

# БИОСФЕРНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ:

ЧЕЛОВЕК, РЕГИОН,  
ТЕХНОЛОГИИ

№ 4(48), 2024





16+



МИСИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОСКОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

Научно-технический журнал  
Издается с 2013 года.

Выходит четыре раза в год.

№ 4 (48), 2024

Дата выхода в свет  
29.12.2024

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.  
**Воличенко О.В.** советник РААСН, д-р арх., 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.  
**Бакаева Н.В.** советник РААСН, д-р техн. 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)  
**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.  
**Лисев 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, 2024

© БГИТУ, 2024

© НИИСФ РААСН, 2024

© НИУ МГСУ, 2024

© ФГБУ «ЦНИИП МИНСТРОЯ РОССИИ», 2024

# 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

*В.Л. Сывороткин.* Дегазационная концепция глобальных катастроф ..... 2

### Проблемы и программы развития регионов

*Л.И. Соколов, В.А. Силинский.* Исследование проблем и особенностей безопасного функционирования при экологическом воздействии на водные объекты регионального уровня ..... 12

### Градоустройство и архитектура

*Т.В. Ворончихина, Л.В. Анисимова.* SMART-технологии в архитектуре детских развивающих центров ..... 21

*А.В. Абрамов, О.А. Пчеленок.* Численное моделирование нестационарных ветровых течений в жилом квартале ..... 32

*Е.В. Котлярова, С.П. Басистая.* Проблемы территориального планирования и проектирования береговых территорий малых рек крупных городов ..... 41

### Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства

*Е.В. Сысоева, Е.Л. Безбородов.* Влияние «зеленых» крыш на экологическое состояние воздуха в крупных городах России ..... 52

*А.В. Калайдо, В.И. Римшин, М.Н. Семенова.* Аналитическая оценка радонозащитных характеристик строительных конструкций зданий и сооружений ..... 62

*С.В. Корниенко, Е.А. Дикарева.* Совершенствование температурного режима урбанизированных территорий на основе климатопов ..... 68

*А.С. Невгень, С.В. Лукин.* Тепловой потенциал сточных вод для плавления снега ..... 76

### Биосферосовместимые технологии

*Ю.М. Федорчук, С.В. Бордунов, О.Н. Русина, Т.С. Цыганкова.* Технология утилизации серосодержащих отходов для целей биосферной устойчивости регионов России ..... 83

*Уважаемые авторы!* ..... 89

# ВОПРОСЫ ТЕОРИИ БИОСФЕРНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ГОРОДОВ И ПОСЕЛЕНИЙ

Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2024. № 4. С. 2–11

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 551.242.23

DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.2-11

## ДЕГАЗАЦИОННАЯ КОНЦЕПЦИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ КАТАСТРОФ

**Владимир Леонидович Сывороткин**

Московский государственный университет (МГУ) имени М.В. Ломоносова;  
г. Москва, Российская Федерация

*У широкого спектра природных катастроф есть общая причина — усиление глубинной водородной дегазации. На пути водорода из земного ядра в космос его окисление на геохимических барьерах производит эффекты, которые воспринимаются как катастрофы. В глубинах планеты это землетрясения и извержения вулканов. При выходе восстановительных газов на дно водных бассейнов — массовая гибель аэробной биоты и бурное развитие анаэробной (красные приливы). При подъеме водорода в атмосферу — разрушение озонового слоя. В образовавшиеся озоновые аномалии к поверхности Земли поступает избыточный поток биологически активного ультрафиолета (БАУ), который оказывает поражающее воздействие на биосферу, а также запускает озонообразующие реакции в приземном слое атмосферы. Распад приземного озона происходит с выделением длинноволнового излучения, что обеспечивает аномальный нагрев локальных участков земной поверхности, дестабилизирующих атмосферу и океан («глобальное потепление»).*

**Ключевые слова:** глубинная дегазация, глобальные катастрофы, водород, озоновый слой, приземный озон, природные пожары, глобальное потепление

**Для цитирования:** Сывороткин В.Л. Дегазационная концепция глобальных катастроф // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2024. № 4. С. 2–11. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.2-11

## DEGASSING CONCEPT OF GLOBAL DISASTERS

**Vladimir L. Syvorotkin**

Moscow State University (MSU) named after M.V. Lomonosov; Moscow, Russian Federation

*Wide range of natural disasters has a common cause, which is the increasing of deep hydrogen degassing. On the way from the Earth's core to outer space, the hydrogen oxidation taking place at the geochemical barriers has an effect perceived as a catastrophe. In the depths of the planet these disasters appear as earthquakes and volcanic eruptions. When reducing gases out onto the bottom of the water basins, mass destruction of aerobic biota happens there. When the hydrogen is climbing to the atmosphere, ozone depletion occurs. Excess flow of biologically active ultraviolet radiation is supplied into the formed ozone anomalies towards the Earth's surface. This flow has death-dealing impact on the biosphere, and it is a trigger for ozone-formation reactions in the atmospheric surface layer. Ground-level ozone decay occurs with the ejecting long-wave radiation, which ensures an abnormal heating of local areas of terrestrial surface, and destabilizing the atmosphere and the ocean (“global warming”).*

**Keywords:** deep degassing, global catastrophes, hydrogen, ozone layer, ground-level ozone, wildfires, global warming

**For citation:** Syvorotkin V.L. Degassing concept of global disasters. Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology. 2024; 4:2-11. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.2-11 (rus.).

### Введение

Средства массовой информации ежедневно приносят сообщения о природных или техногенных катастрофах, происходящих в самых разных районах планеты и уносящих жизни сотен и тысяч, а иногда и сотен тысяч людей. Землетрясения, извержения вулканов, наводнения, обвалы, оползни, лавины, ураганы, засухи и лесные пожары, вспышки эпидемий болезней, казалось уже побежденных медициной, а также и неизвестных ей, взрывы газа на шахтах, аварии на газо- и нефтепроводах

и линиях электропередачи, падения самолетов и гибель кораблей, — вот неполный перечень катастрофических событий, на фоне которых проходит жизнь современных людей.

Вышесказанное позволяет утверждать, что наша планета переживает фазу катастрофического развития. Периодическое наступление таких фаз или эпох — закономерность жизни планеты, открытая в первой трети XX в. нашим соотечественником А.Л. Чижевским [1]. Поясним, что речь идет о катастрофических эпохах в историческом временном

масштабе (годы – десятки лет – столетия). Примечательная и загадочная особенность катастрофических эпох — синхронность самых разных стихийных бедствий, большинство из которых совпадает также с максимумами или минимумами солнечной активности. Из вышесказанного следует, что любая попытка понять и объяснить причину природных аномалий должна учитывать (и объяснять) их полный спектр.

Это требование относится и к гипотезам, объясняющим аномальные процессы в атмосфере. Именно они привлекают в последние годы наибольшее внимание мирового сообщества, что оправданно, так как непосредственной средой обитания человека является дно воздушного океана. Понятна озабоченность степенью чистоты атмосферного воздуха, которой стало угрожать бурное развитие промышленности. Две самые известные экологические проблемы планетарного масштаба касаются процессов, происходящих в атмосфере. Речь идет о проблеме разрушения озонового слоя (ОС) и проблеме климатических изменений (так называемого глобального потепления). В обоих случаях угрозу атмосфере сообщество ученых увидело в выбросе промышленных газов. Научные рекомендации беспрецедентно быстро превратились в международные договоры (Монреальский и Киотский, с 2015 г. — Парижское соглашение), которые наложили строжайшие запреты на развитие целых отраслей промышленности в десятках государств. Все это, казалось бы, должно радовать — в истории еще не было примеров столь согласованных международных усилий ни в одной из областей человеческой деятельности. Однако ожидать благоприятного воздействия на глобальные процессы от такой кооперации не приходится.

К глубококому сожалению, научные концепции, положенные в основу Монреальского и Киотского протоколов (Парижского соглашения), полностью игнорируют все вышесказанное о катастрофических этапах развития планеты, т.е. методически они несостоятельны. Процессы в атмосфере рассматриваются ими изолированно от процессов в других оболочках планеты, хотя априори ясно, что она (атмосфера) является подсистемой общей высоко-развитой системы Планета Земля, неразрывно связанной со всеми иными сферами планеты, включая и твердые — земную кору, мантию и ядро. Газовая оболочка планеты по массе составляет всего лишь миллионную долю массы всей планеты, и сформировалась она в результате грандиозного процесса планетарной дегазации, который начался миллиарды лет назад и продолжается до сих пор. Без учета этих обстоятельств понять природу планетарных катаклизмов невозможно. Можно ли представить себе врача-дерматолога, который причины кожных проблем ищет только в самой коже, не подозревая

о существовании внутренних органов человека. К сожалению, современная метеорология поступает именно таким образом.

Здесь же ответим на вопрос, который может возникнуть у читателя, почему «атмосферными» проблемами занимается геолог? Вопрос не выдуман, автор слышал его не единожды. Атмосфера — газовая оболочка планеты, проблемы ОС и изменения климата решаются в аспекте изменения ее химического состава. Для решения химических задач планетарного масштаба создана специальная наука — геохимия. Автор-геохимик является сотрудником геохимического отделения геологического факультета МГУ.

Открытие А.Л. Чижевского поставило перед учеными трудную задачу — объяснить синхронность разнородных процессов. Какая может быть связь между эпидемиями в Африке и наводнениями в Австралии, землетрясениями в Японии и ураганами в Карибском море, синхронными наводнениями и природными пожарами в Иркутской области? Почему повторяемость земных катастроф соответствует ритмам космических явлений? Есть ли у этих катастроф какая-то общая причина, или здесь работает эффект домино? По мнению автора, такая общая причина глобальных катастроф есть. Это усиление глубинной дегазации, т.е. резкое увеличение выброса из глубоких недр Земли восстановительных газов, в первую очередь водорода.

Дегазационная концепция глобальных катастроф [2–4] учитывает три поражающих фактора глубинной дегазации. Во-первых, это само прохождение глубинных газов пути из земного ядра в космос. На каждом преодолеваемом геохимическом барьере газовый поток производит эффекты, которые в момент усиления дегазации воспринимаются как катастрофы. В глубинах планеты с фактором дегазации связаны землетрясения и извержения вулканов. При выходе газовых потоков на дно водных бассейнов происходит быстрая смена газового режима на восстановительный, что приводит к массовой гибели аэробной биоты и бурному развитию анаэробной (красные приливы). При подъеме водородно-метанового потока в атмосферу наиболее значимым эффектом является разрушение ОС над центрами дегазации. В образовавшиеся озоновые аномалии к поверхности земли поступает избыточная солнечная энергия. Добавленный поток биологически-активного ультрафиолета, с одной стороны, оказывает поражающее воздействие на биосферу, с другой — запускает озонообразующие реакции в приземном слое атмосферы. Распад приземного озона происходит с выделением длинноволнового теплового излучения, что обеспечивает аномальный нагрев локальных участков земной поверхности, дестабилизирующих атмосферу и океан (третий

поражающий фактор). Это суть дегазационной концепции глобальных катастроф.

В данной работе автор по необходимости кратко и с разной степенью детальности обозначил известный нам сегодня спектр природных процессов, инициированных усилением дегазации земного ядра, акцентируя внимание на катастрофических.

Приведем вначале перечень таких катастроф, мысленно прослеживая путь глубинного водорода через геосферы от границы ядра и мантии до космического пространства, после чего более подробно остановимся на описании наиболее опасных и актуальных природных катастроф, уже упомянутых выше. Это разрушение ОС и изменение климата.

Глубинная дегазация и литосфера: извержения вулканов, землетрясения, взрывы газа на шахтах, взрывы газа на земной поверхности, деградация почв, выносы токсичных металлов по разломам.

Глубинная дегазация и гидросфера: аномальная биологическая продуктивность морей и океанов, массовая гибель (заморы) морской фауны, красные приливы, Эль-Ниньо, квакеры (непонятные акустические эффекты, фиксируемые подводными лодками), гибель морских и воздушных судов.

Глубинная дегазация и криосфера: таяние материковых и горных ледников, таяние морских льдов, таяние многолетней мерзлоты.

Глубинная дегазация и атмосфера: разрушение ОС, ультрафиолетовая опасность, повышение концентрации приземного озона, падение метеоритов, генерация ураганов.

Глубинная дегазация и биосфера: природные пожары, массовая гибель биоты в морях и воздухе, прямое воздействие ядовитых газов на человека.

При гравитационном воздействии на земное ядро Солнца и планет выделение водорода усиливается, что и определяет космическую ритмику земных катастроф. Особенно сильное гравитационное воздействие Земля испытывает со стороны своего спутника — Луны. Усиление глубинной дегазации может быть модулировано и пульсациями жидкого ядра Земли под воздействием флуктуаций геомагнитного поля, вызываемых всплесками солнечной активности. Возможно, эта же причина вызывает рост концентрации озона в стратосфере [5].

Столь обширный список катастрофических событий, которые мы связываем с процессами усиления глубинной дегазации, может вызвать сомнения. Поясним, на внешние оболочки планеты действует всеобъемлющий поток солнечной энергии, от которого зависят практически все процессы, идущие в этих геосферах. Идущий же вверх в космическое пространство поток глубинного водорода влияет на концентрацию стратосферного озона, регулируя тем самым поток всеобъемлющей солнеч-

ной энергии. Кроме того, поток водорода вызывает катастрофы в глубинных сферах, которых не достигает солнечная энергия. Таким образом и решается «загадка Чижевского» о синхронности самых различных природных катаклизмов.

Принципиально важно, что все высказанные нами предположения о дегазационном генезисе этих катаклизмов верифицируемы, т.е. проверяемы, что является определяющим критерием научности любой гипотезы. Для проверки связи каждого из вышеперечисленных катаклизмов с водородной дегазацией можно и нужно проводить мониторинг подпочвенной концентрации водорода. В настоящее время такой мониторинг возможен практически в любом интересующем нас случае.

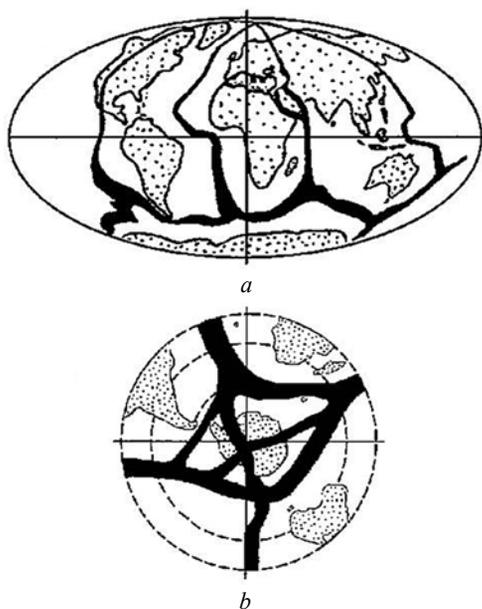
Повторим, что атмосфера возникла на ранних этапах формирования планеты в результате дегазации ее жидкого ядра. Процесс этот продолжается и в настоящее время. Образно выражаясь, материнским лоном атмосферы является земное ядро, и пуповина, их связывающая, не перерезана.

### Разрушение озонового слоя

Проблема крайне актуальная — официальная наука и большинство СМИ уверяют, что меры по запрету «озоноразрушающих» веществ, принятые в рамках Монреальского протокола (МП), привели к положительному ее (проблемы) решению. На самом деле ОС продолжает активно разрушаться, а степень этого разрушения нарастает. Интенсивно разрушается ОС не только в Антарктике, но и в Северном полушарии, особенно в окраинных морях Северного Ледовитого океана. Здесь среднемесячные потери в центре озоновых аномалий составили в марте 2011 г. 35 %; в январе 2016 г. 40 %; в марте 2020 г. 50 %. При этом площади каждой из указанных среднемесячных аномалий превышали 20 миллионов квадратных километров.

Таким образом, во втором десятилетии XXI в. в Северном полушарии степень разрушения ОС достигла антарктических параметров. Произошло это через 25–30 лет после действия МП, после того как большая часть техногенных газов, объявленных «озоноразрушающими», была изъята из употребления. Отсюда вывод — техногенно-фреоновая гипотеза разрушения озонового слоя, положенная в основу МП, практикой не подтвердилась. Нужно срочно отказываться от МП и начинать поиски реальных причин разрушения ОС. Срочно, потому что мы не знаем причин нарастания разрушения ОС.

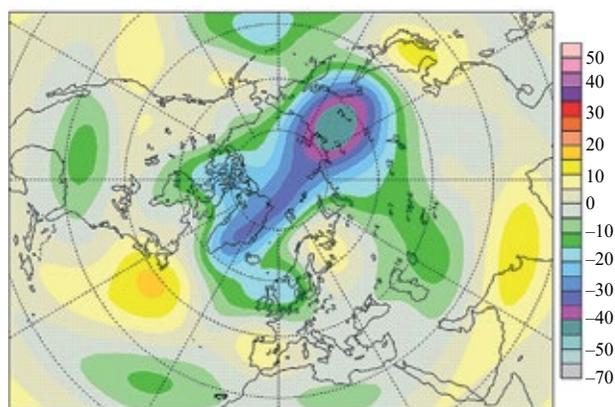
«Водородная» концепция разрушения озонового слоя [3, 2] базируется, с одной стороны, на водородном цикле разложения озона, давно (1965) и хорошо известном химикам. Цикл насчитывает более 40 реакций, катализатором выступает ион



**Рис. 1.** *a* — основные стволы Мировой рифтовой системы (черное) — главные каналы дегазации Земли; *b* — их антарктическое продолжение

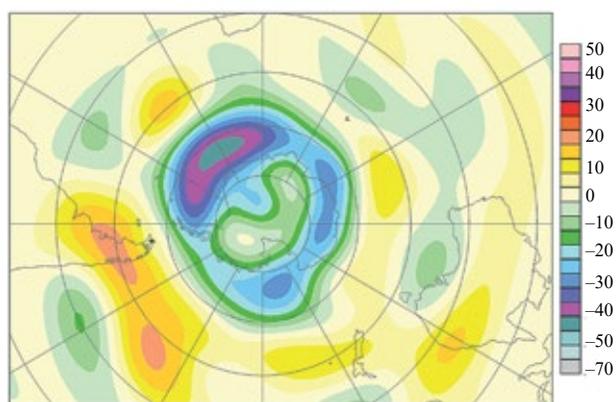
гидроксила, который образуется в стратосфере при взаимодействии водородсодержащих газов — водорода, метана, паров воды с атомарным кислородом, активированным квантом УФ-излучения [6]<sup>1</sup>.

С другой, — на наших знаниях о процессе глубинной водородной дегазации. Это базовый геологический процесс, определяющий эволюцию планеты. Водород выделяется при кристаллизации твердого ядра из жидкого и накапливается в верхней его части на границе с мантией на глубине около 2900 км [7]. Отсюда он просачивается к поверхности Земли по постоянно существующим и действующим каналам дегазации, главными из которых являются рифтовые структуры на вершинах срединно-океанических хребтов (рис. 1). Количество водорода, которое выделяется через океанские рифты, составляет 75 % от обще-



**Рис. 2.** Отклонение ОСО от нормы в Северном полушарии 23 марта 2011 г.

<sup>1</sup> Карты озона (рис. 2, 3, 5) получены на сайте Select Ozone Maps from Archive. URL: <https://exp-studies.tor.ec.gc.ca/cgi>



**Рис. 3.** Отклонение ОСО от нормы в Южном полушарии 19 августа 2023 г.

планетарного потока [8]. Водород в 14 раз легче воздуха и обладает удивительными диффузионными свойствами, что позволяет ему быстро подниматься до стратосферных высот. В воде малорастворим, легко преодолевает водную толщу океанов, практически не отклоняясь от вертикальной траектории.

Вышесказанное позволяет предположить, что над рифтовыми зонами океанов мы должны наблюдать разрушение ОС. Многочисленные карты общего содержания озона (ОСО) и карты отклонений ОСО от многолетней нормы подтверждают правильность этого предположения (рис. 2, 3).

На рис. 2 линейная озоновая аномалия протянулась от Сахалина до Гренландии. Над Якутией дефицит озона достигал 47 %. В Северном Ледовитом океане аномалия ОСО расположена над сейсмически активным рифтовым хребтом Гаккеля. На рис. 3 мы видим, как в озоновом слое проявился Циркумантарктический рифт, изображенный на рис. 1, *b*. Таким образом, наше предположение о возможности разрушения ОС над дегазирующими рифтовыми структурами подтвердилось, и мы можем сделать вывод, что тектоническое строение планеты проявляется в озоновом слое как на фото-пластинке. Вывод многообещающий для тектоники.

Прерывается «водородный» цикл образованием воды, которая в температурных условиях стратосферы замерзает, формируя специфические перламутровые облака, получившие название полярных стратосферных (ПСО), так как впервые они наблюдались в высоких широтах. Однако слово «полярные» в этом названии устарело, перламутровые облака наблюдались неоднократно и в средних, и в низких широтах. Автор сам видел их и в Москве, и в Крыму. Всякий раз такие наблюдения происходили во время сильного разрушения озонового слоя, что подтверждалось картами аномалий ОСО. Аббревиатуру ПСО можно сохранить, расшифровывая в ней «П», как «перламутровые».

В результате тех же реакций образуются и мезосферные «серебристые» облака (МСО). На высотах до 90 км еще присутствует озон, поэтому выбросы глубинного водорода рождают воду и на этих высотах. Заметим, что без участия водородного цикла объяснить присутствие водяных облаков в «сухой» стратосфере и еще более сухой мезосфере невозможно.

«Водородный» генезис мезосферных серебристых облаков проверяется наличием озоновых дыр в стратосфере, которые практически всегда обнаруживаются далеко внизу под ними. При этом вполне допустимо некоторое смещение в пространстве, учитывая интенсивную динамику воздуха на больших высотах. Удивляет скорее именно хорошее совпадение участков наибольшей плотности серебристых облаков в мезосфере и центров озоновых аномалий в стратосфере. Говорит такое совпадение в пользу залпового характера водородного выброса и быстрого поднятия массы водорода по типу воздушного шара [9].

### Ультрафиолетовая опасность при разрушении озонового слоя

Угрозы, которые несет потеря озона в атмосфере, хорошо изучены [10] и благодаря активной пропаганде озоновой проблемы в СМИ широко известны. Главную опасность представляет избыточный приток к земной поверхности биологически-активного ультрафиолета (БАУ или УФБ), т.е. солнечного излучения с длиной волны 280–320 нм.

*Воздействие БАУ на наземные микроорганизмы* — влияние на ДНК и клеточные мембраны. Микроорганизмы теряют способность к фотоориентации, что ведет к неадекватным ответам на изменения окружающей среды и гибели популяций. Поскольку микроорганизмы являются начальным звеном в пищевых цепях вплоть до человека, их гибель представляет серьезную экологическую опасность.

*Воздействие БАУ на растения.* Нарушается рост растений, уменьшается количество листьев и их размер, снижается продукция сухой массы, ингибируется фотосинтез. Отрицательные эффекты вызваны поражением ДНК и белков. Редукция озонового слоя на 16 % приводит к росту повреждений в ДНК на 47 %, поэтому даже незначительные снижения концентраций озона могут привести к резкому снижению урожая.

*Воздействие БАУ на водные экосистемы.* Особому влиянию подвержены сообщества шельфов, где наиболее обилён фитопланктон, у которого в результате воздействия ингибируется фотосинтез и снижается продуктивность. УФБ-излучение на зоопланктон действует также угнетающе, но избирательно. Особенно чувствительны молодые организмы.

*Действие БАУ на человека* (сходным образом проявляется и на высших животных). Критическим является воздействие на глаза, кожу и иммунную систему. За счет переотражения 12–25 % потока БАУ попадает в глаза, приводит к возникновению специфических заболеваний: фотокератоконъюнктивита, дегенерации роговицы, катаракты, птеригиума (разрастание ткани конъюнктивы глаза), повреждению сетчатки, меланомы сосудистой оболочки глаза. Отрицательные воздействия на кожу проявляются в виде эритемы (солнечный ожог), которая связана с расширением сосудов и воспалением кожи. При длительном воздействии малыми дозами возникает фотоэластоз — морщинистость кожи. Более серьезны немеланомный рак кожи и меланома. Механизм запуска иммунодепрессивной реакции после облучения — урканиловая кислота, присутствующая в самых верхних слоях кожи, а также гибель популяций кожных микроорганизмов.

Считается, что в средних широтах потеря 1 % озона приводит к увеличению УФБ-потока на 2 %. В среднем для планеты это отношение равно 1. Убыль атмосферного озона на 1 % адекватна приближению к экватору на 150 км или подъему на 100 м [11]. Поэтому в высоких широтах опасность БАУ не столь велика как в тропиках, однако в приполярных регионах России среднемесячные потери озона исчисляются десятками процентов, т.е., согласно вышеприведенным оценкам, это равнозначно перемещению на тысячи километров к югу вплоть до экватора.

Определенное влияние на суммарный поток ультрафиолета оказывают процессы отражения и переотражения между поверхностью суши или моря и облаками — фактор альбедо [12]. Для большинства почв он пренебрежимо мал, для воды составляет несколько процентов, но для снега достигает 90 %.

### Планетарные центры мутаций

Количество УФБ-излучения, достигающее земную поверхность, зависит от сочетания многих факторов. Важнейшими из них являются широта местности, высота над уровнем моря, а также концентрация озона в атмосфере над данной местностью. Последний фактор контролируется водородной дегазацией, что позволяет заменить этот переменный фактор постоянным — близостью к центру дегазации. Три постоянных фактора позволяют нам назвать регионы планеты, получающие максимальные в ее условиях дозы ультрафиолета. Это горные районы на экваторе, близкие к центрам дегазации: Восток экваториальной Африки, Галапагосские острова и Малайский архипелаг. Здесь мутируют вирусы, порождая новые виды болезней.

Идет активное видообразование. Рифтовая зона Восточной Африки — родина человека [3].

Наблюдения на Галапагосских островах привели Ч. Дарвина к созданию эволюционной теории. Удивительно, но практически одновременно, изучая природу Малайских островов, к близким выводам пришел другой английский ученый Уоллес Альфред Рассел. Подчеркнем этот факт, что родиной эволюционной теории стали два региона, получающие, по расчетам автора, максимальные для планеты дозы биологически активного ультрафиолета.

При сильном разрушении озонового слоя происходит УФ-стерилизация земной поверхности, при которой погибают патогенные микроорганизмы. Обеззараживающий эффект избыточного ультрафиолета дополняется не менее мощным обеззараживающим воздействием приземного озона, концентрация которого неизбежно повышается под озоновыми дырами в центрах глубинной дегазации. В современной медицине УФ-терапия и озонотерапия широко применяются в борьбе с внутренними патогенными микроорганизмами. Оказывается, что эта методика природная и имеет планетарный масштаб. Планетарная санитарная функция ультрафиолета и приземного озона не учтена еще современной медициной, а также генетикой, экологией, биологией, палеонтологией...

Исключительную роль играет в эволюции биосферы и мутационное действие УФ. Именно оно обеспечивает эволюционные скачки биоты в катастрофические эпохи развития Земли, когда происходят массовые вымирания. Главная причина гибели аэробных организмов в это время — глобальное усиление потока восстановительных газов. Ее спасение — мутации под воздействием резко усиливающихся потоков ультрафиолета. Среди огромного количества мутантов-уродцев находятся такие, которые, именно благодаря мутационным изменениям, приспособляются к новым условиям жизни и дают начало новым таксонам.

### Проблема приземного озона

Сильное разрушение стратосферного озона приводит к синхронному росту концентрации этого газа у земной поверхности [13, 14]. Причина в действии ультрафиолета на молекулы приземных газов. Под его воздействием увеличивается скорость фотохимических реакций распада и синтеза молекул кислорода, озона и окислов азота. В зонах дегазации решающую роль в наработке повышенных концентраций озона играет азотный цикл, при этом выделение метана из дегазирующих разломных зонкратно повышает его (цикла) продуктивность.

По степени опасности озону присвоен первый высший класс опасности — «чрезвычайно опасные

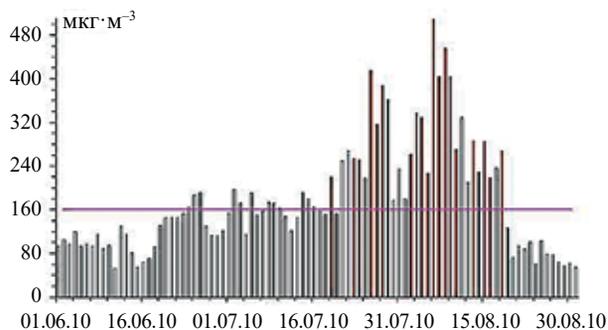


Рис. 4. Ход максимальных разовых концентраций озона на станциях ГПУ «Мосэкомониторинг» летом 2010 г. [15]

вещества». У хлора (боевое отравляющее вещество) класс опасности второй. Предельно допустимые концентрации (ПДК) для озона: максимальная разовая (средняя за 20 мин) равна 160 мкг·м<sup>-3</sup>, а средне-суточная — 30 мкг·м<sup>-3</sup>. Озон поражает органы дыхания, а также обладает мутационным и онкогенным действием [15]. В последние годы был обнаружен факт аномально высоких концентраций озона в курортных местах Центральной России и Крыма, удаленных от промышленных центров: Звенигород, Таруса, Карадаг, Кировская область [15]. Здесь в разные годы концентрация озона превышала синхронные показатели в близлежащих мегаполисах.

