. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2018.06.004
25. Diehl S., Zambrano J., Carlsson B. Analysis of photobioreactors in series // *Mathematical Biosciences*. 2018. Vol. 306. Pp. 107–118. DOI: 10.1016/j.mbs.2018.07.005

Об авторах: Елена Сергеевна Гогина — канд. техн. наук, доцент, главный научный сотрудник; Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН) Минстроя России; 127238, г. Москва, Локомотивный пр., д. 21; e-mail: gogina-es@yandex.ru;

Игорь Алексеевич Гульшин — канд. техн. наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; e-mail: GulshinIA@mgsu.ru;

Елена Васильевна Спасибо — ведущий инженер; Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН) Минстроя России; 127238, г. Москва, Локомотивный пр., д. 21; e-mail: spasibo.elena@mail.ru.

REFERENCES

1. Zaynab M., Al-Yahyai R., Ameen A., Sharif Y., Ali L., Fatima M. et al. Health and environmental effects of heavy metals. *Journal of King Saud University-Science*. 2022; 34(1):101653. DOI: 10.1016/j.jksus.2021.101653
2. Sathish T., Saravanan R., Vijayan V. Investigations on influences of MWCNT composite membranes in oil-refinery wastewater treatment with Taguchi route. *Chemosphere*. 2022; 298:134265. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.134265
3. Elmobarak W.F., Hameed B.H., Almomani F., Abdullah A.Z. A review on the treatment of petroleumrefinery wastewater using advanced oxidation processes. *Catalysts*. 2021; 11(7):782. DOI: 10.3390/catal11070782
4. Thorat B.N., Sonwani R.K. Current technologies and future perspectives for the treatment of complex petroleum-refinery wastewater : a review. *Bioresource Technology*. 2022; 355:127263. DOI: 10.1016/j.biortech.2022.127263
5. Mokif L.A., Jasim H.K., Abdulhusain N.A. Petroleum and oily wastewater treatment methods : a mini review. *Materials Today: Proceedings*. 2022; 49:2671-2674. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.08.340
6. Wang C., Chen Z., Li Y., Feng K., Peng Z., Zhu Y. et al. Refinery wastewater treatment via a multistage enhanced biochemical process. *Scientific Reports*. 2021; 11(1):10282. DOI: 10.1038/s41598-021-89665-8
7. Kadri M.S., Nayana K., Firhi R.F., Abdi G., Sukumar C., Kulanthaiyesu A. Greening the oil industry: Microalgae biorefinery for sustainable oil-produced water treatment and resource recovery. *Journal of Water Process Engineering*. 2024; 60:105259. DOI: 10.1016/j.jwpe.2024.105259
8. Manzoor F., Karbassi A., Golzary A. Removal of heavymetal contaminants from wastewater by using *Chlorella vulgaris* Beijerinck : a review. *Current Environmental Management*. 2019; 6(3):174-187. DOI: 10.2174/2212717806666190716160536