Во время аномально жаркого лета в июле–августе 2010 г. в Московском регионе в течение примерно 1 месяца практически непрерывно наблюдались концентрации озона, значительно превышающие предельно допустимые уровни. Среднечасовые концентрации приземного озона превышали 500 мкг·м<sup>-3</sup> (рис. 4).

Автор объясняет этот феномен, как уже было сказано выше, повышенной УФ-радиацией в сочетании с выбросами природного метана из разломных зон, которые маркируются реками и морскими берегами. Таким образом, во время разрушения ОС биота, включая человека, подвергается двойному удару — воздействию биологически-активного ультрафиолета и приземного озона.

Также разрушающее воздействие эти факторы оказывают на строительные материалы. Яркий пример — эластичная полиэтиленовая пленка, которую дачники весной натягивают на теплицы, а осенью собирают хрупкие ее фрагменты, которые можно назвать обломками. Это результат разрыва молекулярных связей в полиэтилене под действием ультрафиолета.

### Озоновый алгоритм погодных аномалий

Автор в течение последних девятнадцати лет изучал связь аномалий ОСО и аномалий погоды [16, 17]. Получены следующие результаты: оба типа аномалий (ОСО и погоды) устойчиво коррелируют

по месту и времени. Под положительными аномалиями ОСО приземный воздух охлаждается, под отрицательными — нагревается. В зоне контакта разнознаковых озоновых аномалий выпадают ливневые осадки, которые часто вызывают наводнения, особенно в горных районах. Зимой в такой озоновой позиции выпадают ледяные дожди. Здесь же зарождаются штормы и ураганы. Нагрев воздуха под отрицательными аномалиями ОСО приводит к снижению давления, поэтому сюда могут смещаться антициклоны. Южные субтропические антициклоны (в Северном полушарии) приносят аномально жаркую и сухую погоду, на фоне которой развиваются природные пожары [16, 17]. Смещение северных антициклонов, например Скандинавского, приносит аномальный холод. Самые сильные морозы в Европе возникают зимой, если в область низкого давления под озоновыми аномалиями втягивается Сибирский антициклон. В это время вымерзают яблоневые сады в Подмоскowie.

Причиной образования озоновых аномалий являются процессы, идущие в земном ядре. Разрушается ОС выбросами глубинного водорода, созидается — магнитным полем Земли [5].

Для иллюстрации вышеописанного озонового алгоритма образования погодных аномалий приведем карту аномалий ОСО Северного полушария на 25 декабря 2015 г. (рис. 5). На ней показаны отклонения общего содержания озона от среднеголетней нормы. Характер погоды под аномалиями озона в этот день комментируют цитаты из СМИ.

Под отрицательной аномалией озона во всей Европе установлены рекорды тепла.

25 декабря максимальные суточные рекорды температуры были побиты: в Норвегии: Осло (7,5); в Швеции: Стокгольм (8,1), Гетеборг (9,4); в Финляндии: Хельсинки (6,9); в Великобритании: Лондон (14,1), Плимут (13,1); во Франции: Нант (15,6), Орлеан (14,6); в Германии: Бремен (13,2); в Эстонии: Таллин (7,8); в Латвии: Рига (7,8); в Литве: Клайпеда (8,0); в Беларуси: Витебск (4,5); на Украине: Львов (9,5), Ивано-Франковск (12,0); в России: Выборг (5,7), Санкт-Петербург (6,1), Псков (5,4), Калининград (9,0), Смоленск (4,0), Рославль (4,7), Брянск (5,3), Нижний Новгород (2,7), Москва (4,1), Елаьма (3,0), Тула (4,6), Рязань (4,8), Орёл (5,2), Елец (6,4), Тамбов (5,1), Пенза (3,4), Воронеж (6,2), Саратов (4,6), Махачкала (14,8)<sup>2</sup>.

Под отрицательной аномалией озона на востоке США и в Канаде — аномальное тепло.

«Рождество с аномальной весенней погодой воцарилось в Нью-Йорке. В Центральном парке

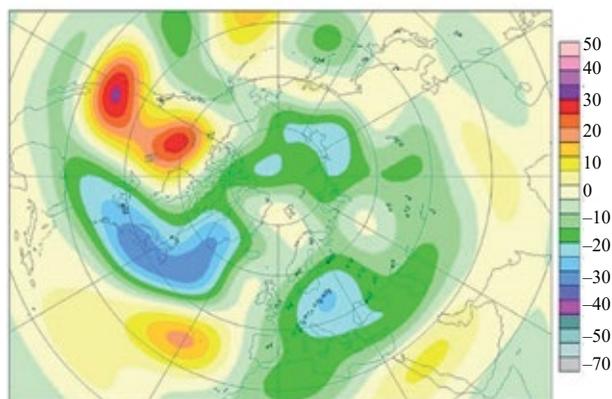


Рис. 5. Аномалии общего содержания озона 25 декабря 2015 г. в Северном полушарии

вчера было зафиксировано +22 °С, это самая высокая температура воздуха за всю историю метеонаблюдений в канун Рождества. Туристы смогли посетить Вашингтон в футболках, в то время как жители северо-востока США вытащили из шкафа легкую одежду, а зимнюю убрали. В порту Норфолк, штат Вирджиния, столбики термометров поднялись до +28 °С, что стало абсолютным рекордом декабря. Во Флориде канун Рождества выдался по-летнему жарким. В Тампе температура достигала рекордных 28,9, в Джексонвилле +28,3. А в Браунсвилле (Техас) 23 декабря температура достигала знойных +32,8 градуса! Подобные рекорды отмечены десятками метеостанций по всему восточному региону. Рекорды тепла зафиксированы от Флориды до Квебека. Такая температура характерна скорее для мая, чем для декабря. В Канаде также аномально тепло. В Санкт Анисете (Квебек) воздух прогрелся почти до +22 °С, что стало рекордом для региона. В Торонто столбики термометров показали +15,4 °С накануне Рождества, побит максимум 1964 года, когда было зафиксировано +12 °С. В Монреале 24 декабря температура достигла рекордных 16,9 градусов, а в столице страны Оттаве температурный рекорд дня превысил предыдущий за 1996 год почти на 10 градусов, температура достигла +17,0! В Квебеке температура достигала +10,9. А за день до этого, 23 декабря, на востоке Канады, были также побиты рекорды. В Торонто температура достигала отметки +13,2, в Монреале в +10, в Оттаве в +8,1»<sup>3</sup>.

Обратим внимание на мощную положительную аномалию ОСО на западе Северной Америки. Избыток озона в ее центре достигает 40 %. Под положительной аномалией озона на западе США аномальный холод и снегопады.

«Зимние метели обрушились на южные штаты Техас, Оклахома и Нью-Мексико. Там, где

<sup>2</sup> Аномальное тепло в Европе продолжает ставить рекорды // ВКонтакте. Фобос. Катаклизмы и катастрофы природы. 25 дек. 2015. URL: [https://vk.com/wall-21245447\\_192346?ysclid=m4fxrnzpxu803946672](https://vk.com/wall-21245447_192346?ysclid=m4fxrnzpxu803946672)

<sup>3</sup> Аномальное тепло в Канаде и на востоке США // Земля. Хроники Жизни. URL: <https://earth-chronicles.ru/news/2015-12-25-87465> (дата обращения: 08.12.2024).

снег — экзотика, вьюга намела сугробы высотой до трех метров. В Техасе коровы, свободно гулявшие на пастбищах, попали в пургу. 35 тысяч дойных животных замерзли до смерти или погибли от голода из-за невозможности достать корм из-под снега. Сообщалось, что погибло 10 % поголовья крупного рогатого скота в штате. Снежный буран проник далеко на юг и засыпал северные районы Мексики. Высота снежного покрова в этой южной стране достигала 30 см. Подобного здесь не видели последние 50 лет»<sup>4</sup>.

В зоне контакта разнознаковых аномалий ОСО в США рекордные ливни и наводнения.

*«Как это ни удивительно, но севернее на Среднем Западе вместо снега шли ливневые дожди. В штатах Миссури, Иллинойс, Арканзас разразились рекордные наводнения, которые привели к гибели людей и многочисленным разрушениям. По оценке NOAA (национальный центр США по исследованию океана и атмосферы) прошедший декабрь стал самым «мокрым» в истории страны. Огромные территории на Среднем Западе, на северо-западе и юго-востоке получили осадков в 2–4 раза больше нормы. Практически на всей территории от Атлантики до Скалистых Гор суммы осадков за месяц превысили нормы. В начале месяца ливни вызвали наводнения в штате Вашингтон»<sup>4</sup>.*

### Термические эффекты в центрах дегазации

Нагреву приземного воздуха в центрах дегазации под озоновыми аномалиями способствуют 4 процесса.

1. *Дросселирование водорода.* Эффект дросселирования состоит в том, что при расширении сжатых газов до более низкого давления без совершения внешней работы и без обмена теплом с окружающей средой их температура изменяется. Практически для всех газов в определенных РТ условиях дроссельный эффект положительный, т.е. происходит понижение температуры. У водорода же и гелия дроссельный эффект отрицательный, т.е. при расширении за дросселем происходит их нагрев. Это позволяет нам предположить, что после прохождения этих двух газов через пористые среды в подземных условиях и выхода на дневную поверхность может возникать отрицательный дроссельный эффект, т.е. нагрев, который может участвовать в повышении температуры приземного воздуха, что мы и наблюдаем в центрах дегазации под озоновыми дырами.

<sup>4</sup> Основные погодно-климатические особенности на Северном полушарии Земли в декабре 2015 года // Гидрометцентр России. URL: [evernoe-polusharie/2015-12031-2015-100?ysclid=m4fnh8gksf895654117](http://evernoe-polusharie/2015-12031-2015-100?ysclid=m4fnh8gksf895654117)

Инверсионная температура водорода, ниже которой дроссельный эффект становится положительным, т.е. газ начинает охлаждаться, равняется  $-73\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что в реальных условиях нашей планеты практически достижимо только в условиях Антарктиды. Возможно, что именно это обстоятельство определяет крайне низкие температуры в Антарктиде, например, на станции «Восток».

При оценке вклада в нагрев атмосферного воздуха дроссельного эффекта водородной дегазации следует учитывать, что большинство сопутствующих ему газов имеют положительный эффект, т.е. при выделении на дневную поверхность они охлаждаются. Эти процессы требуют экспериментального изучения.

2. *Окисление водорода и метана.* Экзотермическое окисление водорода и метана в атмосфере убедительно доказал в работах А.Ю. Ретеюма [18]. Прямые реакции водорода с кислородом при небольших концентрациях первого вполне возможны в присутствии катализаторов, которыми могут быть металлы переменной валентности, участвующие в газовом выбросе в виде металлоорганических соединений. Удельная теплота сгорания водорода в воздухе —  $140,9 \cdot 10^6$  Дж/кг; метана —  $50,1 \cdot 10^6$  Дж/кг.

Процессы окисления глубинных газов могут принимать характер взрывов, оставляющих характерные структуры: воронки, покмарки и другое.

3. *Ионизация воздуха радиоактивными газами.* Другой мощный процесс, нагревающий атмосферный воздух над центрами дегазации, связан с выделением радиоактивных газов, в первую очередь радона, который способен активно ионизировать молекулы воздушных газов. Резкое же повышение концентрации атмосферных ионов приводит к развитию каскадных процессов: выделению значительного количества скрытого тепла за счет конденсации паров воды на ионах, приводящего к резким изменениям температуры и влажности приземного слоя атмосферы, изменению проводимости атмосферы и вертикального тока в глобальной электрической цепи. Это приводит к формированию неоднородностей электронной концентрации различного масштаба в ионосфере. Отличительной особенностью наблюдаемых процессов является их исключительно высокая энергоэффективность [19]. Радон очень тяжелый газ, поэтому его транспортировка из-под земли в атмосферу связана с выбросами более легких газов-носителей (водород, метан).

4. *Распад приземного озона* с выделением теплового излучения 900 нм, концентрация которого возрастает при усилении водородной дегазации (см. выше).

### Прогностические возможности дегазационной концепции

Процесс глубинной дегазации неравномерен во времени и пространстве. Это отображено на карте центров озоновых аномалий, появившихся над Россией и сопредельными территориями в 1991–2000 гг. (рис. 6). Картировались центры с потерей ОСО более 10 %, для станции Воронеж — более 5 %.

По существу, это прогнозная карта-схема, указывающая территории, наиболее подверженные комплексу стихийных бедствий, перечисленных в нашем обзоре. Видно, что центры аномалий ОСО контролируются линейными тектоническими структурами — центрами дегазации. В местах сгущений центров из земных глубин наиболее часто проходят восстановленные газы, и сюда же приходит избыточная солнечная энергия.

Автор полагает, что данная схема может принести пользу и при строительном проектировании.

Зависимость интенсивности дегазации от гравитационного воздействия на земное ядро и центры дегазации (тектонические структуры в земной коре) Луны и Солнца и солнечной активности позволяет задумываться о временном прогнозе. Его

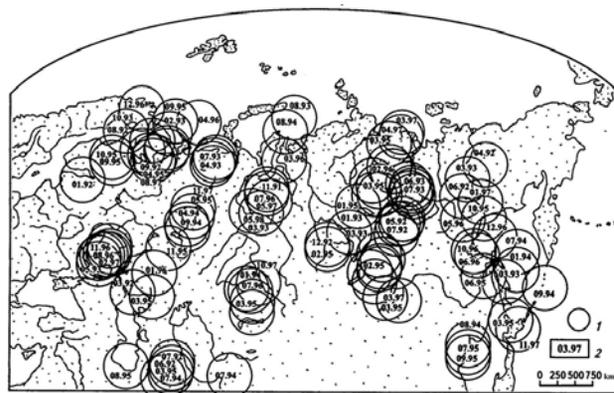


Рис. 6. Центры озоновых аномалий над территорией России и сопредельных стран в 1991–2000 гг. Схема составлена по оперативным данным Центральной аэрологической обсерватории (г. Долгопрудный): 1 — центр аномалии; 2 — месяц и год фиксации аномалии

детальная разработка может быть организована на базе анализа временных рядов водорода в различных геологических структурах планеты. Одновременно газовый мониторинг станет проверкой достоверности дегазационной концепции глобальных катастроф.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы «Режимы петрогенеза внутренних геосфер Земли».

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Чижевский А.Л. Космический пульс жизни. Земля в объятиях Солнца. Гелиотараксия. М. : Мысль, 1995. 767 с.
2. Сывороткин В.Л. Дегазация Земли и разрушение озонового слоя // Природа. 1993. № 9. С. 35–45.
3. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. М. : ООО «Геоинформцентр», 2002. 250 с.
4. Syvorotkin V.L. Hydrogen degassing of the earth: natural disasters and the Biosphere // Man and the Geosphere / Ed. Igor V. Florinsky. New York : Nova Science Publishers, 2010. Pp. 307–347. EDN UEKVBN.
5. Кондратович В.П. Озоносфера и климат // Человек и стихия. СПб. : Гидрометеиздат, 1991. С. 50–53.
6. Перов С.П., Хргиан А.Х. Современные проблемы атмосферного озона. Л. : Гидрометеиздат, 1980. 287 с.
7. Маракушев А.А., Маракушев С.А. Происхождение и флюидная эволюция Земли // Пространство и Время. 2010. № 1. С. 98–118.
8. Хитаров Н.И., Войтов Г.И. Твердые приливы и дегазация Земли // Природа. 1982. № 3. С. 6–12.
9. Голубов Б.Н., Звягинцев А.М., Крученицкий Г.М., Сывороткин В.Л. О возможном влиянии на химию стратосферы процессов дегазации недр в условиях якутской зимы // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть и газ : мат. Междунар. конф. памяти акад. П.Н. Кропоткина, 20–24 мая 2002 г., г. Москва. М. : ГЕОС, 2002. С. 65–68.
10. Белоусов В.В. Последствия разрушения озонового слоя для биосферы // Изв. АН СССР. Сер. Биология. 1991. № 2. С. 242–254.
11. Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. Биология. М. : Мир, 1990. Т. 1. 373 с.
12. Чубарова Н.Е. Глобальные изменения аэрозоля, облачности и ультрафиолетовой радиации // Современные глобальные изменения природной среды. М. : Научный мир, 2006. Т. 1. С. 55–67.
13. Белан Б.Д. Озон в тропосфере. Томск : изд-во ИОА СО РАН, 2010. 488 с.
14. Grewe V. The origin of ozone // Atmos. Chem. Phys. 2006. Vol. 6. No. 6. Pp. 1495–1511.
15. Котельников С.Н. Новая экологическая угроза для России — приземный озон. Его влияние на здоровье человека, животных и растения // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 5. Человек и три окружающие его среды. М. : Янус-К, 2013. С. 171–179.
16. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация, озоновый слой, погодные аномалии и природные катастрофы зимы 2012–2013 гг.: снежный шторм, ледяные дожди, природные пожары, массовая гибель рыбы, взрыв на шахте, челябинский болид // Пространство и Время. 2013. № 1. С. 162–173.

17. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация и природные катаклизмы в 2011 году: летняя жара и лесные пожары; массовая гибель биоты // *Пространство и Время*. 2011. № 3 (5). С. 162–169.
18. Reteyum A.Yu. Warming of Antarctica as a Degassing Consequence // *Journal of Geoscience and Environment Protection*. 2021. Vol. 9. No. 2. Pp. 17–41. DOI: 10.4236/gep.2021.92002
19. Пулинец С.А., Узунов Д.П., Карелин А.В., Давиденко Д.В. Физические основы генерации краткосрочных предвестников землетрясений. Комплексная модель геофизических процессов в системе литосфера–атмосфера–ионосфера–магнитосфера, инициируемых ионизацией // *Геомagnetизм и аэрономия*. 2015. Т. 55. № 4. С. 540–558. DOI: 10.7868/S0016794015040136. EDN TZMBVB.

Об авторе: **Владимир Леонидович Сывороткин** — доктор геолого-минералогических наук, геологический факультет; **Московский государственный университет (МГУ) имени М.В. Ломоносова**; 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы,; e-mail: hlozon@mail.ru.

## REFERENCES

1. Chizhevsky A.L. *Cosmic pulse of life. Earth in the arms of the Sun. Heliotaraxia*. Moscow, Mysl Publ., 1995; 767. (rus.).
2. Syvorotkin V.L. Degassing of the Earth and destruction of the ozone layer. *Priroda*. 1993; 9:35-45.
3. Syvorotkin V.L. *Deep degassing of the Earth and global catastrophes*. Moscow, LTD “Geoinformcenter” Publ., 2002; 250. (rus.).
4. Syvorotkin V. Hydrogen degassing of the earth: natural disasters and the biosphere. *Man and the Geosphere*. Ed. Igor V. Florinsky. New York, Nova Science Publishers, 2010; 307-347. EDN UEKVBN.
5. Kondratovich V.P. Ozonosphere and climate. *Man and the Elements*. Saint Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 1991; 50-53. (rus.).
6. Perov S.P., Khrgian A.Kh. *Modern problems of atmospheric ozone*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1980; 287. (rus.).
7. Marakushev A.A., Marakushev S.A. Origin and fluid evolution of the Earth. *Space and Time*. 2010; 1:98-118. (rus.).
8. Khitarov N.I., Voitov G.I. Solid tides and degassing of the Earth. *Priroda*. 1982; 3:6-12. (rus.).
9. Golubov B.N., Zvyagintsev A.M., Kruchenitsky G.M., Syvorotkin V.L. On the possible influence of subsoil degassing processes on stratosphere chemistry under the conditions of the Yakut winter. *Degassing of the Earth: geodynamics, geofluids, oil and gas. Proceedings of the international conference in memory of academician P.N. Kropotkin, May 20–24, 2002, Moscow*. Moscow, GEOS Publ., 2002; 65-68. (rus.).
10. Belousov V.V. Consequences of ozone layer destruction for the biosphere. *Bulletin of the USSR Academy of Sciences. Series: Biology*. 1991; 2:242-254. (rus.).
11. Green N., Stout W., Taylor D. *Biology*. Moscow, Mir Publ., 1990; 1:373. (rus.).
12. Chubarova N.E. Global changes in aerosol, cloudiness and ultraviolet radiation. *Modern global changes in the natural environment*. Moscow, Nauchny Mir Publ., 2006; 1:55-67. (rus.).
13. Belan B.D. *Ozone in the troposphere*. Tomsk, Publishing House of the Institute of Atmospheric Optics SB RAS Publ., 2010; 488. (rus.).
14. Grewe V. The origin of ozone. *Atmos. Chem. Phys*. 2006; 6(6):1495-1511.
15. Kotelnikov S.N. New environmental threat to Russia — ground-level ozone. Its impact on human, animal and plant health. *Atlas of time variations of natural, anthropogenic and social processes. Vol. 5. Man and three environments surrounding him*. Moscow, Janus-K Publ., 2013; 171-179. (rus.).
16. Syvorotkin V.L. Deep degassing, ozone layer, weather anomalies and natural disasters of the winter of 2012–2013: snow storm, freezing rain, wildfires, mass death of fish, mine explosion, Chelyabinsk bolide. *Space and Time*. 2013; 1:162-173. (rus.).
17. Syvorotkin V.L. Deep degassing and natural disasters in 2011: summer heat and forest fires; mass death of biota. *Space and Time*. 2011; 3(5):162-169. (rus.).
18. Reteyum A.Yu. Warming of Antarctica as a Degassing Consequence. *Journal of Geoscience and Environment Protection*. 2021; 9(2):17-41. DOI: 10.4236/gep.2021.92002 (rus.).
19. Pulinets S.A., Uzunov D.P., Karelin A.V., Davidenko D.V. Physical foundations of the generation of short-term earthquake precursors. A comprehensive model of geophysical processes in the lithosphere-atmosphere-ionosphere-magnetosphere system initiated by ionization. *Geomagnetism and Aeronomy*. 2015; 55(4):540-558. DOI: 10.7868/S0016794015040136. EDN TZMBVB. (rus.).

About the author: **Vladimir L. Syvorotkin** — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Faculty of Geology; **Moscow State University (MSU) named after M.V. Lomonosov**; Leninskie Gory, GSP-1, Moscow, 119991, Russian Federation; e-mail: hlozon@mail.ru.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ И ОСОБЕННОСТЕЙ БЕЗОПАСНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРИ ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ РЕГИОНАЛЬНОГО УРОВНЯ

Леонид Иванович Соколов<sup>1,2</sup>, Виктор Алексеевич Силинский<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ – РГГРУ); г. Москва, Российская Федерация;

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН); г. Москва, Российская Федерация;

<sup>3</sup> Вологодский государственный университет (ВоГУ); г. Вологда, Российская Федерация

*Изложены проблемы и особенности безопасного функционирования при экологическом воздействии на водные объекты регионального уровня. Предложены управление водными ресурсами по принципу всего водного бассейна (бассейновый принцип), а также финансовая стратегия развития управления водным объектом региона. Представлены источники, наносящие ущерб водным объектам в регионе, проведен расчет и обоснование платежей за пользование водными ресурсами, предложен механизм водопользования, соразмерный рыночным условиям. Рассматривается системно-интегрированный методологический подход к анализу водной безопасности региона для пяти ключевых элементов — критериев безопасности, на примере Вологодской области, начиная от отдельных водохозяйственных объектов, предприятий, жилых комплексов и домохозяйств. Установлен гигиенический показатель для возможности оценки потерь здоровья населения. Установлены индексы водной безопасности для каждого критерия, рассчитана водоемкость валового регионального продукта. Представлен алгоритм обеспечения водной безопасности на региональном уровне.*

**Ключевые слова:** управление водными ресурсами, бассейновый принцип, водная безопасность, региональный уровень, риски, угрозы и уязвимость водной безопасности, критерии водной безопасности, водоемкость валового регионального продукта

**Для цитирования:** Соколов Л.И., Силинский В.А. Исследование проблем и особенностей безопасного функционирования при экологическом воздействии на водные объекты регионального уровня // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2024. № 4. С. 12–20. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.12-20

## STUDY OF PROBLEMS AND FEATURES OF SAFE OPERATION IN THE ECOLOGICAL IMPACT ON WATER BODY REGIONAL LEVEL

Leonid I. Sokolov<sup>1,2</sup>, Viktor A. Silinsky<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University (MGRI – RGGRU); Moscow, Russian Federation;

<sup>2</sup> Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN); Moscow, Russian Federation;

<sup>3</sup> Vologda State University (VoSU); Vologda, Russian Federation

*The problems and features of safe functioning under environmental impact on water bodies at the regional level are described. Water resources management based on the principle of the entire water basin (basin principle), as well as a financial strategy for the development of water management in the region, are proposed. Sources causing damage to water bodies in the region are presented, payments for the use of water resources are calculated and justified, and a water use mechanism commensurate with market conditions is proposed. The article considers a systemically integrated methodological approach to the analysis of water security in the region for five key elements — safety criteria, using the example of the Vologda Oblast, starting from individual water management facilities, enterprises, residential complexes and households. A hygienic indicator has been established to assess the loss of public health. Water safety indices have been established for each criterion, and the water capacity of the gross regional product has been calculated. An algorithm for ensuring water security at the regional level is presented.*

**Keywords:** water resources management, basin principle, water security, regional level, risks, threats and vulnerability of water security, criteria of water security, water capacity of the gross regional product

*For citation: Sokolov L.I., Silinsky V.A. Study of problems and features of safe operation in the ecological impact on water body regional level. Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology. 2024; 4:12-20. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.12-20 (rus.).*

## Введение

Главным методологическим принципом исследования проблем водной безопасности является системно-интегрированный принцип. Водная безопасность измеряется наличием водного запаса в необходимом количестве для обеспечения бесперебойного доступа к питьевой воде надлежащего качества для жителей региона, сохранения экосистем, энергетики и производства, наряду с допустимым уровнем связанных водных рисков для людей, окружающей среды и экономики. Актуальность обеспечения безопасности водной системы региона зависит от реформ в жилищно-коммунальной, экономической и социальной областях. Для решения проблем водной безопасности предложен подход, характеризующий проблему водной опасности как отклонение от определенных норм и нормативов. Примерами таких отклонений могут служить: подача воды потребителю не соответствует требованиям СанПиН 2.1.3684–21<sup>1</sup> или сброс очищенных сточных вод не соответствует условиям выпуска их в водоемы<sup>2, 3</sup>.

Цель исследования: оценка водной безопасности региона по пяти ключевым элементам (критериям) водной безопасности на примере Вологодской области с целью сохранения качества существующих водных объектов и снижения уровня их загрязнения.

Для решения поставленной цели были сформулированы следующие задачи: выявить и проанализировать источники водной опасности в регионе; представить в виде функции сущность процесса обеспечения экологической безопасности предприятия в целом; провести прогнозирование различного рода рисков, потенциально способных стать реальной угрозой для водной безопасности региона; подобрать соответствующий набор ключевых параметров (критериев) для оценки водной безопасности региона.

<sup>1</sup> СанПиН 2.1.3684–21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий (с Изменениями на 15 ноября 2024 года).

<sup>2</sup> Об утверждении технологических показателей наилучших доступных технологий в сфере очистки сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений или городских округов : Постановление Правительства РФ от 15.09.2020 № 1430.

<sup>3</sup> Об утверждении Правил отнесения водных объектов к категориям водных объектов для целей установления технологических показателей наилучших доступных технологий в сфере очистки сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений или городских округов : Постановление Правительства Российской Федерации от 26 октября 2019 г. № 1379.

## Материалы и методы исследования

Основанием для оценки рисков и ущербов от сбросов сточных вод в водоемы являются критерии безопасности (ПДК — предельно-допустимые концентрации, ТН — технологические нормативы, НДС — нормативы допустимых сбросов, ВРС — временно разрешенные сбросы, НООЛР — нормативы образования отходов водоочистки и лимитов на их размещение), которые формируют условия и от которых зависит обеспечение необходимого экологического, технического, технологического состояния водохозяйственных объектов. Отклонения в работе объектов водоочистки по обеспечению допустимого качества сбрасываемой воды не должны нарушать экологическое состояние поверхностных вод, поэтому требуются дополнительные ресурсы для перехода системы очистки сточных вод в соответствие с требованиями.

Главные проблемы обеспечения водной безопасности связаны с конкретной территорией конкретного региона, выполняющего эколого-экономические функции. Водная безопасность региона — это, во-первых, текущее состояние водных объектов, во-вторых, наличие условий и факторов для перманентного доступа населения к требуемому количеству приемлемого качества воды, в-третьих, эффективность использования водных ресурсов на основе принципов ресурсосбережения, природоподобия и ресурсозамещения [1–3].

Источниками загрязнения воды в регионе являются промышленные и сельскохозяйственные предприятия, жилищно-коммунальные объекты, энергетика, транспорт и полигоны ТКО. Предприятия осуществляют сброс загрязняющих веществ в водные объекты на постоянной основе, также возможны аварийные сбросы (локальные и точечные). Существуют требования к канализационным очистным сооружениям населенных пунктов по соответствию качества сбрасываемой очищенной сточной воды (ПДК) вблизи рыбохозяйственных водных объектов.

Обеспечение водной безопасности практически любого предприятия — это ведение и контроль сбрасываемых после очистки стоков. Сущность процесса обеспечения экологической безопасности предприятия в целом можно представить в виде функции следующего вида:

$$f(C, P) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $C$  — издержки водохозяйственного объекта по соблюдению экологических норм по техноло-

гическим процессам и выпускаемой продукции, плата за ТН, НДС, ВРС, НООЛР;

*P* — потери от штрафных санкций за нарушение указанных норм, плата за превышение ТН, НДС, ВРС, НООЛР.

Таким образом, необходим интегрированный системный подход к решению вопросов обеспечения водной безопасности на уровне региона, начиная с отдельных водохозяйственных объектов, предприятий, жилых комплексов и домохозяйств. Региональные стратегии водной безопасности должны быть долгосрочными, признавая, что «предвидение и предотвращение» рисков более эффективно с экологической и экономической точек зрения, чем «реагирование и восстановление» при последствии аварийных событий [4].

В достижении экологической безопасности региона центральная роль принадлежит воде, так как пресная вода является наиболее важным ресурсом для региона, охватывающим всю социальную, экономическую и экологическую деятельность. Это условие для жизни в регионе — благоприятный или ограничивающий фактор для любого социального и технологического развития [5–8]. Например, город Вологда — водно-чувствительный город, в настоящее время достиг пределов роста по водному фактору, так как городу требуется в сутки 130 тыс. м<sup>3</sup> воды, а источником водоснабжения является река Вологда, имеющая расход в меженный период также 130 тыс. м<sup>3</sup> в сутки.

Управление рисками предполагает прогнозирование различных видов рисков, которые могут представлять реальную угрозу водной безопасности региона, и их предотвращение на приемлемом уровне. Например, в городах Великом Устюге и Красавино Вологодской области существуют системы управления рисками наводнений, которые минимизируют потенциальное негативное воздействие на экономику. Однако эта система несовершенна и в 2019 г. жители деревень Коромыслово и Запань Великоустюгского района были изолированы из-за наводнения, когда уровень реки Сухоны достиг критической отметки в 720 см в Великом Устюге. Между тем в Вологодском муниципалитете и Вологодском районе принцип предотвращения наводнений в паводковый период не был применен, в 2021 г. из-за паводка были затоплены район «Прибрежный» (г. Вологда) и поселок Сосновый берег у деревни Новое Вологодского района. Изначально поселок был возведен в зоне затопления, что не исключило загрязнения реки Тошни хозяйственно-бытовыми стоками, а микрорайон «Прибрежный» по проекту был построен в исторической части города (район неолита) без учета гидрологического режима реки Вологды. Управ-

ление рисками водной безопасности уже на стадии проектирования требует учета и контроля всех факторов: от климатических и экологических до экономических и социальных, что не было принято для названных выше объектов.

На предприятиях водохозяйственных объектов также необходим управленческий учет и контроль за работой как отдельных сооружений, так и всего комплекса водоподготовки и очистки сточных вод. Пример: на станции водоподготовки г. Вологды в 2022 г. произошла крупная авария, приведшая к остановке подачи питьевой воды в городские сети водоснабжения на несколько часов. Причиной стал низкий контроль за эксплуатацией фильтров.

Развитие водной безопасности в регионе основывается на следующих принципах: обеспечение населения водой надлежащего качества; снижение риска наводнений и загрязнения окружающей среды; проведение водовосстановительных мероприятий по нормализации состояния речных бассейнов; повторное использование и экономия потребления воды во всех отраслях промышленного и хозяйственного производства.

Для оценки региональной водной безопасности можно выбрать соответствующий набор ключевых параметров, отражающих как решаются ключевые водные проблемы на региональном уровне. Оценка этих ключевых параметров по пятибалльной шкале, например от 1 (неудовлетворительно) до 5 (отлично), может быть абсолютной или относительной и основываться на опубликованных данных или экспертных оценках. Результаты могут быть представлены в виде пентаграммы.

Оценим ключевые элементы (критерии) водной безопасности региона на примере Вологодской области. Критерий 1 «Водная безопасность жилых зданий и домохозяйств» включает четыре составляющие: доступ населения к водопроводным сетям (89,4 % — Вологодская область), степень обеспеченности питьевой водой, отвечающей санитарным требованиям (51,9 % — Вологодская область), доступ к канализации (89,4 % — Вологодская область), оценка уровня гигиены в регионе. Гигиенический показатель предлагается устанавливать по адаптированной методике расчета DALY (Disability-adjusted life year — интегральный показатель состояния здоровья населения) для возможности оценки потерь здоровья населения, не приводящих к смертельному исходу, на примере заболевания диареей на 100 тыс. населения в год [9]. В данной работе при расчете критерия 1 принимался общий показатель заболевания диареей в Вологодской области, он составил в 2023 г. 5508 случаев на 100 000 человек. Рассчитаем этот показатель по формуле:

$$ГП = \frac{N \cdot 100\,000}{\bar{S}}, \quad (2)$$

где ГП — гигиенический показатель;

$N$  — число выявленных случаев заболевания;

$\bar{S}$  — среднегодовая численность населения.

Для Вологодской области гигиенический показатель составил 468,1.

Критерий 1 направлен на обеспечение всеобщего доступа к безопасной питьевой воде, при этом оценивается доля населения, пользующегося улучшенным источником питьевой воды, доступной в необходимом количестве, не содержащей химических загрязнений.

Рассмотрим подробнее ситуацию в Вологодской области (табл. 1).

Системы водоснабжения населенных пунктов Вологодской области состоят из следующих элементов: водозаборные сооружения; объекты водоподготовки; насосные станции; водопроводные сети. Надежное обеспечение всех людей чистой водой и нормальными санитарными условиями должно стать главным приоритетом руководителей регионов [10].

Критерий 2 «Водоотведение и очистка сточных вод. Уровень региона». Критерий оценивает работу

**Таблица 1.** Доля населения Вологодской области, обеспеченного водоснабжением и канализацией при общей численности 1 176 689 чел.

Показатель	Доля, %
Обеспеченность питьевой водой в соответствии с санитарными требованиями	45,6
То же городского населения	51,9
Обеспеченность централизованным водоснабжением	89,4
То же нецентрализованным водоснабжением	10,6
Обеспеченность централизованной канализацией	15,1
Без центральной канализации	66,5
Без канализации вообще	18,4

**Таблица 2.** Эффективность очистных сооружений водоотведения в Вологодской области

Показатели качества	Эффективность очистки, %
Очищаются до нормативного качества при сбросе в водоем	23,5
Недостаточно очищенные сточные воды при сбросе в водоем	65,6
Сброс без очистки	10,9

городских водохозяйственных объектов и включает такие действия: водоотведение и очистка сточных вод, включая поверхностный дождевой сток. Критерий 2 отслеживает долю сточных вод, поступающих от жилых комплексов, домашних хозяйств, служб и промышленных предприятий, которые подвергаются безопасной очистке перед сбросом в водоемы.

Задача оценки по критерию 2 направлена на сокращение доли неочищенных сточных вод, сбрасываемых в водоемы региона. Выделим три составляющие критерия 2: очистка стоков до нормативного качества, недостаточно очищенные сточные воды и сточные воды, сбрасываемые в водоем без очистки.

В настоящее время очистке подлежат 210,3 млн м<sup>3</sup> сточных вод, образующихся как при использовании воды в хозяйственной деятельности, так и поверхностном стоке с территорий и поступающих на очистные сооружения водоотведения с разной эффективностью очистки (табл. 2). Неудовлетворительная работа сооружений объясняется перегрузкой по гидравлике, несовершенством конструкции, неудовлетворительным техническим состоянием сооружений и вспомогательного оборудования, нарушением правил эксплуатации.

Критерий 3 «Водная безопасность экосистем региона». Показатели водной безопасности экосистем оценивают экологическое здоровье рек и являются мерой прогресса в восстановлении рек и экосистем, способствуя их оздоровлению на региональном уровне. Критерий 3 отслеживает изменения во времени в экосистемах, связанных с водой региона. Результаты наблюдений используются для определения изменений в поверхностных водных объектах, таких как озера, реки, затопленные водно-болотные угодья и водохранилища.

Оценка качества природных вод с экологических позиций основывается на базовых показателях антропогенной нагрузки, рассчитываемых по следующим основным группам параметров, которые информируют о нарушениях качества воды: рН, растворенный кислород, взвешенные вещества, химическая и биологическая потребности в кислороде, азотная группа аммония, нитритов и нитратов, фосфор фосфатов, общего железа и марганца [11]. Исследование использования подземных вод в Вологодской области показало, что общие потери составляют 3,0 % от всего объема используемых подземных вод, а 69,4 % от всего количества извлеченных подземных вод составляет сброс без какого-либо использования.

Теперь оценим экологическое здоровье рек: в Вологодской области в 52,2 % пунктах наблюдений речная вода относится к категории «загрязненная», в 45,6 % — к категории «грязная», в 2,2 % — к кате-

**Таблица 3.** Шкала значений индекса водной безопасности региона при установлении уровней составляющих критерия 3 для оценки состояния кризисности водных объектов с экологических позиций

Оценочный показатель	Уровни составляющих критерия 3 для оценки качества воды водных объектов с экологических позиций				
	5(98–100 %)	4(80–98 %)	3(70–80 %)	2(55–70 %)	1(0–55 %)
	Чистая	Умеренно загрязненная	Загрязненная	Грязная	Чрезвычайно грязная
Состояние кризисности экосистемы	Состояние обратимых изменений на пороге уязвимости		Состояние обратимых и необратимых изменений	Состояние, близкое к необратимым изменениям	
ИВБР	ИВБР = 5 или 5-й уровень	ИВБР = 4 или 4-й уровень	ИВБР = 3 или 3-й уровень	ИВБР = 2 или 2-й уровень	ИВБР = 1 или 1-й уровень

гории «чрезвычайно грязная» (р. Пельшма, р. Кошта и др.). Снижение качества поверхностных вод также связывают с низкой водностью летней межени и дождевыми паводками в осенний период. Качество воды в водных объектах Вологодской области во многом объясняется природным происхождением и фоновым антропогенным характером загрязнений (органикой, железом, нефтепродуктами).

Обозначим индекс водной безопасности региона через аббревиатуру ИВБР. Оценим уровни для составляющих Критерия 3 «Водная безопасность экосистем региона» в части использования подземных вод: 0–20 % — ИВБР = 1 или 1-й уровень; 21–35 % — ИВБР = 2; 36–60 % — ИВБР = 3; 61–90 % — ИВБР = 4; 90–100 % — ИВБР = 5. Уровни для составляющих Критерия 3 в части экологического здоровья рек региона представлены в табл. 3.

Критерий 4 «Защищенность от водной стихии». Типы опасностей, индикаторы угроз и уязвимости (риски): наводнения, затопление прибрежных зон, включая водоохранные. Критерий отражает способность защищаться и восстанавливаться после воздействия связанных с водой бедствий. Подверженность территории Вологодской области указанным воздействиям остается актуальной. Примеры: заторные наводнения и затопление части территории г. Великий Устюг (р. Сухона), затопление прибрежных территорий г. Вологды (р. Вологда) и дважды в год (осенью и весной) территорий вдоль реки Сухоны, которая становится «антирекой» и несет свои воды вспять. В природе существуют реки, которые время от времени текут вспять. Например, р. Волхов на северо-западе Европейской части России, в Новгородской и Ленинградской областях, р. Сухона (Вологодская область), р. Чикаго (США). Естественно, они несут загрязнения обратно к населенным пунктам и городам.

Критерий 5 «Экономическая водная безопасность» включает в себя промышленную, энергетическую, сельскохозяйственную водные безопасности и водную безопасность сектора услуг. Этот

критерий отслеживает добавленную стоимость от количества воды (в кубических метрах), используемой в данной отрасли экономической деятельности. Критерий учитывает водопользование во всех видах экономической деятельности, уделяя особое внимание сельскому хозяйству, энергетике, сфере услуг и промышленности, и оценивает эффективное и рациональное использование водных ресурсов, включая рециркуляцию и повторное использование воды в производстве.

Водоёмкость валового регионального продукта для региона можно рассчитать по формуле:

$$\frac{Q_1 + Q_2 - Q_3 - Q_4 - Q_5 - Q_6 + Q_7}{ВРП}, \text{ м}^3/\text{тыс. руб.}, \quad (3)$$

где  $Q_1$  — годовое потребление свежей воды,  $\text{м}^3$ ;  
 $Q_2$  — годовой объём оборотного водоснабжения и повторного использования воды в отраслях экономики региона,  $\text{м}^3$ ;  
 $Q_3$  — потери подземных вод из самоизливающихся скважин без использования (на территории Вологодской области сброс без какого-либо использования составляет 69,4 % от всего количества извлеченных подземных вод),  $\text{м}^3$ ;  
 $Q_4$  — потери воды из оборотных охлаждающих водосистем на испарение, капле- и брызгоунос (2,5–3 %),  $\text{м}^3$ ;  
 $Q_5$  — потери воды с влажными шламами и осадками от очистки воды и водоподготовки (около 5 %),  $\text{м}^3$ ;  
 $Q_6$  — потери воды из сетей водоснабжения городов в результате утечек из-за неплотностей оборудования и изношенности трубопроводов (в старых городах региона могут достигать 20 %)  $\text{м}^3$ ;  
 $Q_7$  — использование дождевых и талых вод (реализуется в небольшом количестве на ряде предприятий в хозяйственных целях),  $\text{м}^3$ ;  
 ВРП — валовой региональный продукт, тыс. руб.  
 Расчет показал, что водоёмкость ВРП Вологодской области составляет  $B = 18,2 \text{ м}^3/\text{тыс. руб.}$

К крупнейшим водопотребляющим предприятиям Вологодской области относятся производства металлургической, химической и целлюлозно-бумажной промышленности, на долю которых приходится 46,1 % отраслевой структуры ВРП по видам экономической деятельности. Коэффициент водосбережения за счет оборотного и повторного использования воды достигает 97,5 % в ОАО «Северсталь» и более 95 % в ОАО «Аммофос» и «Азот» (предприятия ФосАгро). На многих предприятиях Вологды и Сокола коэффициент водосбережения за счет оборотного водоснабжения составляет от 30 до 50 % [12–15].

### Результаты исследования

Оценка водной безопасности региона определяется по каждому из пяти ключевых критериев по шкале от 1 до 5. Пентаграмма, построенная на основании средних баллов по каждому критерию водной безопасности (рис.), показывает, что водная безопасность Вологодской области имеет взаимосвязь с другими взаимозависящими друг от друга внутренними элементами. Представим полученные статистические данные по каждому из 5 оценочных критериев водной безопасности. Если индекс водной безопасности региона = 1 (уровень 1), то водная ситуация в регионе небезопасна и существует значительный разрыв между текущей ситуацией и приемлемым уровнем водной безопасности. При уровне ИВБР = 5 регион считается показательным по управлению водными ресурсами и имеет максимально возможный уровень водной безопасности; ИВБР = 4 — уровень водной безопасности эффективный; при ИВБР = 3 — хороший; при ИВБР = 2 — удовлетворительный уровень водной безопасности.

Оценим данные уровни для составляющих Критерия 1 «Водная безопасность жилых зданий и домохозяйств»: доступ населения к водопроводным сетям, степень обеспеченности питьевой водой, отвечающей санитарным требованиям, доступ к канализации (0–60 % — ИВБР = 1; 60–70 % — ИВБР = 2; 70–80 % — ИВБР = 3; 80–90 % — ИВБР = 4; 90–100 % — ИВБР = 5), оценка уровня гигиены в регионе (750–1500 и более — ИВБР = 1; 450–750 — ИВБР = 2; 150–450 — ИВБР = 3; 75–150 — ИВБР = 4; 0–75 — ИВБР = 5).

Результаты расчета для составляющих Критерия 1 по «Водной безопасности жилых домов и домохозяйств в Вологодской области»: доступ населения к централизованному водоснабжению — ИВБР = 4, качество питьевого водоснабжения — ИВБР = 1, доступ к системам водоотведения — ИВБР = 4, уровень гигиены в регионе — ИВБР = 2.

Уровни и соответствующие им проценты для составляющих Критерия 2: очистка стоков до нор-

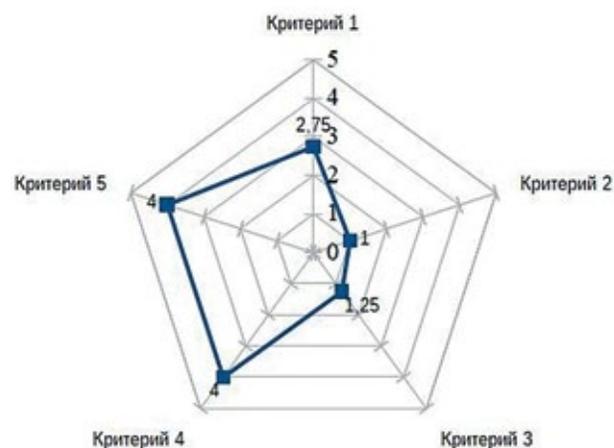
мативного качества — ИВБР = 1, недостаточно очищенные сточные воды и сточные воды — ИВБР = 2 (0–60 % — ИВБР = 1; 60–70 % — ИВБР = 2; 70–80 % — ИВБР = 3; 80–90 % — ИВБР = 4; 90–100 % — ИВБР = 5), сбрасываемые в водоем без очистки — ИВБР = 1 (всегда 1).

Результаты расчета для составляющих Критерия 3 по «Водной безопасности экосистем в Вологодской области»: нагрузка и угрозы речным экосистемам в результате изменения (ухудшения) характеристик водосборной площади — ИВБР = 2 по экспертным оценкам из-за наличия животноводческих комплексов, ферм, пастбищ на водосборных площадях и прибрежных территориях, загрязнение речной экосистемы в зависимости от класса качества: чистая — нет, умеренно загрязненная — нет, загрязненная — ИВБР = 1, грязная — ИВБР = 1, чрезвычайно грязная — ИВБР = 1, эффективность использования подземных вод — ИВБР = 2, устойчивость к изменениям природных стоков в связи со строительством водной инфраструктуры и показателями биологических факторов — ИВБР = 4.

Оценка критерия 4 «Защищенности от водной стихии» основана на данных, представленных опытными региональными экспертами, и составляет: ИВБР = 4.

Оценка критерия 5 «Водная безопасность экономики» базируется на мнении опытных региональных экспертов с учетом водоемкости валового регионального продукта и составляет ИВБР = 4.

При построении пентаграммы учитывали средне-взвешенный показатель (ИВБР) по каждому критерию: для критерия 1 — ИВБР = 2,75 (третий уровень из пяти возможных), для критерия 2 — ИВБР = 1 (по расчету 1,33, но с учетом корректирующего коэффициента 0,75 получим 1), для критерия 3 — ИВБР = 1,25, для критерия 4 — ИВБР = 4, для критерия 5 — ИВБР = 4 (рис.).



Пентаграмма водной безопасности региона (на примере Вологодской области)

Средневзвешенный показатель водной безопасности Вологодской области составил 52 %, т.е. как естественные, так и техногенные опасности носят потенциально скрытый характер.

Низкий индекс безопасности воды в регионе указывает на потенциальный риск — ту меру опасности, которую необходимо контролировать, а также частоту ее возникновения. Риск представляет собой вероятность возможной опасности, нежелательного события. Задача управления рисками заключается в устранении неопределенности, непредсказуемости и частоты опасных событий (если это возможно), т.е. в предотвращении будущих рисков. В данной работе был предложен рискориентированный подход к оценке региональной водной безопасности. Этот подход позволяет выявить «узкие места» в системе обеспечения населения необходимым количеством качественной питьевой воды и принять меры по предотвращению загрязнения водных ресурсов и устранению угроз, которые могут привести к отклонению от местных требований.

Использование подхода, основанного на оценке рисков, обеспечивает:

- выявление угроз, которые могут возникнуть в исследуемой системе водоснабжения или водохозяйственном объекте;
- потенциал возникновения в результате идентифицированных угроз;
- выявление наиболее значимых факторов, способствующих возникновению нежелательных событий (например, сбросов в водные объекты из-за отсутствия очистки или нарушения требований);
- оценку ущерба, нанесенного окружающей природной среде;
- на основе результатов анализа формулирование предлагаемых решений, направленных на минимизацию выявленных угроз.

Для характеристики опасности водной среды предлагается индекс опасности, определяемый по формуле:

$$I_0 = \sum_{i=1}^5 \frac{\text{ИВБР}_i - 5}{5}, \quad (4)$$

где ИВБР<sub>*i*</sub> — индекс водной безопасности региона по каждому критерию;

5 — наивысший балл при отличных показателях по каждому критерию.

Возможны с точки зрения риска три состояния водной системы:

- 0 — приемлемый риск, водная система на пороге уязвимости;
- от 0 до минус 10 — состояние обратимых и необратимых изменений в водной системе, переходный показатель очевидного риска;
- менее или равно минус 10 — состояние, близкое к необратимым изменениям, неприемлемый риск. Учитывая данные пентаграммы, индекс водной опасности для Вологодской области составляет  $I_0 = -2,4$ . Это потенциальная опасность и показатель очевидного риска.

## Выводы

Разработана методология анализа водной безопасности на уровне региона для пяти ключевых элементов — критериев безопасности. Средневзвешенный показатель водной безопасности Вологодской области составляет 52 %. На основании проведенных исследований установлены индексы водной безопасности по каждому критерию, рассчитана водоемкость валового регионального продукта региона. Предложены рискориентированный подход к оценке водной безопасности региона и формула определения индекса водной опасности.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Grey D., Sadoff C.W. Sink or swim? Water security for growth and development // Water Policy. 2007. No. 9 (6). Pp. 545–571. DOI: 10.2166/wp.2007.021
2. Кумзеров В.М. Водная стратегия России и проблемы водохозяйственного комплекса регионов Северо-Западного федерального округа // Экономические и социальные перемены в регионе. 2009. № 4 (8). С. 61–72. EDN JVGRFI.
3. Скитер Н.Н. Экономико-математическая модель регулирования выбросов производственного сектора // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2012. № 1. С. 214–219.
4. Скитер Н.Н., Рогачев А.Ф., Плещенко Т.В. Математическая модель регулирования вредных производственных выбросов для обеспечения эколого-экономической безопасности // Fundamental and applied sciences today. 2013. Vol. 2. С. 253–258.
5. Clasen T. Household water treatment and safe storage to prevent diarrheal disease in developing countries // Current Environmental Health Reports. 2015. No. 2 (1). Pp. 69–74. DOI: 10.1007/s40572-014-0033-9
6. Guidelines for Drinking-Water Quality: Fourth Edition Incorporating the First Addendum. 2017. 628 p.

7. Collivignarelli M.C., Abbà A., Sorlini I., Torretta V., Benigna I. Overview of the main disinfection processes for wastewater and drinking water treatment plants // *Sustainability*. 2018. Vol. 10 (1). P. 86. DOI: 10.3390/su10010086
8. Montgomery M.A., Elimelech M. Water and Sanitation in Developing Countries: Including Health in the Equation // *Environmental Science & Technology*. 2007. Vol. 41. No. 1. Pp. 17–24. DOI: 10.1021/es072435t
9. Jen-Jeng Chen, Hsuan-Hsien Yeh. The mechanisms of potassium permanganate on algae removal // *Water Research*. 2005. Vol. 39. No. 18. Pp. 4420–4428. DOI: 10.1016/j.watres.2005.08.032
10. Самбурский Г.А. Обеспечение населения безопасной питьевой водой с учетом потребительского поведения // *Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения*. 2020. № 3. С. 40–52. EDN LCTHCV.
11. Bilotta P., Steinmetz R.L.R., Kunz A., Mores R. Swine effluent post-treatment by alkaline control and UV radiation combined for water reuse // *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 140. Pp. 1247–1254. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.10.033
12. Jin Y., Wang Y., Huang Q., Cui L., Yong C., Zhu L. The performance and applicability study of a fixed photovoltaic-solar water disinfection system // *Energy Conversion and Management*. 2016. Vol. 123. Pp. 549–558. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.06.073
13. Husam Damem Al-Hamaiedeh. Use of the Dead sea brine as electrolyte for electrochemical generation of active chlorine // *Desalination and water treatment*. 2013. Vol. 51. Pp. 3521–3526. DOI: 10.1080/19443994.2012.749576
14. Franco J.C., Lyla Mehta, Gert Jan. The global politics of water grabbing jennifer franco // *Veldwisch Published online*. 2013. Vol. 21. Pp. 1751–1785. DOI: 10.1080/01436597.2013.843852
15. Тюленева Т.А., Кабанов Е.И. Использование риск-ориентированного подхода в управлении профессиональными рисками взрыва метана и пыли на угледобывающем предприятии // *Техника и технология горного дела*. 2021. № 2 (13). С. 13–32. DOI: 10.26730/2618-7434-2021-2-13-32. EDN IFDAOX.

Об авторах: **Леонид Иванович Соколов** — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник; **Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН)**; 127238, г. Москва, Локомотивный пр-д, д. 21; профессор кафедры «Строительство систем и сооружений водоснабжения и водоотведения»; **Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ – РГГРУ)**; 117485, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая д. 23; e-mail: sokolovli@mail.ru;

**Виктор Алексеевич Силинский** — аспирант кафедры теплогазоводоснабжения, инженерно-строительный институт; **Вологодский государственный университет (ВоГУ)**; 160000, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15; e-mail: viktor.silinsky@yandex.ru.

## REFERENCES

1. Grey D., Sadoff C.W. Sink or Swim? Water security for growth and development. *Water Policy*. 2007; 9(6):545-571. DOI: 10.2166/wp.2007.021
2. Kumzerov V.M. Water strategy of Russia and problems of water management complex of regions of the Northwestern Federal District. *Economic and social changes in the region*. 2009; 4(8):61-72. EDN JVGRFI. (rus.).
3. Skiter N.N. Economic and mathematical model for regulating emissions from the production sector. *News of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2012; 1:214-219. (rus.).
4. Skiter N.N., Rogachev A.F., Pleshchenko T.V. Mathematical model of regulation of harmful industrial emissions to ensure environmental and economic safety. *Fundamental and applied sciences today*. 2013; 2:253-258. (rus.).
5. Clasen T. Household water treatment and safe storage to prevent diarrheal disease in developing countries. *Current Environmental Health Reports*. 2015; 2(1):69-74. DOI: 10.1007/s40572-014-0033-9
6. *Guidelines for Drinking-Water Quality: Fourth Edition Incorporating the First Addendum*. 2017; 628.
7. Collivignarelli M.C., Abbà A., Sorlini I., Torretta V., Benigna I. Overview of the main disinfection processes for wastewater and drinking water treatment plants. *Sustainability*. 2018; 10(1):86. DOI: 10.3390/su10010086
8. Montgomery M.A., Elimelech M. Water and Sanitation in Developing Countries: Including Health in the Equation. *Environmental Science & Technology*. 2007; 41(1):17-24. DOI: 10.1021/es072435t
9. Jen-Jeng Chen, Hsuan-Hsien Yeh. The mechanisms of potassium permanganate on algae removal. *Water Research*. 2005; 39(18):4420-4428. DOI: 10.1016/j.watres.2005.08.032
10. Sambursky G.A. Providing the population with safe drinking water taking into account consumer behavior. *Best available technologies for water supply and sanitation*. 2020; 3:40-52. EDN LCTHCV. (rus.).

11. Bilotta P., Steinmetz R.L.R., Kunz A., Mores R. Swine effluent post-treatment by alkaline control and UV radiation combined for water reuse. *Journal of Cleaner Production*. 2017; 140:1247-1254. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.10.033
12. Jin Y., Wang Y., Huang Q., Cui L., Yong C., Zhu L. The performance and applicability study of a fixed photovoltaic-solar water disinfection system. *Energy Conversion and Management*. 2016; 123:549-558. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.06.073
13. Husam Damem Al-Hamaiedeh. Use of the Dead sea brine as electrolyte for electrochemical generation of active chlorine. *Desalination and water treatment*. 2013; 51:3521-3526. DOI: 10.1080/19443994.2012.749576
14. Franco J.C., Lyla Mehta, Gert Jan. The Global Politics of Water Grabbing Jennifer Franco. *Veldwisch Published online*. 2013; 21:1751-1785. DOI: 10.1080/01436597.2013.843852
15. Tyuleneva T.A., Kabanov E.I. Using a risk-oriented approach in managing professional risks of methane and dust explosion at a coal mining enterprise. *Mining Engineering and Technology*. 2021; 2(13):13-32. DOI: 10.26730/2618-7434-2021-2-13-32. EDN IFDAOX. (rus.).

About the authors: **Leonid I. Sokolov** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher at the Research; **Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN)**; 21 Lokomotivny passage, Moscow, 127238, Russian Federation; Professor of the Department “Construction of Water Supply and Sanitation Systems and Structures”; **Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University (MGRI – RGGRU)**; 23 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117485, Russian Federation; e-mail: sokolovli@mail.ru;

**Viktor A. Silinsky** — Postgraduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education; **Vologda State University (VoSU)**; 15 Lenin st., Vologda, 160000, Russian Federation; e-mail: viktor.silinsky@yandex.ru.

## SMART-ТЕХНОЛОГИИ В АРХИТЕКТУРЕ ДЕТСКИХ РАЗВИВАЮЩИХ ЦЕНТРОВ

**Татьяна Викторовна Ворончихина, Людмила Владимировна Анисимова**

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

*В статье анализируются архитектурно-планировочные приемы энергоэффективных детских развивающих центров, а также SMART-технологии, применяемые в развитии и экологическом обучении детей. На основе системного подхода анализу подвергаются связи между элементами и подсистемами, их степень автономности и возможность апгрейда каждой составляющей. Определенная степень свободы элементов позволяет всей системе развиваться более устойчиво. Рассматривается влияние игровых SMART-технологий, заложенных в обучающие программы детских развивающих центров, на снижение негативного влияния объекта на экосистему. Действующие полезные модели внедряются в архитектуру детского развивающего центра, что наглядно демонстрирует преимущества новых энергоэффективных систем в эксплуатации объекта для воспитанников. Выявлены экологические преимущества архитектурно-планировочных приемов, учитывающих энергобережение и сокращение энергопотребления с использованием игровых смарт-технологий. Анализ реализованных объектов, удостоенных сертификации LEED®, позволяет выявить экологические преимущества устойчивого развития архитектуры объекта и синергетического эффекта в воспитательных процессах нового поколения детей.*

**Ключевые слова:** устойчивое развитие, SMART-технологии, эффективность архитектурно-планировочного решения, детский развивающий центр

**Для цитирования:** Ворончихина Т.В., Анисимова Л.В. SMART-технологии в архитектуре детских развивающих центров // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2024. № 4. С. 21–31. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.21-31.