9. Ubando A.T., Africa A.D.M., Maniquiz-Redillas M.C., Culaba A.B., Chen W.H., Chang J.S. Microalgalbiosorption of heavy metals : a comprehensive bibliometric review. *Journal of Hazardous Materials*. 2021; 402:123431. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.123431
10. Mahlangu D., Mphahlele K., De Paola F., Mthombeni N.H. Microalgae-mediated biosorption for effective heavy metals removal from wastewater : a review. *Water*. 2024; 16(5):718. DOI: 10.3390/w16050718
11. Keyvan Hosseini M., Keyvan Hosseini P., Helchi S., PajoumShariati F. Comparison between two methods of membrane cleaning to control membrane fouling in a hybrid membrane photobioreactor (HMPBR). *Preparative Biochemistry & Biotechnology*. 2023; 53(4):394-400. DOI: 10.1080/10826068.2022.2095574
12. Anikina S.A., Chesnokova M.G., Kraus Yu.A. Bioremediation of petrochemical industry wastewater. *Nauka i Molodyozh v XXI Veke : Proceedings of the All Russian Student Scientific Conference*. 2015; 85-87. EDN UWVSLH. (rus.).
13. Galperina A.R. Development of methods for bioremediation of wastewater with residual oil contamination. *Yug Rossii: Ekologiya, Razvitie (South of Russia: Ecology, Development)*. 2010; 5(4):109-111. (rus.).
14. Galperina A.R. Influence of cyanobacteria on the treatment of oil-polluted effluents. *Water Magazine*. 2018; 3(127):38-40. (rus.).
15. Shakhova D.A., Golovacheva N.A. Biotechnology of petroleumrefinery wastewater treatment. *Food Technologies: Proceedings of the III International Symposium Dedicated to the 90th Anniversary of Prof. L.A. Ostroumov*. Kemerovo, 2024; 553-557. (rus.).
16. Akmukhanova N.R., Zayadan B.K., Sadvakasova A.K., Torekhanova M.M., Timofeev N.P., Bauyenova M.O. et al. Selection of a promising microalgal strain for aquaculture wastewater bioremediation. *Mikrobiologiya (Microbiology)*. 2022; 91(5):576-585. DOI: 10.31857/S0026365622100123. EDN EAESOA. (rus.).
17. Galperina A.R. *Development of Methods for Bioremediation of Oily Wastewater : dissertation of candidate of biological sciences*. Ufa, Ufa Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 2012. (rus.).
18. Sharapova I.E. *Development of Complex Biological Preparations for Bioremediation of Soils and Aquatic Environments Contaminated with Petroleum Hydrocarbons : dissertation of candidate of technical sciences*. Syktyvkar, Saint Petersburg State Technological Institute, 2012. (rus.).
19. Stravinskene E.S. *The Problem of HeavyMetal Bioavailability in Environmental Monitoring of Natural Waters : dissertation of candidate of biological sciences*. Krasnoyarsk, Krasnoyarsk State Agrarian University, 2012. (rus.).
20. Vo H.N.P., Ngo H.H., Guo W., Nguyen T.M.H., Liu Y., Liu Y. et al. A critical review on designs and applications of microalgae-based photobioreactors for pollutant treatment. *Science of the Total Environment*. 2019; 651:1549-1568. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.282
21. Pires J.C., Alvim-Ferraz M.C., Martins F.G. Photobioreactor design for microalgae production through computational fluid dynamics : a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017; 79:248-254. DOI: 10.1016/j.rser.2017.05.064
22. Al Ketife A.M., Judd S., Znad H. A mathematical model for carbon fixation and nutrient removal by an algal photobioreactor. *Chemical Engineering Science*. 2016; 153:354-362. DOI: 10.1016/j.ces.2016.07.042
23. Zhang W., Zhao Y., Cui B., Wang H., Liu T. Evaluation of filamentous green algae as feedstocks for biofuel production. *Bioresource Technology*. 2016; 220:407-413. DOI: 10.1016/j.biortech.2016.08.106
24. Das A., Basu S., Ghosh S., Dairkee U.K., Chowdhury R. Mathematical modelling of flatplate biofilm photobioreactors with circular and rectangular configurations. *Biosystems Engineering*. 2018; 174:66-79. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2018.06.004
25. Diehl S., Zambrano J., Carlsson B. Analysis of photobioreactors in series. *Mathematical Biosciences*. 2018; 306: 107-118. DOI: 10.1016/j.mbs.2018.07.005

About the authors: **Elena S. Gogina** — PhD (Eng.), Associate Professor, Chief Researcher; **Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN) Ministry of Construction of Russia**; 21 Lokomotivny pr., Moscow, 127238, Russian Federation; e-mail: gogina-es@yandex.ru;

Igor A. Gulshin — PhD (Eng.), Associate Professor, Department of Water Supply and Wastewater Disposal; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoyeshosse, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: GulshinIA@mgsu.ru;

Elena V. Spasibo — Leading Engineer; **Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN) Ministry of Construction of Russia**; 21 Lokomotivny pr., Moscow, 127238, Russian Federation; e-mail: spasibo.elena@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

Выпускающий редактор: Алла Русланбековна Табекова

Редактор: Людмила Борисовна Корзухина

Корректор: Оксана Валерьевна Ермихина

Дизайн и верстка: Владимир Викторович Дёмкин

Подписано в печать 23.06.2025

Формат 60×84 1/8. Печ. л. 12,21

Тираж 1000 экз.

Заказ № 217.

Отпечатано с готового оригинал-макета