## SMART TECHNOLOGIES IN THE ARCHITECTURE OF CHILDREN'S DEVELOPMENT CENTERS

**Tatyana V. Voronchikhina, Liudmila V. Anisimova**

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

*The article analyzes the architectural and planning techniques of energy-efficient children's development centers, as well as SMART technologies used in children's development and environmental education. Based on a systematic approach, the analysis examines the relationships between elements and subsystems, their degree of autonomy and the possibility of upgrading each component. A certain degree of freedom of elements allows the entire system to develop more sustainably. The influence of gaming SMART technologies embedded in the educational programs of children's development centers on reducing the negative impact of the facility on the ecosystem is considered. Existing utility models are being implemented in the architecture of the children's development center, which clearly demonstrates the advantages of new energy-efficient systems in the operation of the facility for students. The ecological advantages of architectural and planning techniques that take into account energy conservation and reduced energy consumption using gaming smart technologies have been identified. An analysis of implemented facilities that have been awarded LEED® certification allows us to identify the environmental benefits of sustainable architectural development and the synergistic effect in the educational processes of a new generation of children.*

**Keywords:** sustainable development, SMART technologies, efficiency of architectural planning solution, children's development center

**For citation:** Voronchikhina T.V., Anisimova L.V. SMART technologies in the architecture of children's development centers. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2024; 4:21-31. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.21-31 (rus.).

Архитектура детских развивающих центров в настоящее время находится в процессе формирования новой типологии. Разработка теоретико-прикладных основ формирования новой типологии должна осуществляться на основе современных подходов устойчивого развития. Типологическая

модель образовательного центра должна удовлетворять потребностям нынешних и будущих поколений, поставивших перед собой цель сохранения окружающей среды. Воспитание детей на принципах устойчивого развития должно иметь инновационно-опережающий характер [1]. Демонстрация

инновационных технологий должна быть реализована в здании, демонстрирующем этот подход. Энергоэффективные здания выступают в роли образовательных лабораторий для приобщения детей к искусству, естественным наукам и учат бережному отношению к окружающей среде [2]. Современная образовательная система в детских развивающих центрах невозможна без применения игровых технологий. Игровой процесс становится не просто средством развлечения детей, он является способом обучения. Развитие информационных технологий является движущей силой не только в образовательных процессах, но и в других сферах жизнедеятельности людей, поэтому вопрос внедрения игровых смарт-технологий в пространства детских развивающих центров становится одним из ключевых для современного общества.

Целью исследования является выявление экологических преимуществ интеграции смарт-технологий в пространства детских развивающих центров с позиций системного подхода.

Исследования, посвященные типологии обучающих пространств, достаточно широко представлены в трудах следующих авторов: А.Л. Гельфонд [3], А.В. Попов [4], Т.Ю. Быстрова [5], С.А. Исакова [6], С.А. Истомин [7], О.В. Масловская [8], О.В. Лилуева [9] и многих других. Вопросам экологического воспитания и внедрения «зеленых технологий» в образовательные учреждения посвящены работы И.С. Родионовской [10], В.А. Павловой [11], Л.Б. Кологривовой [12], А.В. Антонова [13], Д.О. Бабкиной [14], Р.Ю. Яновой [14]. Исследования, посвященные системному подходу к формированию планировочной структуры образовательных центров, достаточно редки (С.А. Истомин [7], В.Ю. Анисимов [1]).

Опираясь на позиции системного подхода в проектировании детского развивающего центра (далее ДРЦ), необходимо приступать к исследованию сложных систем, основываясь на синергетической теории мышления. Типологическая модель инновационного объекта, как правило, является результатом эволюционных процессов перерождения устоявшейся типологии базовой модели образовательного учреждения. Эволюция сложных систем, отражающая переход системы в качественно иное состояние, и степень ее стабильности может быть описана с помощью теории бифуркации. «Чем сложнее система, тем более многочисленны типы флуктуаций, угрожающих ее устойчивости. Но в сложных системах существуют связи между различными частями. От исхода конкуренции между устойчивостью, обеспечивающейся связью, и неустойчивостью из-за флуктуаций зависит порог устойчивости системы» [15].

При проектировании сложного объекта, которым является детский развивающий центр, необходимо учитывать ряд условий и факторов, влияющих на функционирование системы. Это природно-климатические факторы и технологические условия развития страны и общества [16]. Системность предполагает структурную упорядоченность подсистем разного уровня, между которыми существуют множественные связи и на которые оказывают влияние условия и факторы окружающей среды. Для понимания работы сложных систем следует разделить сложную систему на подсистемы: материальную и социальную, которые влияют на функционирование системы ДРЦ. Материальная составляющая — это само здание, состоящее из несущих, ограждающих элементов, вертикальных коммуникаций, инженерных сетей, мебели и оборудования. Социальная составляющая системы состоит из процессов и участников этих процессов. Процессы — это обучающие, воспитательные, физиологические процессы (потребность в еде, чистом воздухе, туалете), социальные контакты. К подсистеме участников процессов относятся учащиеся, педагоги, родители, воспитатели, волонтеры (табл. 1). Для устойчивого развития всей системы подсистемы и ее элементы должны иметь определенную степень свободы и автономности. Это позволяет в случае стагнации одного из элементов корректировать, модифицировать или изменять программу каждого из элементов, не нарушая функционирования целой системы ДРЦ [1].

На фоне общей мировой тенденции снижения энергопотребления и воздействия на окружающую природную среду начал формироваться новый взгляд на конструктивные и технологические характеристики зданий, поскольку городское хозяйство является крупнейшим потребителем энергии (более 40 % потребления тепловой энергии и 20 % электричества). Глобальные энергоресурсы ограничены, что подтверждают события последних лет, и проблема разумного потребления является на сегодняшний день наиболее актуальной [17]. Проблему формирования нового типа здания ДРЦ необходимо решать на качественно новом уровне, учитывая достижения строительной отрасли в технологиях энергосбережения. Идея SMART-образования связана с обучением детей в интерактивном пространстве, которое само является обучающей средой, способной на практике демонстрировать инновационные технологии. Данная концепция основана на следующих принципах: S — self-directed (самостоятельное); M — motivated (мотивированное); A — adaptive (адаптивное); R — resource-enriched (обогащенное ресурсами и возможностями); T — technological (технологичное) [18]. Практическая реализация вышеперечисленных принципов происходит следующим образом: этап стимулирования

Таблица 1. Факторы и условия, предопределяющие проектирование системы ДРЦ

Факторы и условия, влияющие на функционирование системы ДРЦ		
Природно-климатические условия	Градостроительные факторы	Технологические факторы
Температурно-влажностный режим региона. Скорость и направление ветра. Уровень солнечной радиации. Ориентация участка проектирования. Рельеф и почвы. Гидрологические особенности. Растительность	Функционально-планировочное зонирование территории города. Транспортная инфраструктура. Пешеходная сеть. Инженерная инфраструктура. Степень экологического загрязнения. Озеленение и благоустройство	Техническое оснащение систем освещения. Техническое оснащение систем отопления и вентиляции. Техническое оснащение систем водоснабжения и водоотведения. Техническое оснащение систем теплоизоляции
		
Подсистемы, входящие в систему ДРЦ		
Подсистема «здание»	Подсистема «процессы»	Подсистема «участники процессов»
Несущие элементы здания. Ограждающие элементы здания. Вертикальные коммуникации. Инженерные сети. Оборудование. Мебель	Обучающие процессы. Воспитательные процессы. Физиологические процессы. Социальные контакты	Обучающиеся. Учителя и наставники. Воспитатели. Волонтеры. Родители. Обслуживающий персонал

познавательного интереса в образовательный процесс при помощи игровых технологий, следующий этап — применение полученных знаний на практике или в экспериментальной обучающей среде ДРЦ. В настоящее время объектами с экспериментальными пространствами становятся детские научно-образовательные и развивающие центры. Такие пространства предоставляют посетителям возможность взаимодействовать с динамическими инсталляциями, сенсорными дисплеями, инженерными и природными симуляторами, а также другими мультимедийными технологиями, которые помогают воспитанникам погрузиться в среду научной творческой и инженерной деятельности. Особую популярность набирают технологии образовательной робототехники [19].

На основе анализа реализованных объектов, получивших сертификаты «энергопассивных зданий», исследуем технологические новинки, внедренные в архитектурно-планировочное решение. Исследованию подвергнутся объекты, связанные с обучением и развитием детей: научно-экологический центр школы Нуэва (Калифорния, США, Leddy Maytum Stacy Architects 2007), школа лидерства и устойчивого развития Кэтлин Гримм (Нью-Йорк, США, Skidmore, Owings & Merrill LLP (SOM) 2015), Гавайская подготовительная академия (Камуэлла, Гавайи, Flansburgh Architects 2010), Христиан Гюйгенс колледж (Эйндховен, Нидерланды, PAU 2010). Анализ данных объектов авторами проводится согласно разделению на подсистемы. Основное внимание уделяется подсистеме здания и его

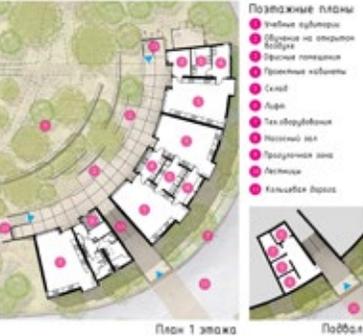
элементам. Поскольку ранее было отмечено, что эффективность функционирования системы в целом обеспечивается за счет определенной степени свободы и автономности отдельных элементов подсистемы, акцент будет смещен не только на описание функционирования каждого элемента, но и на его степень свободы.

Первый элемент подсистемы здания — это несущий конструктивный остов. Для достижения энергоэффективности и устойчивости развития системы конструктивный остов не зависит от ограждающих элементов (табл. 2).

Во всех исследуемых объектах применяется каркасная конструктивная система с монолитными перекрытиями при минимальном количестве опор или поперечные несущие стены. Такая конструктивная система, неизменно сохраняя свои несущие способности, позволяет создавать более гибкие планировочные решения пространств за счет трансформируемых перегородок. Кроме того, она допускает любую конфигурацию внешней формы [20].

Ограждающие элементы здания — это второй элемент подсистемы. Сюда входят навесные фасадные системы, эксплуатируемая кровля. В результате своей автономности эти элементы могут быстро монтироваться и демонтироваться. А также с развитием технологий, не нарушая конструктивной целостности, могут проходить процедуру апгрейда. Это своего рода интерактивные пособия, которые используются в процессе обучения. К ограждающим элементам архитектурного объекта относятся кровли, навесные фасадные системы. Они защи-

Таблица 2. Несущие элементы конструктивного остова зданий ДРЦ

Описание	Планировочное решение	Фото
<p>Здание в два этажа компактной формы, имеющее внутренний атриум. Форма плана определена минимизацией теплопотерь</p>	 <p style="text-align: center;"><i>a</i></p>	 <p style="text-align: center;"><i>b</i></p> <p>Школа лидерства и устойчивого развития Кэтлин Гримм (Нью-Йорк, США, Skidmore, Owings &amp; Merrill LLP (SOM)): <i>a</i> — план; <i>b</i> — внешний вид</p>
<p>Здание имеет 2 этажа. Форма плана определена обтекаемостью формы в условиях сильных ветров и сокращения теплопотерь</p>	 <p style="text-align: center;"><i>a</i></p>	 <p style="text-align: center;"><i>b</i></p> <p>Христиан Гюйгенс колледж (Эйндховен, Нидерланды, PAU): <i>a</i> — план; <i>b</i> — внешний вид</p>
<p>Здание в один этаж расположено на склоне. Имеет три террасы. Климатическая зона задает требования к созданию условий для хорошего проветривания</p>	 <p style="text-align: center;"><i>a</i></p>	 <p style="text-align: center;"><i>b</i></p> <p>Гавайская академия (Камуэлла, Гавайи, Flansburgh Architects): <i>a</i> — план; <i>b</i> — внешний вид</p>
<p>Здание имеет 3 этажа и 2 корпуса: библиотека с медиацентром, студенческий корпус и учебный блок с администрацией. Теплый климат позволяет разделять объем на отдельные блоки и проводить занятия на открытом воздухе</p>	 <p style="text-align: center;"><i>a</i></p>	 <p style="text-align: center;"><i>b</i></p> <p>Научно-экологический центр школы Нуэва (Калифорния, США, Leddy Maytum Stacy Architects): <i>a</i> — поэтажный план; <i>b</i> — внешний вид</p>

щают здание от внешних воздействий, обеспечивают тепло- и звукоизоляцию, а также играют немаловажную роль в процессах энергосбережения.

Ограждающие элементы зданий создают защитную оболочку как от перегрева, как в случае с объектом на Гавайях, так и защиту от теплопотерь (табл. 3).

Таблица 3. Ограждающие элементы зданий ДРЦ

Описание	Иллюстрация
<p><i>a</i> — 30-футовые сборные бетонные панели, герметично подходящие друг к другу, не требующие пароизоляции;</p> <p><i>b</i> — специальные окна на южной стороне здания, которые предохраняют помещения от излишнего перегрева; солнечные панели на кровле и с южной стороны здания аккумулируют солнечную энергию</p>	<p><i>a</i> <span style="float: right;"><i>b</i></span></p> <p>Школа лидерства и устойчивого развития Кэтлин Гримм (Нью-Йорк, США, Skidmore, Owings &amp; Merrill LLP (SOM))</p>
<p><i>a</i> — эксплуатируемая крыша здания покрыта гибкими солнечными панелями, вырабатывающими электричество, которые используются в качестве наглядного пособия при обучении;</p> <p><i>b</i> — фасадные навесные системы создают герметичное покрытие, изолирующее здание от теплопотерь</p>	<p><i>a</i> <span style="float: right;"><i>b</i></span></p> <p>Христиан Гюйгенс колледж (Эйндховен, Нидерланды)</p>
<p><i>a</i> — кровля здания защищает внутреннее пространство от солнечных лучей и несет установленные солнечные панели;</p> <p><i>b</i> — кровля защищает южный фасад здания от перегрева</p>	<p><i>a</i> <span style="float: right;"><i>b</i></span></p> <p>Гавайская подготовительная академия (Камуэлла, Гавайи, Flansburgh Architects)</p>

Описание	Иллюстрация
<p><i>a</i> — зеленые крыши поглощают и удерживают дождевую воду, площадки используются в качестве образовательных пространств;</p> <p><i>b</i> — крыша снабжена солнечными панелями, обеспечивая объект электроэнергией. Ограждающие конструкции стен выполнены из переработанных материалов</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="text-align: center;"><i>a</i> <span style="margin-left: 200px;"><i>b</i></span></p> <p>Научно-экологический центр школы Нуэва (Калифорния, США, Leddy Maytum Stacy Architects)</p>

Кровли зданий снабжены солнечными панелями, которые перерабатывают солнечную энергию в электрическую, позволяя образовательным объектам обеспечивать себя энергией. Энергоэффективность и автономность этой подсистемы позволяет производить апгрейд в случае появления технологических новинок, не создавая угрозы несущей подсистеме здания. Кроме того, элементы этой подсистемы являются учебными пособиями для воспитанников ДРЦ.

Инженерные сети — третий элемент подсистемы здания, который включает в себя системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, водоснабжения, электроснабжения. Инженерные сети представляют собой комплексную систему инженерных коммуникаций, обеспечивающих функционирование здания при минимальном потреблении энергии (табл. 4).

Все исследуемые объекты являются зданиями с нулевым воздействием на окружающую среду. Во всех объектах организован сбор дождевой воды, ее очистка и повторное использование в технических целях для туалетов. Для отопления зданий школы Кэтрин Гримм и колледжа Христиана Гюйгенса применяются тепловые насосы, использующие геотермальную воду для подогрева воздуха, который подается через системы рекуперации. В объектах, расположенных в южных зонах, формобразование кровель и мансардные окна спроектированы таким образом, чтобы осуществлялось сквозное естественное проветривание. Развитие смарт-технологий способствует повышению эффективности и уровня инноваций в области инженерии. Инженерные коммуникации могут автоматизироваться и оптимизироваться с помощью смарт-технологий. Инженерные системы проектируются таким образом, чтобы во время эксплуатации они не были

связаны с несущими и ограждающими подсистемами и были автономны [21].

Четвертой подсистемой здания является оборудование и мебель. Оборудование является устройством, благодаря которому осуществляется процесс воспитания и обучения. К нему относятся: сантехническое, кухонное, световое, инженерное и строительное, технологическое и другие. Эта подсистема также является автономной. Степень автономности определяется возможностью доступа к этому оборудованию без нарушения несущих способностей конструкций и ограждающих систем.

В школе лидерства и устойчивого развития Кэтлин Гримм установлено специальное кухонное оборудование с низким энергопотреблением, а также запроектированы системы информационных панелей. В научно-экологическом центре школы Нуэва используются сантехнические устройства со сверхнизким расходом: сантехнические приборы подключены к системе повторного использования ливневой воды. Кроме того, в образовательном здании установлено энергоэффективное освещение, в котором с помощью датчиков, реагирующих на движение человека, контролируется расход электроэнергии.

Немаловажную роль в системе проектирования ДРЦ занимают интерьерные решения, а именно: использование и размещение мебели, которая бы способствовала эффективному образовательному процессу. Современная мебель может представлять собой модульную единицу, которую легко трансформировать и объединять в блоки для удобства осуществления учебного процесса. Трансформируемая мебель обладает рядом преимуществ: экономия места, адаптация под различные задачи и потребности, многофункциональность, легкость в уходе, стильный дизайн. Так, например, в научно-экологическом центре школы Нуэва был проведен опрос среди учащихся и преподавателей, согласно которому, были учтены запросы

Таблица 4. Инженерные коммуникации зданий ДРЦ

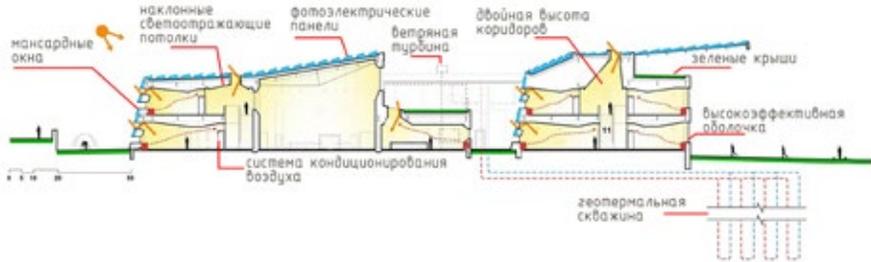
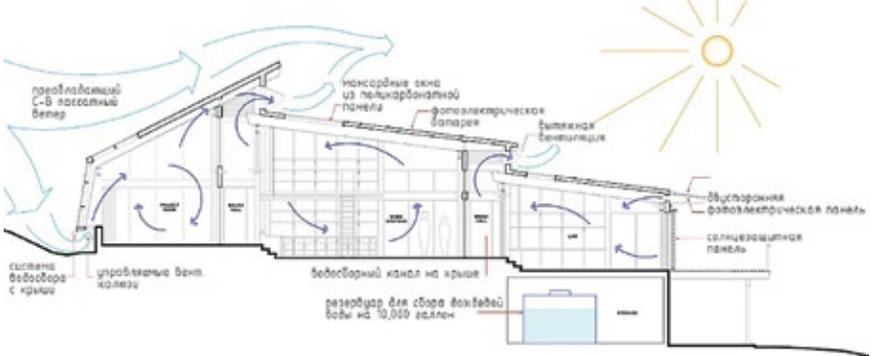
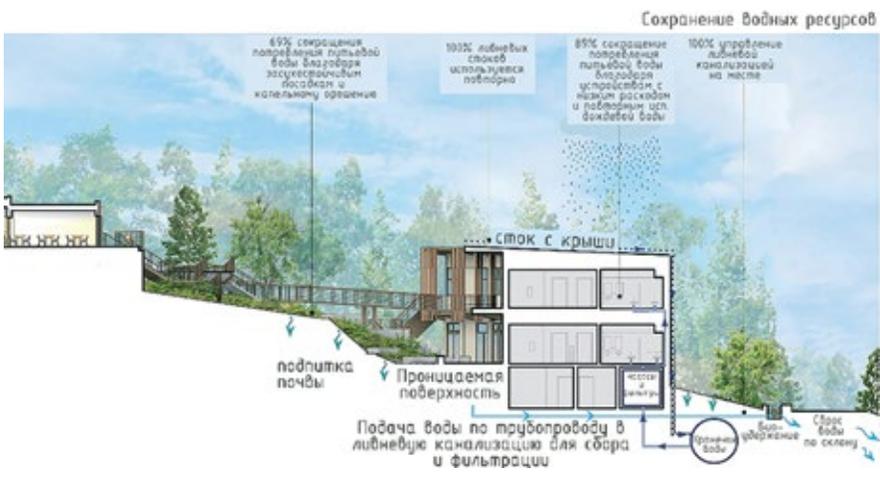
Описание	Схема
<p>Включает в себя геобменную систему отопления и охлаждения, вентиляторы с рекуперацией энергии и вентиляцию с контролем расхода</p>	 <p>Школа лидерства и устойчивого развития Кэтлин Гримм (Нью-Йорк, США, Skidmore, Owings &amp; Merrill LLP (SOM))</p>
<p>Тепловая энергия, вырабатываемая солнечными панелями на крыше, используется для обогрева спортивного центра колледжа и жилого района</p>	 <p>Христиан Гуйгенс колледж (Эйндховен, Нидерланды)</p>
<p>Благодаря установленным 250 датчикам здание имеет возможность саморегулирования систем охлаждения, обогрева, относительной влажности, выработки энергии, поддержания уровня углекислого газа. Используется система лучистого охлаждения: вода циркулирует в ночное время суток по тепловым панелям крыши и охлаждается, накапливаясь в резервуаре, а днем используется для приточно-вытяжных установок</p>	 <p>Гавайская подготовительная академия (Камуэлла, Гавайи, Flansburgh Architects)</p>
<p>Процессы очистки дождевой воды являются руководящим принципом проектирования. Повторное использование дождевых стоков позволяет существенно сократить расходы ресурсов и повысить энергоэффективность объекта</p>	 <p>Сохранение водных ресурсов</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>65% сокращение потребления питьевой воды благодаря засухоустойчивым растениям и капельному орошению</li> <li>100% ливневых стоков используется повторно</li> <li>85% сокращение потребления питьевой воды благодаря устройствам с низким расходом и повторным использованием дождевой воды</li> <li>100% управление ливневой канализацией на месте</li> </ul> <p>Научно-экологический центр школы Нуэва (Калифорния, США, Leddy Maytum Stacy Architects)</p>

Таблица 5. Процессы, протекающие в детских развивающих центрах

Наименование объекта	Описание
А — школа лидерства и устойчивого развития Кэтлин Гримм (Нью-Йорк, США, Skidmore, Owings & Merrill LLP (SOM))	Рассматриваемая школа обеспечивает учебную среду, в которой здание является активным участником образовательного процесса. Для учащихся и преподавателей предоставляется возможность управления энергопотреблением в рамках образовательных программ. Различные графические материалы и интерактивные экраны, интегрированные в дизайн школы, способствуют просвещению общества в вопросах энергоэффективности объекта. Стратегии устойчивого развития здания изучаются пользователями на занятиях через информационные системы [22] <sup>1</sup>
В — Христиан Гюйгенс колледж (Эйндховен, Нидерланды)	Интерес к проблемам энергетики и рационального использования ресурсов подтолкнул внедрить в учебные образовательные программы изучение данных вопросов. Это внесло значительный вклад в непрерывное профессиональное образование обучающихся. Устойчивое развитие становится частью образовательной системы и включается в программу как отдельная дисциплина <sup>2</sup>
С — Гавайская подготовительная академия (Камуэлла, Гавайи, Flansburgh Architects)	Экспериментальным пространством становится энергетическая лаборатория, разработанная для детей с целью мотивировать молодое поколение на новые открытия, исследования и эксперименты. Планировочное решение объекта позволяет проводить образовательные процессы как внутри здания, так и на свежем воздухе. Образовательная миссия здания становится ключевой в устойчивом развитии данного объекта, так как образовательный процесс протекает на примере окружающей среды. Дети изучают то, что их окружает, в том числе и энергоэффективные процессы <sup>3</sup>
Д — Научно-экологический центр школы Нуэва (Калифорния, США, Leddy Maytum Stacy Architects)	Экспериментальное пространство, в котором элементы благоустройства и ландшафтного дизайна находят отклик в образовательной программе. Экологические пространства помогают осуществить взаимодействие между наукой, культурой, природой и обществом. Открытые экологические образовательные пространства центра учат детей бережно относиться к окружающей среде и обращать внимание на проблемы сохранения природных ресурсов. Особое внимание в проекте уделяется сохранению водных ресурсов: дождевая вода была включена в дизайн в качестве дидактического и игрового средства [22]

и подобрана соответствующая меблировка. Ярким примером трансформируемой мебели являются столы с регулируемыми опорами, которые также способны принимать различные конфигурации<sup>4</sup>. В интерьерных решениях зданий архитекторы все чаще стали вводить яркие цвета в учебные пространства, благодаря которым стимулируется активная деятельность, располагающая к обучению и легкой ориентации в пространстве. Например, в Христиан Гюйгенс колледже каждый из трех образовательных блоков имеет свою цветовую маркировку. Это помогает воспитанникам быстрее находить аудитории в блоках и подниматься по соответствующей лестнице или лифту.

<sup>1</sup> Kubany E.H. New York city's first net zero energy school dedicated // The Kathleen Grimm school. 2015. Pp. 1–2. URL: <https://www.dematteisorg.com/wp-content/uploads/2015/11/PS-62-SOM-Press-Release-November-2015.pdf>

<sup>2</sup> Заключительный отчет о преимуществах ознакомительной поездки в Нидерланды, 6–12 марта 2012. URL: [https://www.duurzaambo.nl/images/c2c/Robert %20Furness %20Final %20Report.pdf](https://www.duurzaambo.nl/images/c2c/Robert%20Furness%20Final%20Report.pdf) (дата обращения: 01.05.2024).

<sup>3</sup> Кэт Хой. Энергетическая лаборатория Гавайской подготовительной академии // Flansburgh Architects 2010. ArchDaily. URL: <https://www.archdaily.com/64732/hawaii-preparatory-academy-energy-laboratory-flansburgh-architects> (дата обращения: 01.05.2024).

<sup>4</sup> Моранси М. Учебный комплекс Nueva School Hillside // Американский институт архитекторов. 2024. URL: <https://www.aiaatopen.org/node/129> (дата обращения: 30.04.2024).

Образовательные пространства и развивающие детские центры сегодня становятся общедоступными. Стремительно расширяется круг участников обучающего, воспитательного, физиологического и социальных процессов. Данные пространства предназначаются не только для получения новых знаний, но и используются в качестве культурных площадок районного значения, здесь могут проводиться городские спортивные мероприятия. Такие тенденции поспособствовали развитию архитектурно-планировочных решений. Грамотное планирование функциональных процессов внутри таких комплексов является ключевым моментом при проектировании. Для обеспечения необходимых требований по безопасности и санитарным нормам создаются дополнительные отдельные входные группы с целью разделения потоков людей. Образовательные организации становятся центрами общественной жизни.

Рассматривая протекающие процессы внутри детских развивающих центров, важно отметить, что современная архитектура становится экспериментальной площадкой, способствующей комплексному развитию детей. Энергоэффективная архитектура является наглядным примером развития смарт-технологий, которые неразрывно связаны с образовательными процессами. Изучение энерго-

эффективных технологий способствует повышению качества непрерывного образования среди молодого поколения (табл. 5).

Каждая из подсистем, обладая определенной степенью автономности и гибкости, позволяет системе здания ДРЦ устойчиво развиваться во времени. Устаревание одного или нескольких технических элементов здания позволяет сделать их быструю замену, не задевая другие подсистемы. При слаженной работе всех подсистем и элементов здания достигается синергетический эффект. Кроме того, можно выделить следующие экологические преимущества интеграции смарт-технологий в пространства детских развивающих центров:

1. Сокращение потребления электроэнергии в бюджетной сфере, к которой относятся ДРЦ. Использование смарт-технологий позволяет оптимизировать потребление энергии, например, с помощью умных датчиков освещения и климатического контроля.

2. Улучшение качества воздуха. Использование умных систем вентиляции и очистки воздуха помогает поддерживать оптимальные условия для здоровья детей и снижает риск возникновения заболеваний, связанных с загрязнением воздуха.

3. Минимизация отходов. Использование смарт-технологий позволяет эффективнее управлять ресурсами и материалами, что помогает сократить

количество отходов, выделяемых в окружающую среду.

4. Переработка материалов и повторное использование ресурсов. Цифровизация процессов в детских центрах позволяет сократить использование бумаги и прочих материалов, что, в свою очередь, снижает негативное воздействие на окружающую среду.

5. Повышение осведомленности воспитанников о мировых экологических проблемах. Внедрение смарт-технологий в детские центры способствует осведомлению детей о важности охраны окружающей среды и мотивирует их принимать более ответственные экологические решения в повседневной жизни.

Архитектура становится своего рода «живым организмом», который способен самостоятельно регулировать свои потребности в энергии и воде. Это достигается за счет использования таких технологий, как солнечные панели, зеленые кровли, тепловые насосы, интеллектуальные системы управления и другие. Энергоэффективная архитектура не только помогает снизить экологическое давление на окружающую среду, но и создает комфортные и здоровые условия для жизни и творчества детей [23]. Это образец устойчивого развития, который выступает в роли учебного пособия или экспериментальной модели энергоэффективного здания, на примере которого дети осваивают новые технологии.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Анисимов В.Ю.* Системный подход к проектированию школьных зданий // Архитектон: известия вузов. 2012. № 2 (38). С. 7. URL: [http://archvuz.ru/2012\\_2/7](http://archvuz.ru/2012_2/7). EDN PBKDOV.
2. *Ford A.* Designing the sustainable school // Published in Australia in 2007 by The Images Publishing Group Pty Ltd. Pp. 6–7. URL: <https://archive.org/details/DesigningTheSustainableSchool/page/n5/mode/2up>
3. *Гельфонд А.Л.* Архитектурная типология общественных зданий и сооружений : уч. пос. Н. Новгород : ННГАСУ, 2003. 201 с.
4. *Попов А.В., Сырова О.И.* Вопросы архитектурно-градостроительной типологии кампусов вузов // Инновации и инвестиции. 2021. № 1. С. 157–161. EDN HAGXTU.
5. *Быстрова Т.Ю., Токарская Л.В.* Оптимизация и персонализация образовательной среды в условиях инклюзии // Известия Уральского федерального университета. Серия 1: Проблемы образования, науки и культуры. 2020. Т. 26. № 3 (199). С. 162–168. DOI: 10.15826/izv1.2020.26.3.060. EDN QDPJXS.
6. *Исакова С.А.* Архитектурно-планировочная модернизация университетских комплексов (на примере Южного федерального университета) : автореф. дис. ... канд. арх. Н. Новгород, 2012. 24 с.
7. *Истомин С.А.* Системное формирование функционально-планировочной структуры научного комплекса : дис. ... канд. архитектуры. М., 1980. 140 с.
8. *Масловская О.В.* Проектирование открытых образовательных пространств в рамках учебного процесса ВГУЭС // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. 2011. № 2. С. 111–117.
9. *Лилуева О.В.* Архитектурное формирование технопарков на базе наукоградов : автореф. дис. ... канд. архитектуры. Н. Новгород, 2011. 27 с.
10. *Родионовская И.С., Попов А.В.* Архитектурная оптимизация среды долговременного жилища при вузах // Жилищное строительство. 2014. № 1–2. С. 52–57. EDN RWNQSN.
11. *Павлова В.А., Голошубин В.С.* Экологические технологии в проектировании современных университетских кампусов // Архитектура и современные информационные технологии. 2017. № 1 (38). URL: [https://marhi.ru/AMIT/2017/1kvart17/pavlova\\_goloshubin/index.php](https://marhi.ru/AMIT/2017/1kvart17/pavlova_goloshubin/index.php)

12. Кологривова Л.Б., Ковтун О.В. Энергосберегающие решения энергоэффективных зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2004. № 6. С. 22–24. EDN PLFYJP.
13. Антонов А.В. Здания инновационных центров // Промышленное и гражданское строительство. 2002. № 7. С. 28–29.
14. Бабкина Д.О., Янова Р.Ю., Попов А.В., Сорокоумова Т.В. Международные стандарты «зеленой архитектуры», перспективы применения и адаптации к условиям России // Экология урбанизированных территорий. 2019. № 1. С. 70–74. DOI: 10.24411/1816-1863-2019-11070. EDN ZQFKRN.
15. Бабич В.Н., Кремлев А.Г., Холодова Л.П. Программы логики самоорганизации форм и их мутации // Архитектон: известия вузов. 2011. № 33. EDN NEDRBB.
16. Гертис К., Зедльбауэр К. Повышение энергоэффективности школьных зданий // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 544–552. EDN NTLCMR.
17. Смирнова С.Н. Принципы формирования архитектурных решений энергоэффективных жилых зданий : дис. ... канд. архитектуры. Н. Новгород, 2009. 216 с.
18. Якимович. Е.В. Вариативность лингвокультурного концепта «смарт» // Гуманитарный научный вестник. 2018. № 4. С. 23–29. DOI: 10.5281/zenodo.1411492. EDN UYHWVU.
19. Петрунько А.В. Интерактивный бэкграунд образовательных инноваций в Азиатско-Тихоокеанском регионе // Отечественная и зарубежная педагогика. 2018. Т. 2. № 5 (55). С. 78–88. DOI: 10.24411/2224-0772-2018-10037
20. Habraken N.J. Design for Flexibility towards a research agenda : review of the book “Flexible Housing” by Tatanja Schneider and Jeremy Till, Architectural Press, 2007 // Building Research & Information. 2008. No. 36 (3).
21. Greml A., Kapferer R., Leitzinger W. Evaluierung von mechanischen Klassenzimmer-Lueftungen in Osterreich // Schule u. Sportstaetten. 2008. No. 43. H. 2. S. 10–11.
22. Мигулько Е.Н. «Зеленая архитектура» современных зарубежных школ // Науки о земле. «Наука. Инновации. Технологии». 2013. № 4. С. 78–88. URL: <https://scienceit.elpub.ru/jour/article/view/507/507>
23. Смолина С.И., Киселева О.В. Мировой опыт формирования школьных зданий на основе энергосберегающих технологий // Творчество и современность (сетевое издание). 2018. № 2 (6). URL: <https://nsktvs.ru/node/159>

Об авторах: **Татьяна Викторовна Ворончихина** — магистр кафедры архитектуры; SPIN-код: 3394-8897 **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 3394-8897 e-mail: [tvoronchikhina@list.ru](mailto:tvoronchikhina@list.ru);

**Людмила Владимировна Анисимова** — профессор кафедры архитектура; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 1748-1368, Scopus: 57224893606; e-mail: [anisimovalv@yandex.ru](mailto:anisimovalv@yandex.ru).

## REFERENCES

1. Anisimov V.Yu. A systematic approach to the design of school buildings. *Architecton: proceedings of higher education*. 2012; 2(38):7. URL: [http://archvuz.ru/2012\\_2/7](http://archvuz.ru/2012_2/7). EDN PBKDOV. (rus.).
2. Ford A. Designing The Sustainable School. *Published in Australia in 2007 by The Images Publishing Group Pty Ltd*. 6-7. URL: <https://archive.org/details/DesigningTheSustainableSchool/page/n5/mode/2up>
3. Gelfond A.L. *Architectural typology of public buildings and structures : textbook*. N. Novgorod, NNGASU, 2003; 201.
4. Popov A.V., Syrova O.I. Issues of architectural and urban typology of university campuses. *Innovations and Investments*. 2021; 1:157-161. EDN HAGXTU. (rus.).
5. Bystrova T.Yu., Tokarskaya L.V. Optimization and personalization of the educational environment in the context of inclusion. *Bulletin of the Ural Federal University. Series 1: Problems of education, science and culture*. 2020; 26:3(199):162-168. DOI: 10.15826/izv1.2020.26.3.060. EDN QDPJXC. (rus.).
6. Isakova S.A. *Architectural and planning modernization of university complexes (based on the Southern Federal University model) : abstract of the dissertation of the Candidats of design*. N. Novgorod, 2012; 24. (rus.).
7. Istomin S.A. *Systematic formation of the functional-planning structure of a scientific complex : dissertation of the Candidats of design*. Moscow, 1980; 140. (rus.).
8. Maslovskaya O.V. Design of open educational spaces within the educational process of VSUES. *Territory of new opportunities. Bulletin of the Vladivostok State University of Economics and Service*. 2011; 2:111-117. (rus.).
9. Liluyeva O.V. *Architectural formation of technology parks based on science cities: abstract of the dissertation of the Candidats of design*. N. Novgorod, 2011; 27. (rus.).

10. Rodionovskaya I.S., Popov A.V. Architectural optimization of long-term housing conditions in universities. *Housing construction*. 2014; 1-2:52-57. EDN RWNQSN. (rus.).
11. Pavlova V.A., Goloshubin V.S. Environmental technologies in the design of modern university campuses. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2017; 1(38). URL: [https://marhi.ru/AMIT/2017/1kvart17/pavlova\\_goloshubin/index.php](https://marhi.ru/AMIT/2017/1kvart17/pavlova_goloshubin/index.php) (rus.).
12. Kologrivova L.B., Kovtun O.V. Energy-saving solution for energy-efficient buildings. *Industrial and civil engineering*. 2004; 6:22-24. EDN PLFYJP. (rus.).
13. Antonov A.V. Buildings of innovation centers. *Industrial and civil construction*. 2002; 7:28-29. (rus.).
14. Babkina D.O., Yanova R.Yu., Popov A.V., Sorokoumova T.V. International standards of “green architecture”, prospects for application and adaptation to the conditions of Russia. *Ecology of urbanized territories*. 2019; 1:70-74. DOI: 10.24411/1816-1863-2019-11070. EDN ZQFKRN. (rus.).
15. Babich V.N., Kremlev A.G., Kholodova L.P. Programs of logic of self-organization of forms and their mutations. *Architecton: proceedings of higher education*. 2011; 33. EDN NEDRBB. (rus.).
16. Gertis K., Zedlbauer K. Increasing of power efficiency of school buildings. *Academia. Architecture and construction*. 2010; 3:544-552.
17. Smirnova S.N. *Principles of formation of energy-efficient architectural design of residential buildings : dissertation of the Candidats of design*. Nizhniy Novgorod, 2009; 216. (rus.).
18. Yakimovich E.V. Variety of linguistic and cultural concept “smart”. *Humanitarian Scientific Bulletin*. 2018; 4:23-29. DOI: 10.5281/zenodo.1411492. EDN UYHWVU. (rus.).
19. Petrunko A.V. Interactive background of educational innovations in the Asia-Pacific region. *Domestic and foreign pedagogy*. 2018; 2:5(55):78-88. DOI: 10.24411/2224-0772-2018-10037 (rus.).
20. Habraken N.J. Design for Flexibility towards a research agenda : review of the book “Flexible Housing” by Tatanja Schneider and Jeremy Till, Architectural Press, 2007. *Building Research & Information*. 2008; 36(3).
21. Greml A., Kapferer R., Leitzinger W. Evaluierung von mechanischen Klassenzimmer-Lueftungen in Osterreich. *Schule u. Sportstaetten*. 2008; 43(2):10-11. (deu.).
22. Migulko E.N. The green architecture of modern foreign schools. *Earth sciences. “Science. Innovation. Technologies”*. 2013; 4:78-88. URL: <https://scienceit.elpub.ru/jour/article/view/507/507> (rus.).
23. Smolina S.I., Kiseleva O.V. World experience of the formation of school buildings based on the energy-saving technologies. *Creativity and Modernity (online publication)*. 2018; 2(6). URL: <https://nsktvs.ru/node/159> (rus.).

About the authors: **Tatyana V. Voronchikhina** — Master, department of architecture; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: [tvoronchikhina@list.ru](mailto:tvoronchikhina@list.ru);

**Liudmila V. Anisimova** — Professor, department of architecture; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: [anisimovalv@yandex.ru](mailto:anisimovalv@yandex.ru).

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ВЕТРОВЫХ ТЕЧЕНИЙ В ЖИЛОМ КВАРТАЛЕ

Антон Вячеславович Абрамов<sup>1</sup>, Ольга Анатольевна Пчеленок<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Российский государственный университет (РГУ) им. А.Н. Косыгина; г. Москва, Российская Федерация;

<sup>2</sup> Орловский государственный университет (ОГУ) им. И.С. Тургенева; г. Орел, Российская Федерация

*Показана роль численного моделирования как ведущего инструмента исследования ветровых течений на масштабах отдельных городских кварталов. На основе анализа математических моделей представлен перечень решаемых этим методом задач. Проведен анализ существующих численных моделей для расчета поля скоростей воздуха на различных масштабах с учетом жилой застройки. Показано, что большинство из них предполагает решение уравнения Навье – Стокса с дополнительными составляющими турбулентного переноса. Обоснована возможность использования модели  $k-\omega$  турбулентности Дж. Ферзингера для моделирования ветра на масштабе городских кварталов. Представлен обобщенный алгоритм построения таких численных моделей.*

*Составлена численная модель порывистого ветра в жилом квартале по ул. Картукова г. Орла. Для этого разработано его геометрическое представление, определены начальные и граничные условия модели. Предложена сетка конечных элементов, которая учитывает особенности движения потоков воздуха, в частности — гидродинамические пограничные слои. Получено проверочное решение, результаты которого сопоставлены с экспериментом. Установлено, что различия между ними могут быть признаны незначительными.*

*С помощью разработанной модели проведено численное исследование динамики поля скорости ветра в рамках рассматриваемого квартала во времени в условиях порывистого ветра итерационным численным методом. В результате установлен характер развития ветрового течения на рассмотренной территории во времени. При обобщении полученных результатов сформированы рекомендации по переносу отдельных зон при переустройстве придомовой территории в рамках ближайшего капитального ремонта на рассмотренном участке. В частности, рекомендовано перенести детскую игровую площадку, так как при смене погоды и формировании порывистого ветра на ней наблюдаются наиболее выраженные воздушные потоки.*

**Ключевые слова:** ветер, численное моделирование, жилищная застройка, рациональное планирование,  $k-\omega$  модель турбулентности, скорость воздуха, конвективная ячейка

**Для цитирования:** Абрамов А.В., Пчеленок О.А. Численное моделирование нестационарных ветровых течений в жилом квартале // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2024. № 4. С. 32–40. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.32-40

## NUMERICAL SIMULATION OF UNSTEADY WIND CURRENTS IN A RESIDENTIAL AREA

Anton V. Abramov<sup>1</sup>, Olga A. Pchelenok<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Russian State University (RSU) named after. A.N. Kosygina; Moscow, Russian Federation;

<sup>2</sup> Oryol State University (OSU) named after. I.S. Turgenev; Orel, Russian Federation

*The role of numerical modeling as a leading tool for studying wind currents at the scale of individual city blocks is shown. An analysis of mathematical models is conducted, a list of problems solved by this method is presented. An analysis of existing numerical models for calculating the air velocity field at various scales is conducted, considering residential buildings. It is shown that most of them involve solving the Navier-Stokes equation with additional components of turbulent transfer. The possibility of using the  $k-\omega$  turbulence model of J. Ferzinger for modeling wind at the scale of city blocks is substantiated. A generalized algorithm for constructing such numerical models is presented. A numerical model of gusty wind in a residential area along Kartukova Street in Orel has been compiled. For this purpose, its geometric representation has been developed, initial and boundary conditions of the model have been determined. A finite element grid has been proposed that considers the features of air flow movement, in particular, hydrodynamic boundary layers. A verification solution has been obtained, the results of which have been compared with the experiment. It has been established that the differences between them can be recognized as insignificant.*

*Using the developed model, a numerical study of the wind speed field dynamics within the considered quarter over time under gusty wind conditions was carried out using the iterative numerical method. As a result, the nature of wind flow development in the considered territory over time was established. When generalizing the obtained results, recommendations were formed on the transfer of individual zones during the reconstruction of the adjacent area within the framework of the nearest major repairs in the considered territory. In particular, it is recommended to transfer the children's playground, since when the weather changes and gusty winds form, the most pronounced air flows are observed there.*

**Keywords:** wind, numerical modeling, residential development, rational planning,  $k-\omega$  turbulence model, air velocity, convective cell

**For citation:** Abramov A.V., Pchelenok O.A. Numerical simulation of unsteady wind currents in a residential area. Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology. 2024; 4:32-40. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.32-40 (rus.).

### Актуальность задачи исследования ветровых течений в жилых кварталах

Одним из важнейших аспектов жизнедеятельности человека является необходимость обеспечения рационального биоклимата как совокупности факторов, действующих на рассматриваемой территории в определенный момент времени. Известно, что в условиях городской среды биоклимат определяется по совокупному действию температуры и относительной влажности воздуха, ветра и теплового облучения. Также известны внутренние взаимосвязи между этими факторами.

Следствием глобальных процессов урбанизации являются современные тенденции градостроительства, в частности, горизонтальное развитие городов различного размера, начиная от мегаполисов и заканчивая средними и малыми городами. Однако в крупных и больших городах эта тенденция прослеживается более отчетливо.

Как показывают многочисленные исследования, высотные здания оказывают значительное влияние на ветровые потоки и, таким образом, определяют биоклимат на рассматриваемой территории. К. Тсе показал механизм влияния высотных зданий городской застройки на высоконапорные ветровые течения [1]. В результате этих исследований было показано, что здания могут прижимать ветровые потоки к поверхности земли, т.е. в зону нахождения людей, что оказывает существенное влияние на состояние биоклимата.

Характер ветровых потоков в городе влияет на другие процессы. Так, по данным К. Захида, снижение интенсивности ветровых течений на территории жилой застройки способствовало более широкому распространению вируса группы SARS в Гонконге. Недостаточная интенсивность ветра, существенно ослабленная зданиями, не позволила своевременно удалять из жилых кварталов воздух, насыщенный вирусами, что способствовало его распространению [2].

Также повышенное внимание к исследованию ветровых явлений связано с активным развитием ветроэнергетики и высокой ролью ветра в формировании погодных условий. Воздушные течения на масштабах, сопоставимых с континентами, странами и их регионами исследованы достаточно хорошо. Полученные данные используются для обоснования расположения ветроэнергетических установок и целых парков [3].

Таким образом, прогнозирование характера ветровых течений в городской застройке на ее различных масштабах является важной и актуальной задачей.

### Современное состояние исследования нестационарных ветровых течений в жилом квартале

В настоящий момент активно развиваются малые ветроэнергетические установки, которые могут быть размещены в жилых кварталах. Вследствие этого акцент исследований смещается на оценку ветровых явлений на масштабах отдельных кварталов, высотные здания которых существенно влияют на характер ветровых течений [4, 5]. Результаты моделирования позволяют не только рационально размещать ветроэнергетические установки малой мощности в жилых кварталах, но и принимать проектные решения при разработке дизайн-проектов придомовых территорий, обосновывать площадь и форму зеленых насаждений [6].

Как показывает практика, экспериментальное исследование ветровых течений в жилых кварталах не всегда позволяет получить исчерпывающие данные о динамике ветровых потоков. Для повышения точности исследований необходимо увеличить количество точек единовременного измерения, что, в свою очередь, усложняет конструкцию измерительной сети. Анализируя возможные альтернативы, Р. Бриттер доказал, что более подходящим инструментом исследования ветровых течений на малых масштабах является численное моделирование [7].

За последние годы в рамках подхода получены многочисленные результаты. Так, Б. Блокен установил, что в жилых кварталах, особенно с многоэтажной застройкой, наиболее выраженные ветровые потоки наблюдаются на высотах от 1,5 до 2,0 м, т.е. в зоне нахождения пешеходов [8]. Т. Ван Хоофф определил рациональные размеры зон зеленых насаждений, которые позволяют снизить интенсивность ветра на придомовых территориях [9]. Большой вклад в исследование ветровых течений в жилых кварталах также внесли А. Юань, Л. Лю [10, 11].

В отечественной литературе вопросам численного моделирования ветра в жилых кварталах также уделяется повышенное внимание. Тем не менее доступные исследования имеют ряд недостатков. Так, Ю.А. Воробьевой не описана математическая модель ветровых процессов, использованная при численном моделировании [12]. В модели М.М. Курбатова рассматривается свободный объем атмосферы без привязки к зданиям [13]. Аналогичные исследования также имеют свои недостатки. По этой причине задачу моделирования воздушных потоков в условиях ветра в жилых кварталах нельзя считать решенной.

Большинство существующих подходов к численному моделированию рассматриваемых процессов предполагает решение различных вариаций уравнения Навье–Стокса. Например, Дж. Ферзингер

предложил уравнение с дополнительными членами, которые позволяют рассчитывать турбулентное рассеивание кинетической энергии потока. Эти уравнения получили название  $k - \omega$  модель турбулентности и имеют следующий вид [14]:

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho \varepsilon \bar{u}_j) = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \left( \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right] + C_{\varepsilon 1} P_k \frac{\varepsilon}{k} - \rho C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k}, \quad (1)$$

где  $x$  — расстояние, пройденное воздушной струей под действием ветрового напора, м;  $\rho$  — плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $\varepsilon$  — коэффициент рассеивания кинетической энергии в турбулентном вихре;  $\bar{u}$  — средняя скорость воздуха в потоке, м/с;  $\mu_t$  — турбулентная вязкость (уравнение 2);  $\sigma_\varepsilon$ ,  $C_{\varepsilon 1}$ ,  $C_{\varepsilon 2}$  — константы модели Ферзингера;  $P_k$  — энергопродукция в воздушном потоке за счет развития турбулентных вихрей (3).

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}, \quad (2)$$

где  $C_\mu$  — константы модели Дж. Ферзингера.

$$P_k = \mu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j}, \quad (3)$$

где  $u$  — локальная скорость воздуха в потоке, м/с.

Известны другие вариации уравнения Навье — Стокса для расчета ветровых потоков в городских кварталах: модель с поправкой Япа, RNG модель Яхоты [15, 16]. Тем не менее  $k - \omega$  модель турбулентности считается одной из наиболее точных.

Метод численного моделирования на основе этой модели отработан А. Дхунни и предполагает [6]:

1. Анализ пространственной организации и размеров территории.
2. Проведение верификационного эксперимента, например измерение скорости ветра в различных точках рассматриваемой территории.
3. Построение уточненной геометрической модели территории.
4. Формирование начальных и граничных условий численной модели в соответствии с результатами наблюдений.
5. Получение стационарного решения уравнений (1)–(3) относительно определенных начальных и граничных условий.
6. Сопоставление экспериментальных и расчетных данных, в случае их несовпадения — исправление ошибок в модели.
7. Формулировку прикладной задачи, формирование начальных и граничных условий модели в соответствии с ее особенностями.

9. Решение модели относительно начальных и граничных условий решаемой задачи.

### Результаты численного моделирования нестационарных ветровых течений в жилом квартале

Рассмотрим порядок моделирования ветровых течений на примере одной из придомовых территорий г. Орла, расположенного по ул. Картукова между домами 7, 9 и 11 (рис. 1, а).

Проведен анализ выбранной территории с использованием результатов спутниковых наблюдений (рис. 1, б), после чего построена ее модель (рис. 1, с), в составе:

- модели дома № 7 по ул. Картукова (позиция 1);
- модели дома № 9 по ул. Картукова (позиция 2);
- модели дома № 11 по ул. Картукова (позиция 3);
- модели здания узла распределения электрического напряжения (позиция 4).

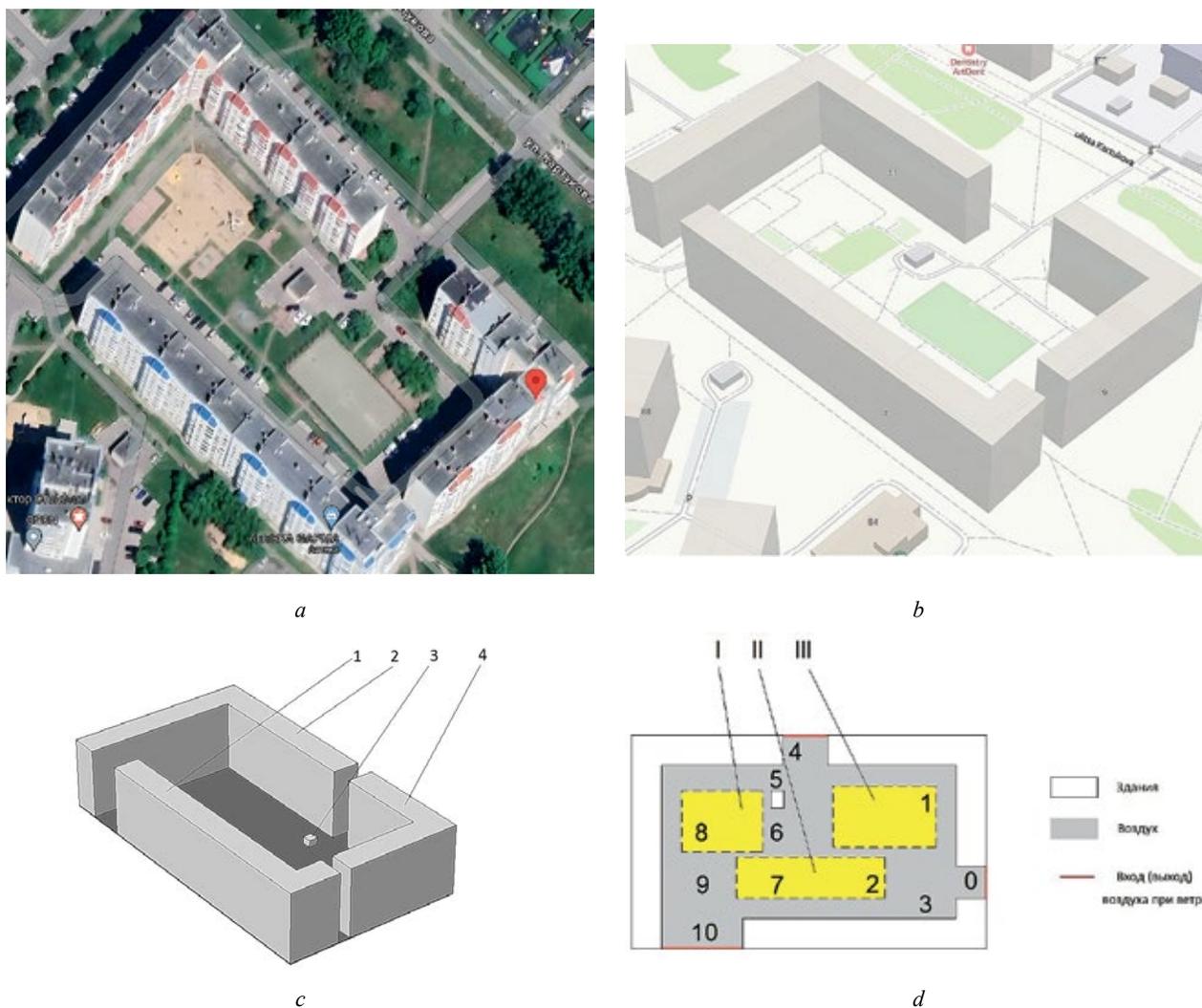
Получено плоскостное сечение модели на высоте 1,7 м над уровнем земли (рис. 1, д), на котором выделены зоны, соответствующие: детской игровой площадке (зона I), автомобильной парковке (зона II), спортивной площадке (зона III). Определено положение 11 контрольных точек: 0 на входе воздушного потока на придомовую территорию, 1–11, равномерно распределенных по территории. При этом точки 1, 2, 7, 8 расположены на площадках и парковке, точки 4 и 10 — в проездах между домами, через которые воздух выходит за пределы придомовой территории.

При построении численных моделей, в том числе рассматриваемой, учитываются экспериментальные данные. Это позволяет, с одной стороны, обеспечить точность моделирования, с другой, подтвердить результаты решений. Для получения верификационных данных авторами проведены измерения температуры воздуха и скорости ветра на рассматриваемой территории в летний сезон — 24.06.2024. В этот период фиксируется максимальное время пребывания людей, и в первую очередь детей, на открытой территории. С другой стороны, после подтверждения численная модель может использоваться для прогнозирования ветровых течений как в теплый, так и в холодный периоды года.

Для этого проведены измерения климатических параметров одновременно во всех точках, отмеченных на рис. 1, д. Результаты представлены в таблице.

Среднее значение температуры воздуха составило 28,6 °С, влажность 27 %, направление ветра: ССЗ, а его скорость на входе в рассматриваемую территорию (точка 0) 2,43 м/с.

Далее сформированы начальные и граничные условия численной модели (рис. 2, а):



**Рис. 1.** Анализируемый квартал г. Орла: *a* — фото квартала; *b* — схема зданий квартала; *c* — объемная геометрическая модель; *d* — плоскостная геометрическая модель: зона I — детская игровая площадка; зона II — автомобильная парковка; зона III — спортивная площадка

1. Свойства пространства в рамках области I назначены по таблицам для воздуха, что делает возможным решение уравнения Навье – Стокса. Свойства области II назначены для твердых тел, что делает невозможным применение к ним уравнения Навье – Стокса.

2. На границе 1 назначено условие втекания воздуха со скоростью  $v_{вх} = 2,5$  м/с (в соответствии с результатами эксперимента).

3. Границы 2 и 3 в процессе численного решения являются открытыми, что позволяет воздуху выходить за пределы рассмотренной территории.

Построена сетка конечных элементов (рис. 2, *b*) на геометрической модели и получено стационарное решение уравнений 1–3 разностными схемами. Коэффициенты уравнений выбраны в соответствии с  $k - \omega$  моделью турбулентности. В результате решения установлены контуры зон воздушных потоков различной скорости (рис. 2, *c*).

Сопоставление расчетных значений в контрольных точках с опытными данными (табл.) свидетельствует об их согласовании. Существенные различия зафиксированы только в точках 8 и 9, что можно объяснить случайными флуктуациями, что свидетельствует о возможности использования

Результаты сравнительного эксперимента

Номер точки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Результаты эксперимента ( $v_{в-эксп}$ , м/с)	2,43	0,8	2,2	1,17	1,71	0,84	0,96	1,68	0,5	0,5	1,14
Расчетные значения ( $v_{в-мод}$ , м/с)	2,5	0,7	2,1	1,21	1,68	0,95	0,7	1,84	0,8	0,83	1,01

модели в качестве инструмента прикладных исследований.

На следующем этапе с помощью численной модели исследованы процессы развития воздушных потоков при порывистом ветре. Как показывает анализ научной литературы, этому вопросу уделяется недостаточно пристальное внимание. В числе достигнутых результатов можно выделить модель Н.В. Дульгера [17]. Таким образом, это направление нуждается в дальнейшем развитии.

Для этого в начальный момент времени скорость ветра в области I модели принята равной нулю, а на границе 1 равной 3,0 м/с в соответствии с многолетними средними значениями климатических наблюдений. В результате ветер втекает в спокойное пространство рассматриваемой территории, формируя в ней определенную картину воздушных потоков.

Распределение поля скорости воздуха в первые 5 с численного эксперимента с шагом  $\Delta t = 0,5$  с приведено на рис. 3. Согласно полученным решениям, после этого времени поток становится устойчивым и его характер не изменяется.

Как видно, спустя 0,5 с численного эксперимента воздушный поток принимает вид свободной струи. За счет его гидростатического давления на территории спортивной площадки образуется замкнутая конвективная ячейка, скорость ветра в которой не превышает 1 м/с. Между домами № 9 и 11, а также № 7 и 11 формируются малые по интенсивности потоки вытекающего с рассматриваемой территории воздуха.

Спустя 1 с численного эксперимента (рис. 3, b) воздушный поток охватывает уже всю территорию автомобильной парковки и заворачивается в направлении дома № 9. Препятствие в виде здания узла

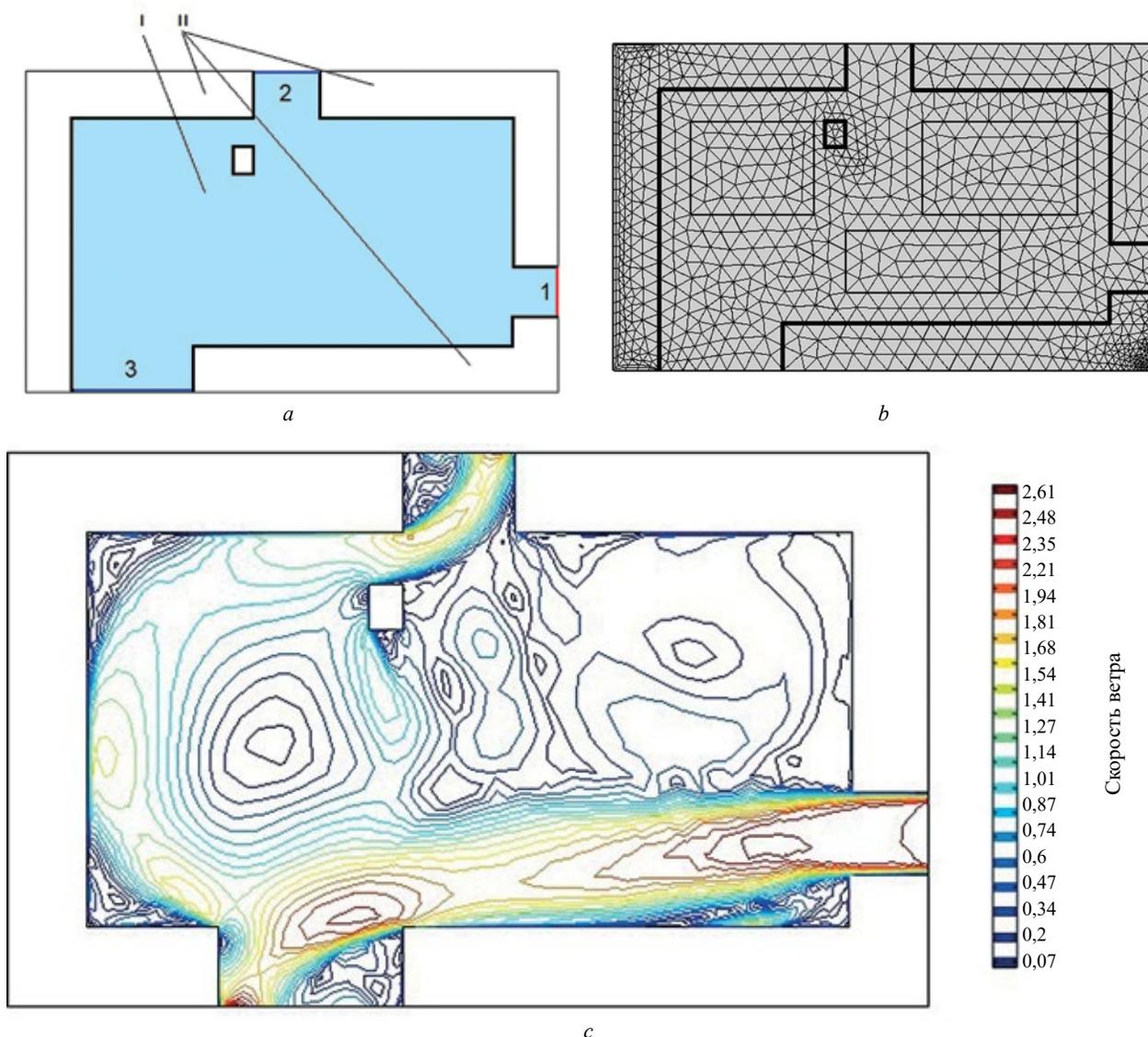
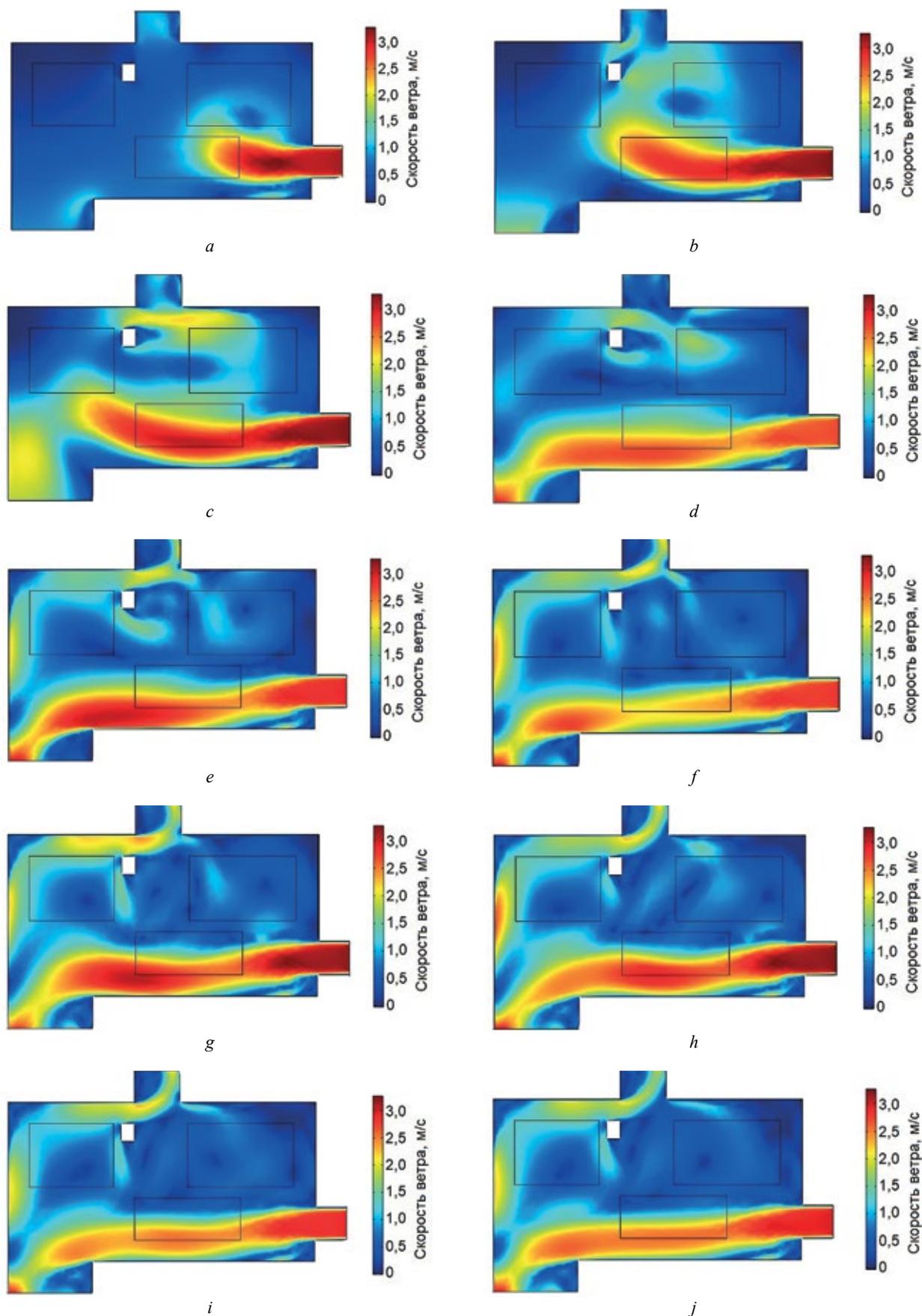


Рис. 2. Этапы построения численной модели ветровых течений на рассматриваемой придомовой территории: а — геометрическая модель с областями различной природы; б — сетка конечных элементов на модели; в — результаты решения (контуры зон воздушных потоков)



**Рис. 3.** Динамика поля скорости воздуха на придомовой территории за различные промежутки времени: *a* — спустя 0,5 с после начала движения воздуха; *b* — спустя 1 с; *c* — спустя 1,5 с; *d* — спустя 2,0 с; *e* — спустя 2,5 с; *f* — спустя 3,0 с; *g* — спустя 3,5 с; *h* — спустя 4,0 с; *i* — спустя 4,5 с; *j* — спустя 5,0 с

распределения электрического напряжения разделяет вторичный воздушный поток на два рукава. Один из них обеспечивает вынос воздуха за пределы рассматриваемой территории, между домами № 9 и 11 с подветренной стороны, другой формирует замкнутую конвективную ячейку.

Спустя еще 0,5 с (рис. 3, *с*) воздушный поток достигает детской игровой площадки. В результате между ней и спортивной площадкой возникает замкнутая воздушная ячейка, которая временно запирает воздух, не давая ему свободно выходить между домами № 9 и 11.

По истечении второй секунды численного эксперимента эта ячейка прижимает поток втекающего воздуха к дому № 7 (рис. 3, *д*), в результате чего он сливается с выходящим воздушным потоком между домами № 7 и 11. От выходящего потока отделяется дополнительный рукав, в котором ветер дует вдоль дома № 11 в направлении здания узла распределения электрического напряжения и втекает на территорию спортивной площадки.

С течением времени (рис. 3, *е*) вторичный поток становится более выраженным, разбиваясь на три рукава в зоне контакта со зданием распределительного узла. На спортивной площадке формируется выраженная замкнутая воздушная ячейка. В дальнейшем (рис. 3, *е*) она сливается с втекающим потоком и частично рассеивается.

После этого картина воздушных потоков на рассмотренной территории приобретает устойчивость (рис. 3, *г-ж*).

В случае порывистого ветра можно ожидать схожей картины потоков в следующем цикле ветровой активности. Проведенное авторами имитационное моделирование свидетельствует, что флуктуации, вносимые турбулентной составляющей, не оказывают на нее существенного влияния.

Обобщая представленные результаты, можно заключить, что при втекании ветра между домами № 7 и 9 интенсивность воздушных потоков на детской игровой площадке выше, чем на спортивной.

## Выводы

Как видно, в результате численного решения обеспечивается достаточно полная визуализация полей скорости нестационарных ветровых течений на территории. Численная модель является динамичной. В ее геометрическую часть могут быть введены дополнительные элементы, например ветрозащитные стенки, зеленые насаждения и т.д. За счет изменения начальных условий можно проводить расчеты нестационарных ветровых течений в различные периоды года. За счет этого модель и получаемые с ее помощью численные данные могут быть использованы при решении различных научных и проектных задач.

В числе основных научных задач может быть отмечено прогнозирование биоклимата и оценка его качества при расчете комплексных показателей, например эффективно-эквивалентной температуры. Для повышения качества расчетов эту модель необходимо дополнить модулем расчета динамики температурного поля. Эта задача рассматривается авторами в числе приоритетных.

Численное моделирование является одним из перспективных методов анализа морфологической структуры городов, практическую значимость которого трудно переоценить. У градостроителей появляется дополнительный инструмент устранения дисбаланса, возникающего в комплексе подсистем развивающегося города. Прогностическая функция данного метода позволяет решать прикладные задачи, в частности проводить оценку эффективности различных мероприятий (например, ветрозащитные стенки, зеленые насаждения) при планировании ближайшего капитального ремонта зданий и благоустройства территории. Проектные решения, принятые с учетом результатов моделирования, позволят повысить качественный уровень городов и наиболее полно обеспечить комфорт населения.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Tse K.T., Zhang X., Weerasuriya A.U., Li S.W., Kwok K.C.S., Mak C.M. et al. Adopting 'lift-up' building design to improve the surrounding pedestrian-level wind environment // *Building Environment*. 2017. No. 117. Pp. 154–165. DOI: 10.1016/j.buildenv.2017.03.011
2. Zahid Iqbal Q.M., Chan A.L.S. Pedestrian level wind environment assessment around group of high-rise cross-shaped buildings: Effect of building shape, separation and orientation // *Building Environment*. 2016. Vol. 101. Pp. 45–63. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.02.015
3. Houda S.A., Zemmouri N., Hasseine A., Othmani R., Belarbi R. A CFD model for simulating urban flow in complex morphological street network // *The Online Journal of Science and Technology*. 2012. Vol. 2 (1). Pp. 1–10.

4. Toja-Silva F., Colmenar-Santos, Castro-Gil A.M. Urban wind energy exploitation systems: Behavior under multidirectional flow conditions — opportunities and challenges // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013. Vol. 24. Pp. 364–378. DOI: 10.1016/j.rser.2013.03.052
5. Kalmikov A., Dupont G., Dykes K., Chan C. Wind power resource assessment in complex urban environments MIT campus case study using CFD analysis // AWEA WINDPOWER conference. Dallas. 2010. Pp. 23–26.
6. Dhunny A., Toja F., Carlos P., Lollchund M.R., Rughooputh S. CFD simulation and full-scale experimental model inter-comparison of the wind flow around a university campus // *Wind Engineering*. 2016. 12 p. DOI: 10.1177/0309524x16666460
7. Britter R., Schatzmann M. Background and justification document to support the model evaluation // The Fifth International Symposium on Computational Wind Engineering. North Carolina, USA. 2010. 8 p.
8. Blocken B.J.E., Carmeliet J.E., Stathopoulos T. CFD evaluation of wind speed conditions in passages between parallel buildings—effect of wall-function roughness modifications for the atmospheric boundary layer flow // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2007. Vol. 95. Pp. 941–962. DOI: 10.1016/j.jweia.2007.01.013
9. Van Hooff T., Blocken B. On the effect of wind direction and urban surroundings on natural ventilation of a large semienclosed stadium // *Computers & Fluids*. 2010. Vol. 39 (7). Pp. 1146–1155. DOI: 10.1016/j.compfluid.2010.02.004
10. Yang A., Su Y., Wen C., Juan Y., Wang W., Cheng Ch-H. Cheng estimation of wind power generation in dense urban area // *Applied Energy*. 2016. Vol. 171. Pp. 213–230. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.03.007
11. Lu L., Sun K. Wind power evaluation and utilization over a reference high-rise building in urban area // *Energy Building (Part A)*. 2014. Vol. 68. Pp. 339–350. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.09.029
12. Воробьева Ю.А., Михайлова Т.В., Бурак Е.Э. Цифровое моделирование ветровых потоков в жилой застройке // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2022. № 5. С. 33–40.
13. Курбатова М.М., Бычков В.И. Моделирование скорости ветра при низовой метели с помощью модели WRF-ARW // *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*. 2020. № 1 (375). С. 130–141. DOI: 10.37162/2618-9631-2020-1-130-141
14. Ferziger J., Peric M. Best practice guideline for the CFD simulation of flows in the urban environment (chapter in book) // *Computational Methods for Fluid Dynamics* (3th ed.). 2002. 423 p.
15. Yakhot V., Orszag S., Thangam S. Development of turbulence models for shear flows by a double expansion technique // *Physics of Fluids A-Fluid Dynamics*. 2002. Vol. 4 (7). Pp. 1510–1520. DOI: 10.1063/1.858424
16. Yap C.J. Turbulent heat and momentum transfer in recirculating and impinging flows. PhD Thesis // Faculty of Technology, University of Manchester: Manchester, UK. 1987. 328 p.
17. Дульгер Н.В., Панасенко Н.Н. Цифровая модель пульсирующего ветра // *Всероссийская научно-практическая конференция (26–27 мая 2022, г. Брянск) / под ред. К.А. Гончарова*. Брянск : БГТУ, 2022. С. 49–61.

Об авторах: **Антон Вячеславович Абрамов** — д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры материаловедения и товарной экспертизы; **Российский государственный университет (РГУ) им. А.Н. Косыгина**; 117997, г. Москва, ул. Садовническая, д. 33, стр. 1; e-mail: Ant-lin88@mail.ru;

**Ольга Анатольевна Пчеленок** — кандидат с.-хоз. наук, доцент, заведующая кафедрой техносферной безопасности; **Орловский государственный университет (ОГУ) им. И.С. Тургенева**; 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95; e-mail: bgdgtu@mail.ru.

## REFERENCES

1. Tse K.T., Zhang X., Weerasuriya A.U., Li S.W., Kwok K.C.S., Mak C.M. et al. Adopting ‘lift-up’ building design to improve the surrounding pedestrian-level wind environment. *Building Environment*. 2017; 117:154-165. DOI: 10.1016/j.buildenv.2017.03.011
2. Zahid Iqbal Q.M., Chan A.L.S. Pedestrian level wind environment assessment around group of high-rise cross-shaped buildings: Effect of building shape, separation and orientation. *Building Environment*. 2016; 101:45-63. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.02.015
3. Houada S.A., Zemmouri N., Hasseine A., Othmani R., Belarbi R. A CFD model for simulating urban flow in complex morphological street network. *The Online Journal of Science and Technology*. 2012; 2(1):1-10.
4. Toja-Silva F., Colmenar-Santos, Castro-Gil A.M. Urban wind energy exploitation systems: Behavior under multidirectional flow conditions — opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013; 24:364-378. DOI: 10.1016/j.rser.2013.03.052

5. Kalmikov A., Dupont G., Dykes K., Chan C. Wind power resource assessment in complex urban environments MIT campus case study using CFD analysis. *AWEA WINDPOWER conference. Dallas.* 2010; 23-26.
6. Dhunny A., Toja F., Carlos P., Lollchund M.R., Rughooputh S. CFD simulation and full-scale experimental model inter-comparison of the wind flow around a university campus. *Wind Engineering.* 2016; 12. DOI: 10.1177/0309524x16666460
7. Britter R., Schatzmann M. Background and justification document to support the model evaluation. *The Fifth International Symposium on Computational Wind Engineering. North Carolina, USA.* 2010; 8.
8. Blocken B.J.E., Carmeliet J.E., Stathopoulos T. CFD evaluation of wind speed conditions in passages between parallel buildings—effect of wall-function roughness modifications for the atmospheric boundary layer flow. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics.* 2007; 95:941-962. DOI: 10.1016/j.jweia.2007.01.013
9. Van Hooff T., Blocken B. On the effect of wind direction and urban surroundings on natural ventilation of a large semienclosed stadium. *Computers & Fluids.* 2010; 39(7):1146-1155. DOI: 10.1016/j.compfluid.2010.02.004
10. Yang A., Su Y., Wen C., Juan Y., Wang W., Cheng Ch.-H. Cheng Estimation of wind power generation in dense urban area. *Applied Energy.* 2016; 171:213-230. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.03.007
11. Lu L., Sun K. Wind power evaluation and utilization over a reference high-rise building in urban area. *Energy Building (Part A).* 2014; 68:339-350. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.09.029
12. Vorobyova Yu.A., Mikhailova T.V., Burak E.E. Digital modeling of wind flows in residential buildings. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov.* 2022; 5:33-40. (rus.).
13. Kurbatova M.M., Bychkov V.I. Modeling of wind speed in a low-lying blizzard using the WRF-ARW model. *Hydro-meteorological Studies and Forecasts.* 2020; 1(375):130-141. DOI: 10.37162/2618-9631-2020-1-130-141 (rus.).
14. Ferziger J., Peric M. Best practice guideline for the CFD simulation of flows in the urban environment (chapter in book). *Computational Methods for Fluid Dynamics (3th ed.).* 2002; 423.
15. Yakhot V., Orszag S., Thangam S. Development of turbulence models for shear flows by a double expansion technique. *Physics of Fluids A-Fluid Dynamics.* 2002; 4(7):1510-1520. DOI: 10.1063/1.858424
16. Yap C.J. Turbulent heat and momentum transfer in recirculating and impinging flows. PhD Thesis. *Faculty of Technology, University of Manchester: Manchester, UK.* 1987; 328.
17. Dulger N.V., Panasenko N.N. Digital model of pulsating wind. *All-Russian scientific and practical conference (May 26–27, 2022, Bryansk) / ed. by K.A. Goncharov. Bryansk, BSTU, 2022; 49-61. (rus.).*

About the authors: **Anton V. Abramov** — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Materials Science and Commodity Expertise; **Russian State University (RSU) named after A.N. Kosygina**; 33 Sadovnicheskaya st., Moscow, 117997, Russian Federation; e-mail: Ant-lin88@mail.ru;

**Olga A. Pchelenok** — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head, Department of Technosphere Safety; **Oryol State University (OSU) named after I.S. Turgenyev**; 95 Komsomolskaya st., Orel, 302026, Russian Federation; e-mail: bgdgtu@mail.ru.

## ПРОБЛЕМЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕРЕГОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ МАЛЫХ РЕК КРУПНЫХ ГОРОДОВ

Екатерина Владимировна Котлярова, Софья Павловна Басистая

Донской государственной технической университет (ДГТУ); г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

*Целью исследования является выявление существующих особенностей и проблем территориального планирования и проектирования береговых территорий малых рек крупных городов и формирование перечня рекомендаций для дальнейшей работы с ними. Авторами была подтверждена актуальность вопроса в настоящее время, а также приведены результаты анализа использования береговых территорий малых рек в Российской Федерации и зарубежом, где примеры благоустройства и перечень планируемых работ показывают, что при должном подходе и учете особенностей пространства возможна эффективная трансформация береговых территорий малых рек. Установили, что существуют противоречия между современным подходом к территориальному планированию и проектированию береговых территорий малых рек и необходимостью перехода к комплексному этапному подходу для их планирования и проектирования с возможностью создания непрерывных многофункциональных объектов вдоль малых рек крупных городов. Проведенный анализ российского и зарубежного опыта является одним из этапов для последующего совершенствования методики территориального планирования и проектирования береговых территорий малых рек на основании пересмотра существующих методических подходов, что позволит в дальнейшем лицам, принимающим решения, на предпроектном этапе принимать научно-обоснованные, экологически эффективные, экономичные и социально ответственные решения, связанные с повсеместным включением береговых территорий малых рек в хозяйственно-экономическую деятельность поселения, и внедрять актуальные приемы из градостроительной практики и ландшафтной архитектуры. В дальнейшем усовершенствованный методический подход к территориальному планированию и проектированию береговых территорий городских (малых) рек может быть использован для их оценки с учетом экологических, экономических, социальных и функциональных факторов с возможностью последующего выбора наиболее эффективных типов благоустройств территорий.*

**Ключевые слова:** водно-зеленый каркас, урбанизированные территории, городская среда, градостроительная экология, береговые территории, малые реки

**Для цитирования:** Котлярова Е.В., Басистая С.П. Проблемы территориального планирования и проектирования береговых территорий малых рек крупных городов // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2024. № 4. С. 41–51. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.41-51

## PROBLEMS OF TERRITORIAL PLANNING AND DESIGNING OF COASTAL AREAS OF SMALL RIVERS OF LARGE CITIES

Ekaterina V. Kotlyarova, Sofia P. Basistaya

Don State Technical University (DSTU); Rostov-on-Don, Russian Federation

*The purpose of the study is to identify the existing features and problems of territorial planning and design of small riverside territories of large cities and to form a list of recommendations for further work with them. The authors confirmed the relevance of the issue at the present time, as well as the results of the analysis of the use of coastal areas of small rivers in the Russian Federation and abroad, where examples of improvement and the list of planned works show that with a proper approach and taking into account the features of space is possible effective transformation of the coastal areas of small rivers. We have established that there are contradictions between the modern approach to spatial planning and design of the coastal territories of small rivers and the need to move to an integrated stage approach to their planning and design with the possibility of creating continuous multifunctional objects along small rivers of large cities. The conducted analysis of Russian and foreign experience is one of the stages for further improvement of the methodology of territorial planning and design of small river shore territories on the basis of revision of existing methodological approaches, which will allow decision-makers to make scientifically sound, environmentally effective, economical and socially responsible decisions related to the widespread inclusion of small river shore territories in economic and economic activity at the pre-project stage. In the future, the improved methodological approach to spatial planning and design of urban (small) riverside territories can be used for their assessment taking into account environmental, economic, social and functional factors with the possibility of subsequent selection of the most effective types of territorial improvements.*

**Keywords:** aquatic-green framework, urbanized territories, urban environment, urban planning ecology, coastal territories, small rivers

**For citation:** Kotlyarova E.V., Basistaya S.P. Problems of territorial planning and designing of coastal areas of small rivers of large cities. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2024; 4:41-51. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.41-51 (rus.).

## Введение

Длительное время повсеместное благоустройство городских территорий и создание на них многофункциональных общественных пространств являлось вторичным относительно возведения объектов капитального строительства жилого, коммерческого, промышленного и иных назначений. Постепенно стало возможным наблюдать положительные изменения в этой сфере, включая процесс восприятия жителями подобных пространств. Так, в рамках федерального проекта «Формирование комфортной городской среды», который считается одним из наиболее успешных и эффективных в Российской Федерации, в городах стали появляться новые типы пространств, объединенных поиском идентичности, тщательным подбором малых архитектурных форм, а также выбором элементов преимущественно местного озеленения. При этом действующий порядок взаимодействия с прибрежными территориями не учитывает вопросы гидрогеологии и поверхностного водоотвода, хотя водно-зеленый каркас связывает природные и антропогенные элементы городской среды [1, 2].

В настоящее время для крупных городов Российской Федерации, в границы которых входят малые реки, существует проблема грамотного научно-обоснованного использования их береговых территорий, в том числе в контексте современной ландшафтной архитектуры, а также отсутствует градостроительный механизм их планирования и проектирования по принципу непрерывности с функциональной точки зрения, что подтверждает необходимость исследований в данной области.

Целью исследования является выявление существующих особенностей и проблем территориального планирования и проектирования береговых территорий малых рек крупных городов и формирование перечня рекомендаций для дальнейшей работы с ними.

## Материалы и методы

Урбанизация и технологический прогресс увеличивают антропогенную нагрузку на водные ресурсы в крупных городах, ухудшая экологическую обстановку [3, 4]. Возникает необходимость обновления систем поверхностного водоотведения, развития и разработки новых технологий в капитальном строительстве и городском хозяйстве [5, 6], а также совершенствования подходов территориального планирования и проектирования в целом.

Для обеспечения соответствующего уровня экологической безопасности городской среды и комфортных условий жизнедеятельности населения актуальным для изучения и практического вне-

дрения становится вопрос формирования водно-зеленого каркаса [7] с учетом комплексного подхода к территориальному планированию и проектированию береговых территорий малых рек.

К «малым рекам» относят реки, длина каждой из которых составляет не более 100 км, а площадь бассейна в пределах 1–2 тыс. кв. км. Такие реки являются наиболее распространенными элементами гидрографической сети Российской Федерации. Они охватывают значительные территории и вовлечены в хозяйственную деятельность в качестве источника водных ресурсов и приемника сточных вод, а на их водосборной площади проживает около 30 % населения страны.

При этом данная область исследования связана с большим количеством действующих нормативно-правовых документов, анализ которых показал, что при достаточно детальном рассмотрении различных аспектов территориального планирования береговых территориям городских (малых) рек в контексте градостроительной деятельности практически не уделяется внимания. Так, можно сказать, что в настоящее время отсутствует нормативно закреплённый порядок учета гидрологических особенностей береговых территорий малых рек в крупных городах, а также системы поверхностного водоотведения на прилегающих к ним участках, что препятствует слаженной разработке и реализации проектов на их берегах.

В качестве примера существующего состояния береговых территорий малых рек на рисунке представлены результаты визуального осмотра различных участков малой реки Темерник в городе Ростове-на-Дону по состоянию на сентябрь 2024 г.

Важно отметить, что алгоритм исследований воздействия на окружающую среду проектируемых объектов градостроительства, включая объекты городского хозяйства (системы жизнеобеспечения), при интенсивном развитии застроенных территорий определяется характером воздействия и природно-климатическими условиями рассматриваемой урбанизированной территории (региона размещения).

Анализ работ отечественных и зарубежных авторов [8–11] дает возможность сформировать общую последовательность таких исследований:

- необходимо дать подробную характеристику природно-климатическим условиям рассматриваемого района строительства;
- выполнить вычленение из плана развития рассматриваемой территории конкретного вновь строящегося или реконструируемого объекта, либо группы объектов на основе реализации концепции геотехнических систем;
- провести определение механизмов существующей и планируемой реализации вещественных,



*a*



*b*

Состояние береговых территорий малой реки Темерник в г. Ростове-на-Дону на переходе возле ул. Шаповалова (*a*) и главного железнодорожного вокзала (*b*)

энергетических и информационных потоков на рассматриваемой территории;

- выполнить оценку видов и границ воздействия на окружающую городскую среду выбранных к рассмотрению объектов градостроительства и городского хозяйства на основе выявления зон воздействия, дифференциации знака и интенсивности воздействия на экосистемы и ландшафты, определения степени воздействия в экстремальных ситуациях по технологическим, экономическим и социальным критериям. При этом весьма важное значение имеет обоснование выбора параметров хозяйственно-экономической деятельности, характеристик состояния природной среды, а также методов прогнозирования и оценивания.

В результате многолетних исследований [12, 13] установлено, что к основным характеристикам хозяйственной деятельности, учет которых крайне необходим для выполнения оценки воздействия хозяйственно-экономической деятельности на окружающую городскую среду, относят:

- пространственно-временную структуру непосредственно используемых видов ресурсов и интенсивность их применения. При этом в качестве ресурса необходимо также рассматривать пространство, необходимое для размещения рассматриваемых объектов проектирования;
- энергетическую мощность рассматриваемых объектов, характеризуемую потреблением энергии в единицу времени;
- проектируемый интервал времени жизненного цикла рассматриваемых объектов;
- интенсивность и изменчивость во времени и пространстве образования на рассматриваемых объектах вещественно-энергетических отходов (выбросов, сбросов, материальных потерь), включая их структурные пространственно-временные характеристики;

- виды и характеристики компонентов природной среды, непосредственно подвергающихся воздействию в результате прямого использования ресурсов и отходов.

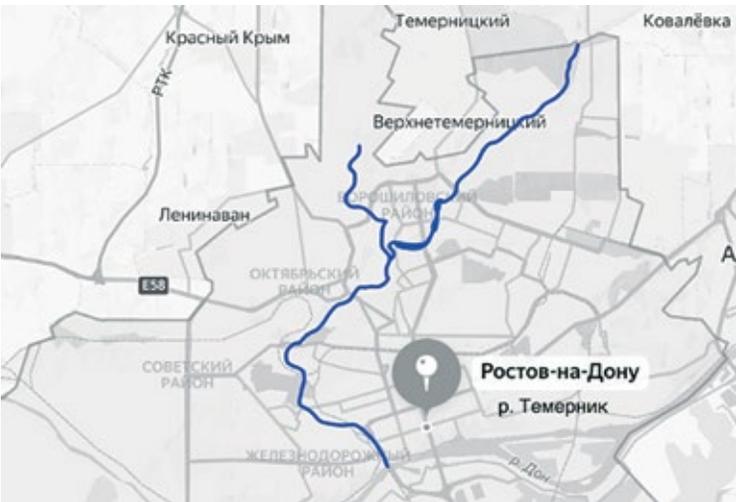
Вышеописанные подходы требуют пересмотра и дополнения для возможности использования их при территориальном планировании и проектировании береговых территорий городских (малых) рек.

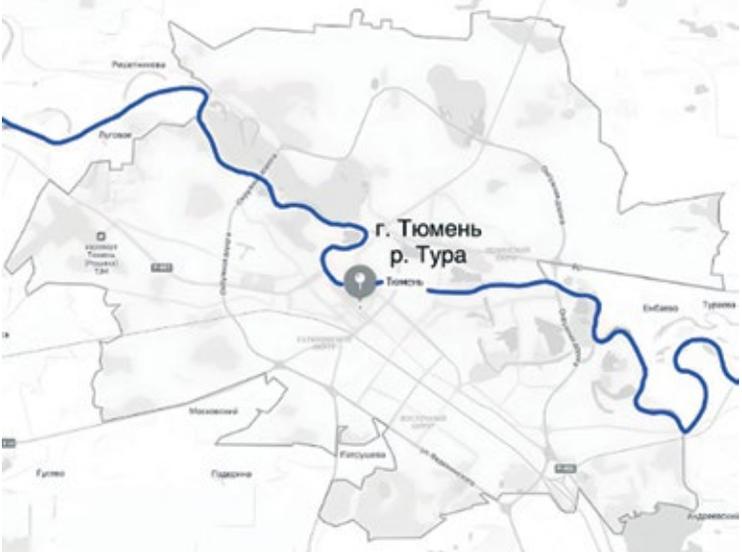
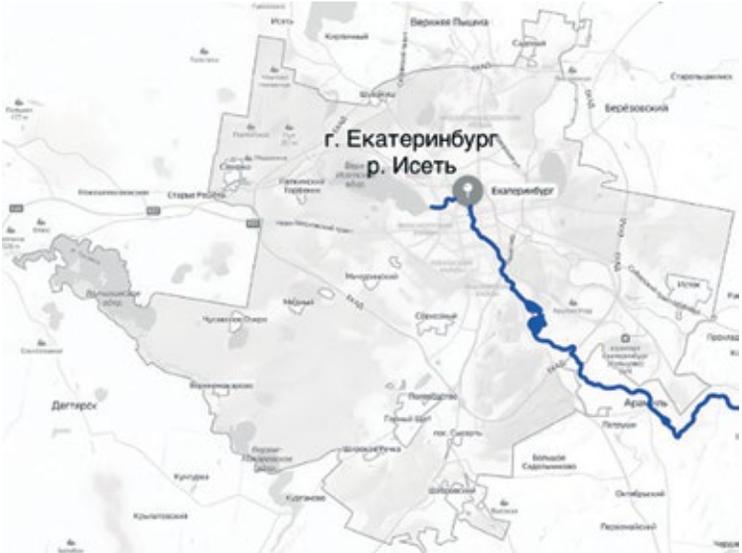
## Результаты

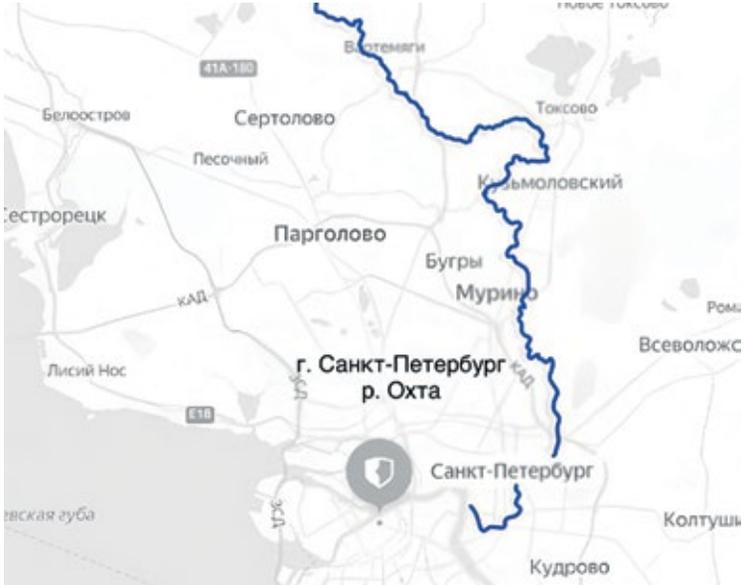
Для систематизации существующих решений по фактическому использованию береговых территорий малых рек в крупных городах Российской Федерации мы предлагаем учитывать следующие характеристики: протяженность реки в границах населенного пункта, включая соотношение с общими размерами поселения (в перспективе), преимущественный характер использования берегов на период исследования, объем водотока, наличие гидротехнических сооружений или иных препятствий по ходу русла в черте города.

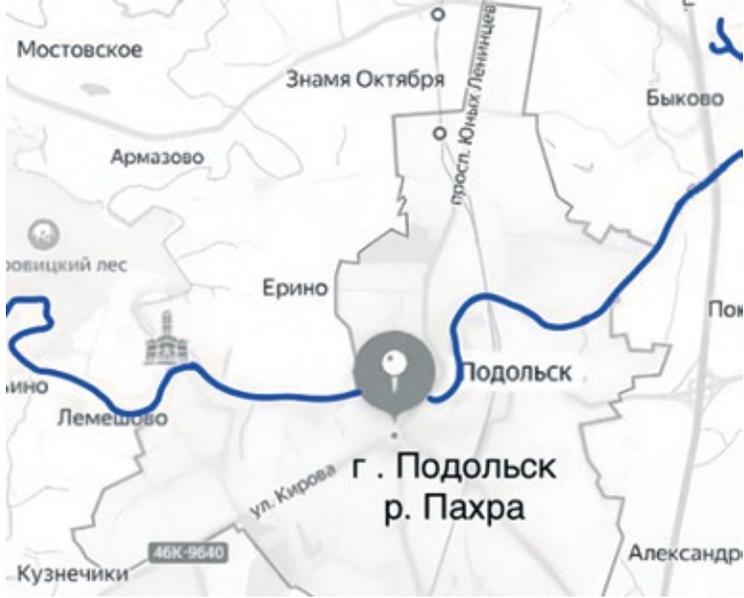
Проведенный анализ показал (табл. 1), что использование береговых территорий малых рек в Российской Федерации на данный период времени не отличается разнообразием и в большинстве своем заключается в точечных преобразованиях. При этом открываются значительные перспективы использования, в том числе на основании исторических аспектов. Ведь малые реки в крупных городах на протяжении многих десятилетий несли не только хозяйственную функцию (слив сточных вод), но и транспортную (до накопления донных отложений многие из малых рек использовали для судоходства), а также были местом проведения знаковых исторических событий (судоходные верфи на р. Темерник во времена правления Петра I). По мнению авторов, учет исторической значимости малых рек в проектах благоустройства береговых терри-

Таблица 1. Анализ использования береговых территорий городских (малых) рек в Российской Федерации

Наименование города	Название реки	Длина в городской черте, км	Особенности на 2024 г., порядок использования, местоположение малой реки в структуре города графически (выборочно)
Москва	Яуза	27,6	<p>Создан непрерывный линейный парк длиной вдоль обоих берегов около 30 км</p> 
Ростов-на-Дону	Темерник	18	<p>Существует проект реабилитации реки и планы по непрерывному парку, но бюрократические и иные вопросы замедляют реализацию</p> 
Краснодар	Белая	15–20	Запланировано проведение исторических исследований реки Белая, организация экологического мониторинга качества ее воды, а также очистка ее берегов от бытового мусора
	Карасун	45	Проект «Карасунские пруды» направлен на реализацию концепции водно-зеленого каркаса в городе. Отдельная непротяженная территория
Ставрополь	Мутнянка	9,1	Разработан проект по очистке реки в рамках «Марафона зеленых дел», в настоящее время благоустройство отсутствует
	Желобовка	2,5	Запланировано благоустройство бульвара имени генерала А.П. Ермолова, т.е. часть одного из берегов
	Мамайка	12,5	Разработан проект укрепления берега реки, что может являться хорошей основой для дальнейших работ

Наименование города	Название реки	Длина в городской черте, км	Особенности на 2024 г., порядок использования, местоположение малой реки в структуре города графически (выборочно)
Тюмень	Тура	30	<p>Архитектурно-инженерная группа «Ист» подготовила видеопрезентацию концепции благоустройства набережной реки Тура в Тюмени. Проект подразумевает развитие территории от Свято-Троицкого монастыря до Масловского взвоза. Также разработан проект очистки реки с помощью гидроустановок</p> 
Екатеринбург	Исеть	20	<p>Непрерывное благоустройство отсутствует, но благоустройство части набережной вдоль улицы Горького было признано лучшим реализованным проектом общественного пространства на конкурсе «Золотой Трезини»</p> 

Наименование города	Название реки	Длина в городской черте, км	Особенности на 2024 г., порядок использования, местоположение малой реки в структуре города графически (выборочно)
Казань	Казанка	15	<p>Стратегия предусматривает благоустройство набережной реки Казанки протяженностью 22 км. Планируется создать 12 новых парков на береговой линии от Голубых озер до Волги, 60 км велосипедных и пешеходных маршрутов и более двух десятков точек доступа к прибрежным территориям. В настоящее время проект еще не реализован</p>  <p>The map shows the Kazaanka river flowing through the city of Kazan. Key districts labeled include: Левский, АВКАСТРОИТЕЛЬНЫЙ РАЙОН, МОСКОВСКИЙ РАЙОН, ХИРОВСКИЙ РАЙОН, МАКУТОВСКИЙ РАЙОН, Высокая Гора, Берёзовка, г. Казань, р. Казанка, ОБЕТСКИЙ РАЙОН, ул. Мамарышский Тракт, Бирюк, and Ин. The river is highlighted in blue, showing its path from the north towards the city center.</p>
Санкт-Петербург	Охта Карповка	18 7,5	<p>Комплексное благоустройство отсутствует, но в настоящее время на набережной Карповки от улицы Всеволода Вишневского до Газовой улицы появились мощенная плиткой пешеходная дорожка, скамейки, урны, фонари, парковки для велосипедов, а также небольшой понтон с видом на корпуса завода «Источник», т.е. преобразована часть территории</p>  <p>The map shows the Ohta river flowing through the city of Saint-Petersburg. Key districts labeled include: Белоостров, Сертолово, Парголово, Бугры, Мурино, Кильмольский, Всеволожс, Колтушь, Кудрово, Ром, Лисий Нос, Леснорощ, Бестемьги, and Санкт-Петербург. The river is highlighted in blue, showing its path from the north towards the city center.</p>

Наименование города	Название реки	Длина в городской черте, км	Особенности на 2024 г., порядок использования, местоположение малой реки в структуре города графически (выборочно)
Нижний Новгород	Почайна	20	Разработан проект благоустройства Почаинского оврага. Комплексное благоустройство вдоль малой реки отсутствует
Подольск	Пахра	8–10	<p>Запланированы работы по благоустройству части набережной реки Пахры</p> 
Саратов	Гуселка	13	В настоящее время берега преимущественно заросли и мало используются. Частичное благоустройство запланировано до 2030 г.

торий способен усилить социальный и эмоциональный подтекст формируемого общественного пространства, а также повысить его посещаемость, что, в свою очередь, приведет к повышению спроса на товары и услуги, расположенные рядом. Графическое отображение местоположения перечисленных в таблице малых рек показывает, что они находятся, как правило, в густонаселенных и наиболее востребованных с экономической и социальной точек зрения районах городов.

В табл. 2 приведены сравнительные данные по использованию береговых территорий малых рек зарубежом, где примеры благоустройства и перечень планируемых работ показывают, что при должном подходе и учете функциональных особенностей территории (восстановление русла, учет площади водосбора, изучение и защита биоразнообразия и так далее) возможна трансформация «неудобных», на первый взгляд, участков в перспективные для хозяйственно-экономической деятельности пространства градостроительного субъекта.

По результатам сравнительного анализа полученных данных можно отметить, что в отечествен-

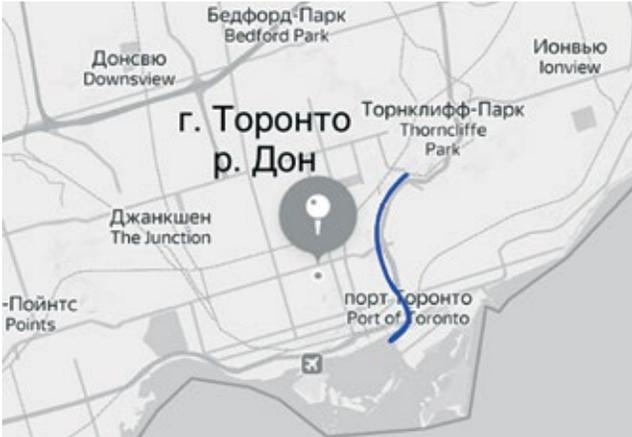
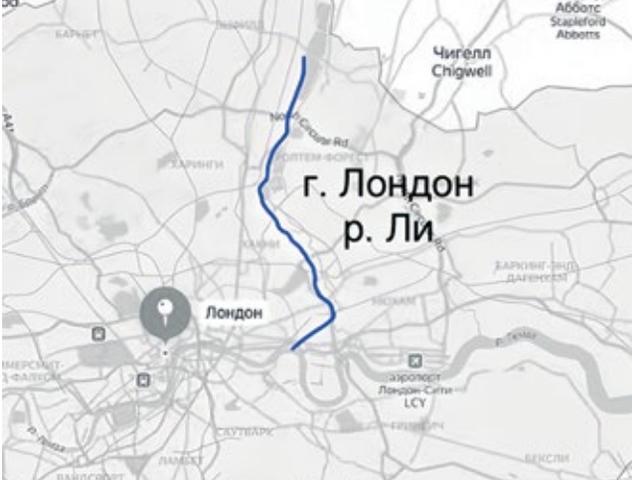
ной градостроительной практике, как правило, проявляют интерес к городским (малым) рекам при обращениях со стороны местных жителей или в случае резкого ухудшения состояния водного объекта во избежание эпидемиологических и иных рисков. Что касается береговых территорий, то они планируются в работу исключительно с привязкой к прилегающим участкам общественной или жилой застройки, без учета принципа непрерывности.

Зарубежные примеры показывают преимущественно комплексный подход при работе с городскими (малыми) реками, а именно возрождение и очистка устья с последующим созданием прогулочных зон или линейных экопарков, что создает основу для последующей непрерывности.

Исходя из вышеизложенного, можно выделить следующие проблемы при территориальном планировании и проектировании береговых территорий городских (малых) рек:

- отсутствие комплексного подхода;
- работа с отдельными участками линейного объекта как при очистке, так и при благоустройстве без учета принципа непрерывности;

Таблица 2. Анализ использования береговых территорий зарубежных городских (малых) рек

Наименование города	Название реки	Длина в городской черте, км	Особенности на 2024 г., порядок использования, местоположение малой реки в структуре города графически (выборочно)
Торонто	Дон	28,6	<p>Завершены восстановление устья реки и его очистка как предварительный этап комплексного благоустройства</p> 
Онтарио Канада	Хамбер	60,7	Разработан план водосбора и создана тропа по всей протяженности реки
Осло	Акерсэльва	9	Вдоль реки создан экологический парк с возможностью посещения жителями и туристами
Джакарта	Чиливунг	22,5	Реализовывается проект по очистке и возрождению реки с сопутствующим благоустройством
Лондон	Ли	25	<p>Как часть реабилитации реки выполняется восстановление самоподдерживающейся популяции усачей в пределах Олд-Ривер-Ли</p> 
Уоттон-эт-Стоун	Бин	3,5	Реализация проекта восстановления растительности на береговых территориях, планируется благоустройство
Ройдон	Сторт	3,7	Восстановление малой реки с организацией заповедника вдоль ее берегов

- отсутствие в действующей нормативно-правовой базе необходимой терминологии относительно береговых территорий и проектирования по принципу непрерывности и взаимосвязанности.

### Дискуссия

Несмотря на то, что проблеме территориального планирования и проектирования городских территорий посвящено большое количество исследований,

можно утверждать о становлении этого научного направления в контексте береговых территорий городских (малых) рек и начале формирования для него соответствующего методологического обеспечения.

В этой связи для дальнейшего совершенствования методологии территориального планирования и проектирования береговых территорий городских (малых) рек, а также для последующего исследования взаимосвязи между типами обустройства городских (малых) рек и комфортностью жизни жителей прилегающих территорий, туристической привлекательности и т.д. и разработки системного научно-методологического подхода к территориальному планированию и проектированию береговых территорий городских (малых) рек с учетом эколого-функциональных и социально-экономических факторов авторами проведен анализ предложенных подходов с выявлением положительных особенностей, которые приняты в работе как основные научные постулаты. Таким образом, в качестве научной основы для исследования авторами использованы основные положения, выводы и зависимости, сформулированные в перечисленных выше теоретических подходах.

### Заключение

Таким образом было установлено, что существуют противоречия между современным подходом к территориальному планированию и проектированию береговых территорий малых рек и необходимостью перехода к комплексному этапному подходу для их планирования и проектирования с возможностью создания непрерывных многофункциональных объектов вдоль малых рек крупных городов, что положительно скажется на комфортности жизни жителей и состоянии их здоровья [14].

Разрабатываемые авторами научный подход и соответствующая ему усовершенствованная методика территориального планирования и проектирования береговых территорий малых рек, на основании пересмотра существующих методических подходов, позволят лицам, принимающим решения, в предпроектном этапе принимать научно-обоснованные, экологически эффективные, экономичные и социально ответственные решения, связанные с повсеместным включением береговых территорий малых рек в хозяйственно-экономическую деятельность поселения, и внедрять актуальные приемы из градостроительной практики [15] и ландшафтной архитектуры.

По результатам исследования были выявлены современные особенности и проблемы территориального планирования и проектирования береговых территорий малых рек крупных городов и сформирован перечень рекомендаций для дальнейшей работы с ними.

На следующем этапе планируется также уделить внимание экологическим, экономическим, социальным и функциональным факторам развития территорий, а также их взаимосвязанным сочетаниям (социально-экономические и эколого-функциональные) для совершенствования способов принятия решений относительно благоустройства береговых территорий малых рек. В дальнейшем усовершенствованный методический подход к территориальному планированию и проектированию береговых территорий городских (малых) рек может быть использован для их оценки с учетом экологических, экономических, социальных и функциональных факторов с возможностью последующего выбора наиболее эффективных типов благоустройств территорий и внедрения решений в планируемые системы «умных» городов [16].

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Camila Gomes Sant`Anna, Ian Mell, Luciana Bongiovanni Martins Schenk.* Guided by water: green infrastructure planning and design adapted to climate change // *Urban Services to Ecosystems: Future City.* 2021. No. 17. Pp. 333–344. DOI: 10.1007/978-3-030-75929-2\_18
2. *Blocken B., Stathopoulos T., Van Beeck J.P.A.J.* Pedestrian-level wind conditions around buildings: Review of wind-tunnel and CFD techniques and their accuracy for wind comfort assessment // *Building and Environment.* 2016. No. 100. Pp. 50–81. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.02.004
3. *Jun Yang, Yuxin Yang, Dongqi Sun, Cui Jin, Xiangming Xiao.* Influence of urban morphological characteristics on thermal environment // *Sustainable Cities and Society.* 2021. No. 72. P. 103045. DOI: 10.1016/j.scs.2021.103045
4. *Minh Tuan Le, Bakaeva N., Danilina N., Thi Van Anh Hoang.* Method of identifying urban heat islands by remote sensing based on big data // *E3S Web of Conferences.* 2023. No. 403. P. 05007. DOI: 10.1051/e3sconf/202340305007
5. *Zubarev K., Gagarin V.* Heat and moisture transfer in building enclosing structures // *XIV International Scientific Conference “INTERAGROMASH 2021”.* 2022. Pp. 257–266. DOI: 10.1007/978-3-030-80946-1\_26

6. Zubarev K., Rynkovskaya M., Fedoseev V.D., Sapronova Y.A. Studying temperature and moisture conditions of building envelopes using a condensation nomogram // *E3S Web of Conferences*. 2024. No. 549. P. 05019. DOI: 10.1051/e3sconf/202454905019
7. Xiaojun Xiang, Qiong Li, Khan Sh., Osamah Ibrahim Khalaf. Urban water resource management for sustainable environment planning using artificial intelligence techniques // *Environmental Impact Assessment Review*. 2021. No. 86. P. 106515. DOI: 10.1016/j.eiar.2020.106515
8. Nimra Shahid, Munam Ali Shah, Abid Khan, Gwanggil Jeon, Carsten Maple. Towards greener smart cities and road traffic forecasting using air pollution data // *Sustainable Cities and Society*. 2021. No. 72. P. 103062. DOI: 10.1016/j.scs.2021.103062
9. Tao Lin, Wenhao Qian, Hongwei Wang, Yu Feng. Air pollution and workplace choice: evidence from China // *Environmental Research and Public Health*. 2022. No. 19(14). P. 8732. DOI: 10.3390/ijerph19148732
10. Da Lu, Yihe Lu, Guangyao Gao, Siqi Sun, Yi Wang, Bo-Jie Fu. A landscape persistence-based methodological framework for assessing ecological stability // *Environmental Science and Ecotechnology*. 2024. No. 17 (24). P. 100300. DOI: 10.1016/j.ese.2023.100300
11. Liang-jun Long. Eco-efficiency and effectiveness evaluation toward sustainable urban development in China: a super-efficiency SBM–DEA with undesirable outputs // *Environment Development and Sustainability*. 2021. No. 23 (9). Pp. 14982–14997. DOI: 10.1007/s10668-021-01282-7
12. Kotlyarova E. Improving the methodology for assessing the level of environmental safety of urban areas as the basis of their life cycle // *E3S Web of Conferences*. 2023. No. 389 (4). P. 09062. DOI: 10.1051/e3sconf/202338909062
13. Kotlyarova E. Basic scientific principles of improving the methodology for the assessment of the level of environmental safety of urbanized territories // *AIP Conference Proceedings*. 2023. No. 2560. P. 020010. DOI: 10.1063/5.0124786
14. Bickler G., Morton S., Menne B. Health and sustainable development: An analysis of 20 European voluntary national reviews // *Public Health*. 2020. No. 180. Pp. 180–184. DOI: 10.1016/j.puhe.2019.10.020
15. Muhammad Shahzad, Muhammad Tariq Shafiq, Dean Douglas, Mohamad Kassem. Digital twins in built environments: an investigation of the characteristics, applications, and challenges // *Buildings*. 2022. No. 12 (2). P. 120. DOI: 10.3390/buildings12020120
16. Danilina N., Majorzadehzahiri A. Impact of smart city on formation of a sustainable social smart city // *AIP Conference Proceedings*. 2023. No. 2791. P. 050025. DOI: 10.1063/5.0143458

Об авторах: **Екатерина Владимировна Котлярова** — кандидат экономических наук, доцент, доцент Института опережающих технологий; **Донской государственный технический университет (ДГТУ)**; 344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1; e-mail: ekkot.arch@gmail.com;

**Софья Павловна Басистая** — студент 4-го курса Института опережающих технологий; **Донской государственный технический университет (ДГТУ)**; 344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1; e-mail: sofiiimih24@gmail.com.

## REFERENCES

1. Camila Gomes Sant`Anna, Ian Mell, Luciana Bongiovanni Martins Schenk. Guided by water: green infrastructure planning and design adapted to climate change. *Urban Services to Ecosystems: Future City*, 17. 2021; 333-344. DOI: 10.1007/978-3-030-75929-2\_18
2. Blocken B., Stathopoulos T., Van Beeck J.P.A.J. Pedestrian-level wind conditions around buildings: Review of wind-tunnel and CFD techniques and their accuracy for wind comfort assessment. *Building and Environment*. 2016; 100:50-81. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.02.004
3. Jun Yang, Yuxin Yang, Dongqi Sun, Cui Jin, Xiangming Xiao. Influence of urban morphological characteristics on thermal environment. *Sustainable Cities and Society*. 2021; 72:103045. DOI: 10.1016/j.scs.2021.103045
4. Minh Tuan Le, Bakaeva N., Danilina N., Thi Van Anh Hoang. Method of identifying urban heat islands by remote sensing based on big data. *E3S Web of Conferences* 403. 2023; 05007. DOI: 10.1051/e3sconf/202340305007
5. Zubarev K., Gagarin V. Heat and moisture transfer in building enclosing structures. *XIV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2021"*. 2022; 257-266. DOI: 10.1007/978-3-030-80946-1\_26
6. Zubarev K., Rynkovskaya M., Fedoseev V.D., Sapronova Y.A. Studying temperature and moisture conditions of building envelopes using a condensation nomogram. *E3S Web of Conferences* 549. 2024; 05019. DOI: 10.1051/e3sconf/202454905019
7. Xiaojun Xiang, Qiong Li, Shah Nawaz Khan, Osamah Ibrahim Khalaf. Urban water resource management for sustainable environment planning using artificial intelligence techniques. *Environmental Impact Assessment Review*. 2021; 86:106515. DOI: 10.1016/j.eiar.2020.106515

8. Nimra Shahid, Munam Ali Shah, Abid Khan, Gwanggil Jeon, Carsten Maple. Towards greener smart cities and road traffic forecasting using air pollution data. *Sustainable Cities and Society*. 2021; 72:103062. DOI: 10.1016/j.scs.2021.103062
9. Tao Lin, Wenhao Qian, Hongwei Wang, Yu Feng. Air pollution and workplace choice: evidence from China. *Environmental Research and Public Health*. 2022; 19(14):8732. DOI: 10.3390/ijerph19148732
10. Da Lu, Yihe Lu, Guangyao Gao, Siqu Sun, Yi Wang, Bo-Jie Fu. A landscape persistence-based methodological framework for assessing ecological stability. *Environmental Science and Ecotechnology*. 2024; 17(24):100300. DOI: 10.1016/j.es.2023.100300
11. Liang-jun Long. Eco-efficiency and effectiveness evaluation toward sustainable urban development in China: a super-efficiency SBM–DEA with undesirable outputs. *Environment Development and Sustainability*. 2021; 23(9):14982-14997. DOI: 10.1007/s10668-021-01282-7
12. Kotlyarova E. Improving the methodology for assessing the level of environmental safety of urban areas as the basis of their life cycle. *E3S Web of Conferences*. 2023; 389(4):09062. DOI: 10.1051/e3sconf/202338909062
13. Kotlyarova E. Basic scientific principles of improving the methodology for the assessment of the level of environmental safety of urbanized territories. *AIP Conference Proceedings*. 2023; 2560:020010. DOI: 10.1063/5.0124786
14. Bickler G., Morton S., Menne B. Health and sustainable development: An analysis of 20 European voluntary national reviews. *Public Health*. 2020; 180:180-184. DOI: 10.1016/j.puhe.2019.10.020
15. Muhammad Shahzad, Muhammad Tariq Shafiq, Dean Douglas, Mohamad Kassem. Digital twins in built environments: an investigation of the characteristics, applications, and challenges. *Buildings*. 2022; 12(2):120. DOI: 10.3390/buildings12020120
16. Danilina N., Majorzadehzahiri A. Impact of smart city on formation of a sustainable social smart city. *AIP Conference Proceedings*. 2023; 2791:050025. DOI: 10.1063/5.0143458

About the authors: **Ekaterina V. Kotlyarova** — Associate Professor of the Institute of Advanced Technologies; **Don State Technical University (DSTU)**; 1 Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation; e-mail: ekkot.arch@gmail.com;

**Sofia P. Basistaya** — 4th year Student of the Institute of Advanced Technologies; **Don State Technical University (DSTU)**; 1 Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation; e-mail: sofiimih24@gmail.com.

## ВЛИЯНИЕ «ЗЕЛЕННЫХ» КРЫШ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОЗДУХА В КРУПНЫХ ГОРОДАХ РОССИИ

Елена Владимировна Сыsoева, Евгений Леонидович Безбородов

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

*Экологическое состояние городской среды зависит от многих факторов, одним из которых является качество воздуха. Состав воздуха изменяется в зависимости от взаимного расположения здания вблизи промышленных предприятий, зданий общественного назначения, нахождения мест выброса мусора различного происхождения, расположения дорог с большим транспортным потоком. Но все эти загрязнения можно анализировать по фракционному, химическому и дисперсному составу. В зависимости от типа и состава загрязнения можно рекомендовать различные виды поддержания чистоты воздуха, одним из которых может являться наличие дополнительного компенсационного озеленения на крышах, стилобатах и фасадах зданий на территории крупных городов.*

*В статье представлены характеристика и классификация пылевых частиц, их влияние на организм человека.*

*Приведены статистические данные по изменению численности крупных городов России из-за увеличения смертности людей в результате заболеваний дыхательных путей и крови. Это напрямую связано с составом и качеством воздуха в городе, от вида жизнедеятельности людей на рассматриваемой территории.*

*Сделано аналитическое сравнение карт для получения прогнозирования возможности и необходимости устройства «зеленых» крыш и фасадов на территории рассматриваемых крупных городов России.*

*Представлены данные по увеличению количества личного транспорта в городах России, изменению плотности пылевых масс по высоте в составе города для различных видов запыленности.*

*В статье представлен один из вариантов решения проблемы загрязнения городских агломераций с помощью компенсационного озеленения на крышах и фасадах зданий.*

**Ключевые слова:** экологическое состояние городской среды, концентрация пылевых масс, «зеленые» крыши, загрязнение воздуха

**Для цитирования:** Сыsoева Е.В., Безбородов Е.Л. Влияние «зеленых» крыш на экологическое состояние воздуха в крупных городах России // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2024. № 4. С. 52–61. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.52-61

## INFLUENCE OF “GREEN” ROOFS ON THE ECOLOGICAL STATE OF AIR IN MAJOR CITIES OF RUSSIA

Elena V. Sysoeva, Evgeny L. Bezborodov

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

*The ecological state of the urban environment depends on many factors, one of which is air quality. The composition of the air varies depending on the relative location of the building near industrial enterprises, public buildings, the location of garbage disposal sites of various origins, the location of roads with a large traffic flow. But all these contaminants can be analyzed by fractional, chemical and dispersed composition. Depending on the type and composition of pollution, various types of air cleanliness maintenance can be recommended, one of which may be the presence of additional compensatory landscaping on roofs, stylobates and facades of buildings in large cities. The article presents the characteristics and classification of dust particles, their effect on the human body.*

*Statistical data on the change in the number of large cities in Russia due to an increase in human mortality as a result of respiratory tract and blood diseases are presented. This is directly related to the composition and quality of the air in the city, from the type of human activity in the area under consideration.*

*An analytical comparison of maps has been made to obtain a prediction of the possibility and necessity of installing “green” roofs and facades on the territory of the major cities of Russia under consideration. The data on the increase in the number of personal transports in Russian cities, changes in the density of dust masses in height in the composition of the city for various types of dust are presented.*

*The article presents one of the solutions to the problem of pollution of urban agglomerations using compensatory landscaping on roofs and facades of buildings.*

**Keywords:** ecological state of the urban environment, concentration of dust masses, “green” roofs, air pollution

**For citation:** Sysoeva E.V., Bezborodov E.L. Influence of “green” roofs on the ecological state of air in major cities of Russia. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2024; 4:52-61. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.52-61 (rus.).

## Введение

Улучшение экологического состояния городской среды является одним из самых важных направлений государственной политики, что записано в Экологической Доктрине Российской Федерации, одобренной распоряжением Правительства РФ № 1225-р от 31 августа 2002 года<sup>1</sup>, и в Федеральном законе<sup>2</sup>. «Дальнейшая деградация природных систем ведет к дестабилизации биосферы, утрате ее целостности и способности поддерживать качества окружающей среды, необходимые для жизни. Преодоление кризиса возможно только на основе формирования нового типа взаимоотношений человека и природы, исключающих возможность разрушения и деградации природной среды», как сказано в Доктрине<sup>1</sup>.

В Стратегии экологической безопасности Российской Федерации<sup>3</sup> сказано, что экологическое состояние Российской Федерации оценивается как неблагоприятное по многим параметрам. Ухудшается состояние здоровья людей, особенно тех, кто проживает в городских агломерациях.

Население на территории России распределяется крайне неравномерно. Согласно данным Росстата, по результатам Всероссийской переписи населения 2020 г. на 1 октября 2021 г. из 1117 российских городов население более 100 000 человек имели 172 города. При этом городское население России составляет 75,1, а сельское 25,26 % на 2023 г. Несмотря на первый естественный прирост населения в 1991 г., составивший 22 700 человек, общая тенденция по уменьшению численности населения России все еще сохраняется. При этом большую часть территории страны занимают города с населением свыше 250 000 человек до 1 000 000 человек, т.е. крупные города по СП 42.13330.2016<sup>4</sup>; городов с численностью от 250 000 до 500 000 чел. в России 41 (рис. 1), а с населением свыше 500 000 до 1 млн чел. всего 22 (рис. 2).

По рис. 1 и 2 видно, что все крупные города сконцентрированы в западной, юго-западной и южной частях Российской Федерации. Плотность населения в этих городах самая высокая по сравнению со всей территорией страны (рис. 3).

Такая же ситуация, по данным Росстата, происходит и с показателями рождаемости и смертности

<sup>1</sup> URL: [https://www.mid.ru/ru/foreign\\_policy/official\\_documents/1688732/](https://www.mid.ru/ru/foreign_policy/official_documents/1688732/)

<sup>2</sup> Об основах технического регулирования в РФ : Федеральный закон № 184-ФЗ от 27 декабря 2002 года (редакция от 02 июля 2021 года).

<sup>3</sup> О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года : Указ Президента Российской Федерации от 19.04.2017 г. № 176.

<sup>4</sup> СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений.



Рис. 1. Карта России с указанием городов с населением от 250 000 до 500 тыс. (по состоянию на 2021 г.)<sup>5</sup>

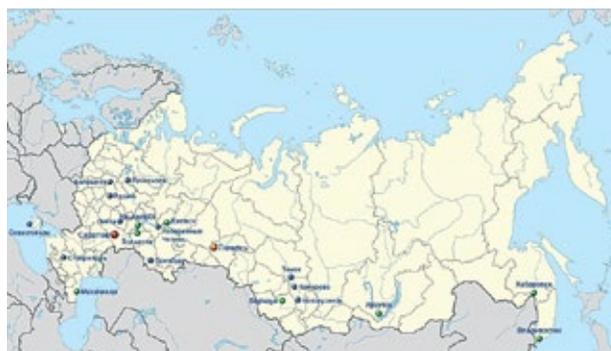


Рис. 2. Карта России с указанием городов с населением от 500 тыс. до 1 млн чел. (по состоянию на 2021 г.)<sup>6</sup>

(рис. 4). С 2016 по 2021 г. рождаемость в России резко понизилась, в то время как смертность продолжает повышаться (рис. 4). Естественный прирост населения России в 1,7 раза меньше числа умерших в последние 5 лет.

В связи с этим Стратегия экологической безопасности Российской Федерации<sup>3</sup> определяет цели государственной политики для обеспечения экологической безопасности. Это — «сохранение и восстановление природной среды, обеспечение качества окружающей среды, необходимого для благоприятной жизни человека и устойчивого развития экономики, ликвидация накопленного вреда окружающей среде вследствие хозяйственной и иной деятельности в условиях возрастающей экономической активности и глобальных изменений климата».

Большую роль в сохранении или ухудшении экологической безопасности крупных городов играет обеспеченность легковыми автомобилями в России. По приведенной карте видно, что при средней обеспеченности легковыми автомобилями в 315 шт.

<sup>5</sup> URL: <http://www.statdata.ru/karta/krupnye-goroda-rossii>

<sup>6</sup> URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B0\\_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8\\_%D1%81\\_%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5%D0%BC\\_%D0%B1%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%B5\\_500\\_%D1%82%D1%8B%D1%81%D1%8F%D1%87\\_%D1%87%D0%B5%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%BA](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B0_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8_%D1%81_%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5%D0%BC_%D0%B1%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%B5_500_%D1%82%D1%8B%D1%81%D1%8F%D1%87_%D1%87%D0%B5%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%BA)



Рис. 3. Плотность населения России по субъектам Федерации на 1 января 2020 года, чел. на 1 кв. км<sup>7</sup>

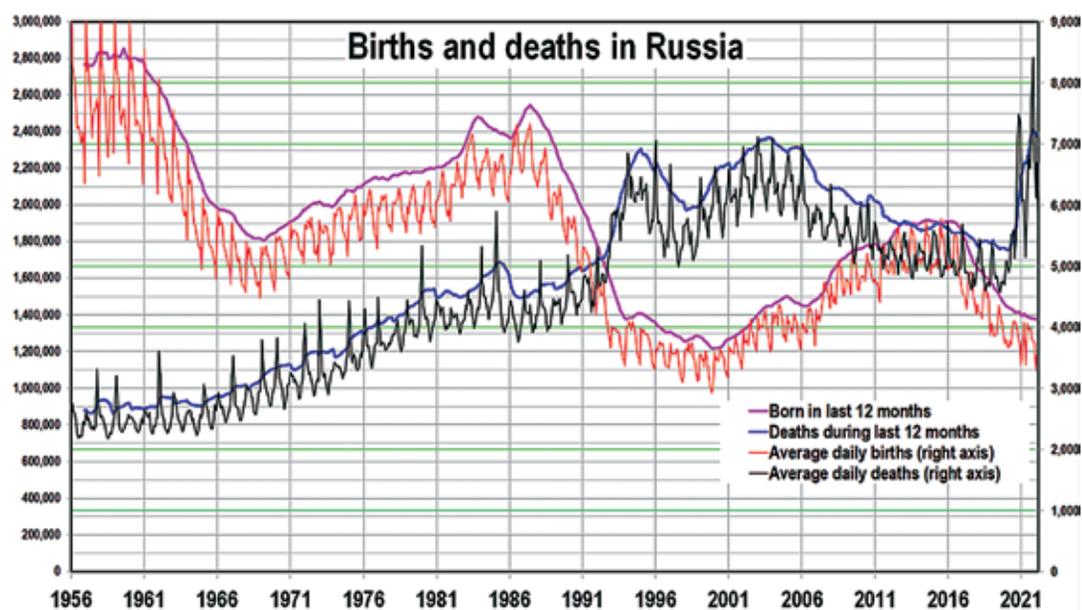


Рис. 4. Данные о рождаемости и смертности в России за январь 1956 – февраль 2022 г. по месяцам<sup>8</sup>

на 1000 человек в крупных городах она в 1,2 раза выше (рис. 5). При этом замечается значительный рост личных автомобилей на семью в стране.

<sup>7</sup> URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C\\_%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F\\_%D1%81%D1%83%D0%B1%D1%8A%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D0%B2\\_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9\\_%D0%A4%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D1%81%D1%83%D0%B1%D1%8A%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D0%B2_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9_%D0%A4%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8)

<sup>8</sup> Rickky1409. URL: [https://commons.wikimedia.org/wiki/User\\_talk:Rickky1409#File:Russian\\_population\\_\(demographic\)\\_pyramid\\_\(structure\)\\_on\\_January\\_1st\\_2022.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/User_talk:Rickky1409#File:Russian_population_(demographic)_pyramid_(structure)_on_January_1st_2022.png)

### Характеристика, свойства пыли и ее влияние на здоровье человека

Критериями экологической безопасности городской среды являются сохранность и разнообразие видов, их взаимосвязей, сохранение здоровья и условий жизнедеятельности и сохранения работоспособности до глубокой старости. Одним из самых важных критериев безопасности города является поддержание ниже предельно допустимой концентрации (ПДК) пылевых частиц [1].

Пыль присутствует в воздухе везде и всегда повсеместно. Пыль имеет органическое или мине-



Рис. 5. Обеспеченность легковыми автомобилями в России<sup>9</sup>

ральное происхождение. Химический и минералогический состав пыли зависит от свойств рассматриваемой территории, находящихся на ней промышленных и других предприятий, климатических характеристик (направление ветра, температурный режим и прочее), физиологического процесса территории и многих других факторов. Фракционный состав мелких твердых взвешенных частиц, находящихся в воздухе, относят к пылевым частицам, рассматривают от доли микрона (1 мкм = 0,005 мм) до максимального значения в 0,05 мм. Если частицы имеют размер больше 0,14 мм, то их называют песком различной фракции. Промежуточные значения диаметром от 0,05 до 0,14 мм называют пылеватым песком<sup>9</sup>.

В настоящей статье рассматриваются только взвешенные частицы размером 1, 2,5, 5 и 10 мкм.

Плотность взвешенных пылевых частиц в атмосфере меняется с высотой и во времени в результате их стохастического движения. На высоте 2–4 м от поверхности земли плотность пылевых частиц вне зависимости от их происхождения стабилизируется и находится примерно на одном и том же уровне (рис. 6). Поэтому максимальная запыленность определяется во многих случаях на высоте 1,5 м от уровня дорог и поверхности земли.

<sup>9</sup> АВТОСТАТ. Данные на 01.01.2023 г. URL: <https://www.autostat.ru/infographics/54512/>

Концентрация пыли в нижних слоях атмосферы увеличивается в осенний период и в начале зимнего периода года. Летом сильные восходящие потоки воздуха поднимают пыль из нижних слоев атмосферы в верхние, вследствие чего запыленность нижних слоев уменьшается.

Знание изменений концентраций пыли по высоте позволяет выбрать необходимую методику для возможности уменьшения плотности взвешенных

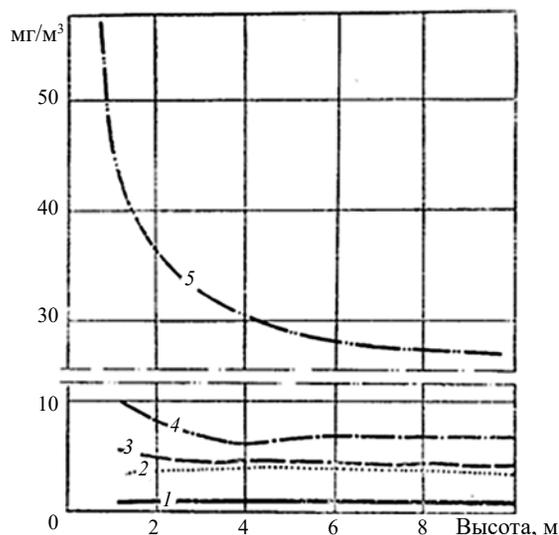


Рис. 6. Изменение плотности пылевых масс по высоте для различных видов запыленности воздуха: 1 — обычная; 2 — промышленная (дым); 3 — мгла; 4 — транспортная; 5 — пыльные бури [2]

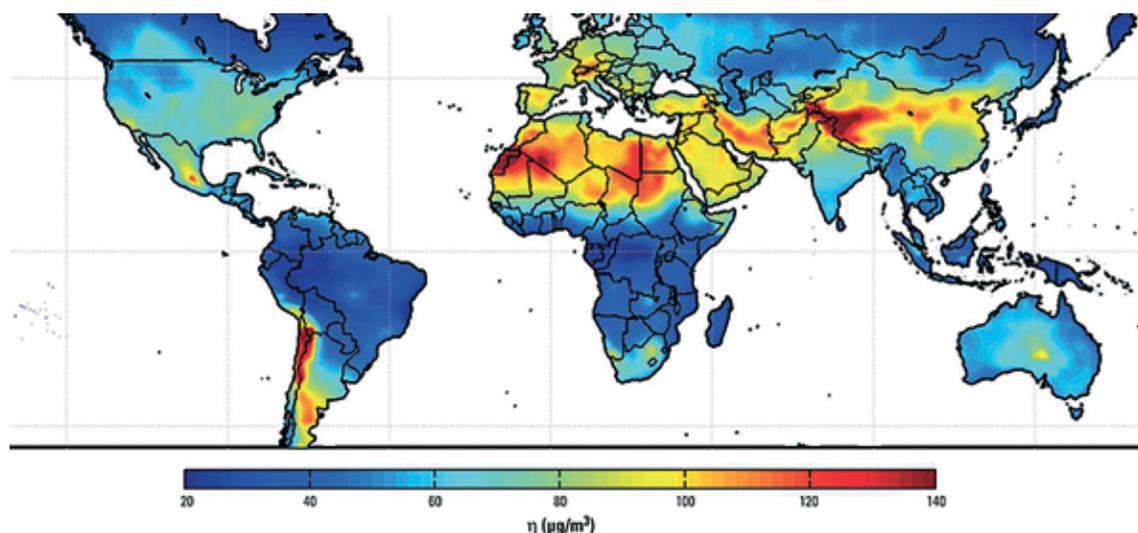


Рис. 7. Карта концентрации и распределения вредных для здоровья людей пылинок<sup>10</sup>

частиц в воздухе на территориях с различными климатическими характеристиками (температурный режим, наличие вулканов и землетрясений и другое), различным химическим и минералогическим составом [3].

Количество пыли в воздухе оказывает влияние не только на состояние городской среды, но и на климат планеты в целом:

1. Частицы пыли поглощают часть солнечной радиации. Ученые доказали, что пыль и антропогенное загрязнение воздуха значительно снижают эффективность солнечных электростанций из-за рассеяния солнечной энергии.

2. Солнечная радиация также важна и для здоровья людей. Ее избыточное количество приводит к заболеваниям так же, как и ее недостаток.

3. Солнечная радиация играет важную роль в процессе фотосинтеза растений, обеспечивая тепло и свет для живых организмов, влияет на образование витамина *D* в организмах людей.

4. Пыль поглощает солнечную энергию и приводит к серьезным климатическим изменениям.

Пыль имеет органическое или минеральное происхождение. К пыли относят частицы диаметром более долей микрона и до максимального размера в 0,05 мм. Чаще всего пыль, поднимаясь в воздухе, заряжается положительно.

Атмосферная аэрозоль имеет происхождение двух типов: искусственное и естественное.

Естественная атмосферная пыль образуется при помощи хаотичного движения космической пыли, пыли от почвы, пыльцы растений, извержения вулканов в виде пепла, пыли из кристаллов морской соли и высохших водяных брызг и другого.

Искусственная атмосферная пыль образуется в результате хозяйственной деятельности человека.

Организм человека не способен самостоятельно отфильтровать пыль, ставя ей преграды. Частицы размером менее 2,5 мкм свободно проходят через дыхательные пути, попадая в кровеносную систему и легкие.

В 2010 г. канадские ученые опубликовали в журнале *Environmental Health Perspectives* карту концентрации и распределения пылинок, которые могут представлять опасность для здоровья человека (рис. 7).

Для получения данных они использовали спутниковые данные. Наиболее загрязненными и опасными для здоровья человека названы территории Северной Африки и Малой Азии. А самым опасным регионом названа территория на севере Китая, которая известна, в том числе, утренним смогом.

Западная, юго-западная и южная части России, которые были проанализированы выше, попадают в среднюю плотность загрязненности пылевыми массами, что тем не менее не может не настораживать, так как эта величина во многих городах России превышает норму допустимых значений или граничит с ней.

Размер пылевидных частиц по ГОСТ Р 56929<sup>11</sup> колеблется от 0,1 до 250 мкм. Диапазон допустимой концентрации пыли в мг/м<sup>3</sup> от 0,2 до 100 мг/м<sup>3</sup>.

СанПиН 1.2.3685–21<sup>12</sup> установил три норматива по каждому загрязняющему веществу в воздухе: максимальная разовая предельно-допустимая концентрация (ПДК), которая не оказывает негативного воздействия на здоровье человека в течение 30 мин;

<sup>11</sup> ГОСТ Р 56929–2016. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Исследование фракционного состава пыли оптическим методом при нормировании качества атмосферного воздуха.

<sup>12</sup> СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

<sup>10</sup> URL: [https://www.m24.ru/articles/nauka/21052015/73988?utm\\_source=CopyBuf](https://www.m24.ru/articles/nauka/21052015/73988?utm_source=CopyBuf)

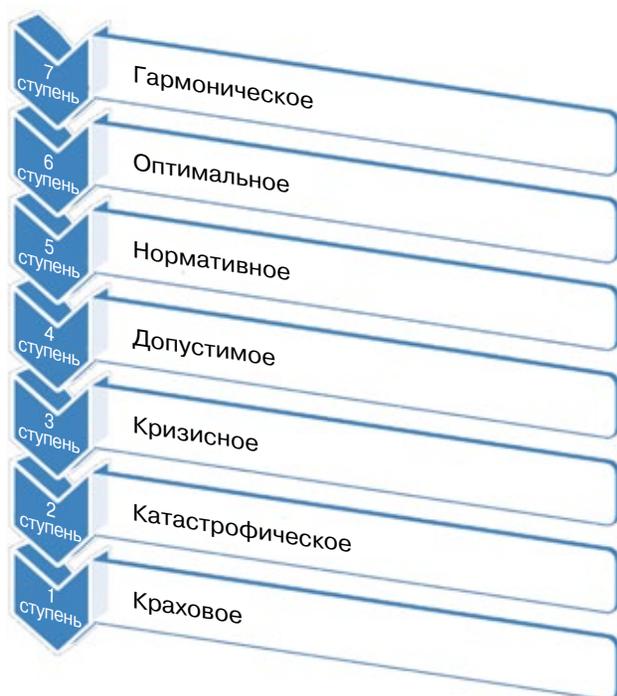


Рис. 8. Экологическая пирамида состояния городской среды

среднесуточная ПДК, не оказывающая отрицательного воздействия на организм человека в течение суток, и среднегодовая ПДК, которая не оказывает воздействие на здоровье человека в течение 1 года.

Основными факторами загрязнения городской окружающей среды является загрязнение воздушного бассейна города, водного бассейна и почвы [4].

Для определения балльного показателя выделяют 7 уровней экологического состояния городской среды. Все эти ступени образуют «экологическую пирамиду» [5] (рис. 8).

В соответствии с данными Росстата, одним из важных факторов деградации городской окружающей среды является загрязнение воздушного бассейна городов.

Проблему влияния на городскую среду автомобильного транспорта исследовали такие ученые, как А.А. Дементьев, А.М. Цурган, Н.В. Чудинин, Д.А. Соловьев, М.А. Пинигин, В.Ф. Сидоренко, А.В. Антюфеев, В.В. Балакин [6], ученые В.Б. Заалишвили, А.С. Кануков, К.В. Корбесова, М.В. Майсурадзе занимались вопросами интегральной оценки от различных источников [7], Н.В. Каргаполов, А.Л. Рафаилова занимались этой проблемой на примере г. Москвы [8, 9] и многие другие.

Проблема сохранения качества атмосферного воздуха становится одной из самых главных для поддержания здоровья и благополучия городского населения с учетом высоких темпов автомобилизации населения (рис. 9, 10). Вопросы, касающиеся оценки влияния автомобильного транспорта на экологическую безопасность городской среды,

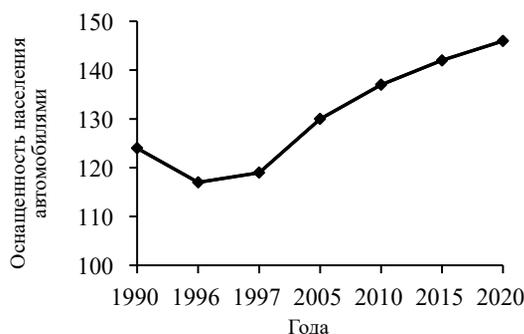


Рис. 9. Оснащенность населения мира автомобилями в период 1990–2020 гг., авт./1000 чел.<sup>13</sup>

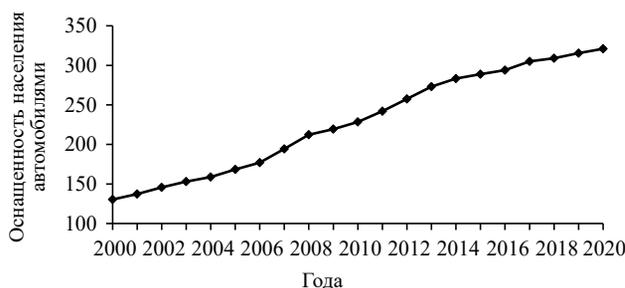


Рис. 10. Оснащенность населения Российской Федерации автомобилями в период 2000–2020 гг., авт./1000 чел.<sup>14</sup>

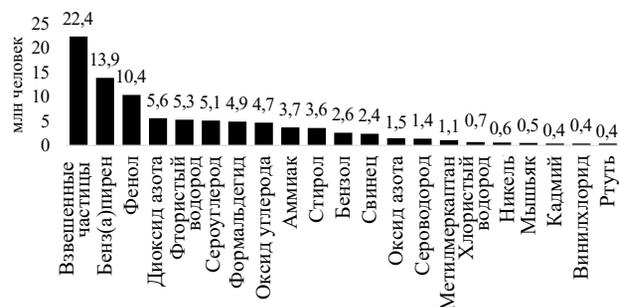


Рис. 11. Численность городского населения по оценке 100 городов России, проживающего на территориях с повышенным уровнем загрязнения атмосферного воздуха некоторыми вредными веществами [16]

широко и глубоко отображены в научных трудах Н.В. Бакаевой, М.В. Графкиной, Н.В. Невмержицкого, И.И. Косиновой, А.А. Соболева, Т.В. Германовой и других [10–15].

Одним из самых опасных токсических веществ, которые вырабатываются в процессе работы автотранспорта, являются взвешенные частицы. Именно они представляют наибольшую угрозу для здоровья населения, влияя не просто на экологическую безопасность воздушного бассейна городов, но и на продолжительность и качество жизни горожан (рис. 11).

<sup>13</sup> URL: <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/index.php> (дата обращения: 29.09.2024).

<sup>14</sup> URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/23455?print=1> (дата обращения: 29.09.2024).

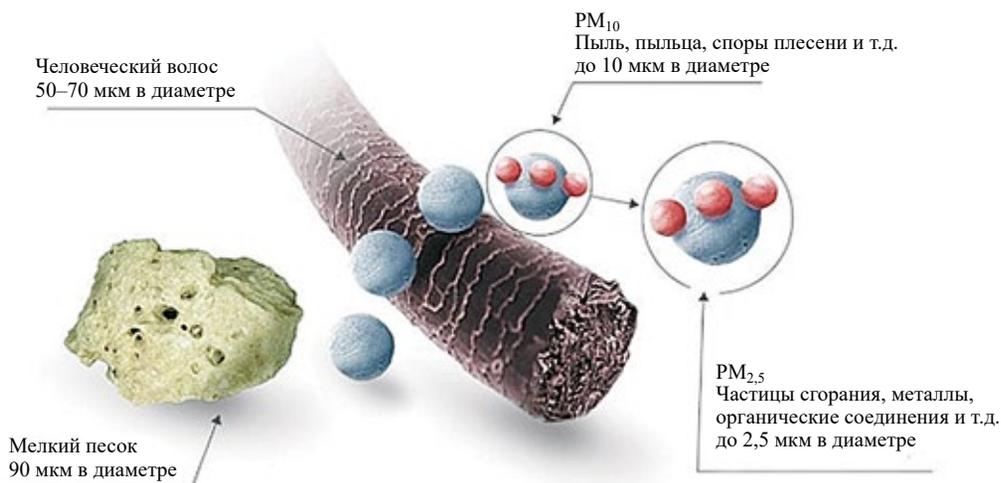


Рис. 12. Сравнительная характеристика частиц  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  с человеческим волосом

Фундаментальными исследованиями по изучению вопросов пылевого загрязнения воздуха, методов оценки концентрации загрязняющих веществ, возможности снижения их плотности в воздухе занимались и продолжают заниматься такие ученые, как А.В. Азаров, В.Н. Азаров, М.Е. Берлянд, Е.Л. Генихович, М.И. Юдин, Д.Л. Лайхтман, Р.И. Оникул, Е.А. Яковлева, Л.С. Ивлев и другие, а также ряд зарубежных исследователей, таких как J.H. Seinfeld, S.N. Pandis [17], O.G. Sutton, Z. Samaras, L. Ntziachristos и другие.

Проблемами загрязнения воздуха занимались с разных точек зрения многие ученые, но к настоящему моменту нет многокомпонентной методики уменьшения загрязнения с помощью «зеленых» крыш домов, стилобатов как дополнительного компенсационного озеленения.

### Классификация пылевых частиц

По происхождению пыль делят на органическую (растительная, животная, полимерная), неорганическую (минеральная и металлическая) и смешанную (например, каменноугольная пыль).

По размеру частиц (дисперсности) различают пыль размером более 10 мкм, т.е. видимую; микро-

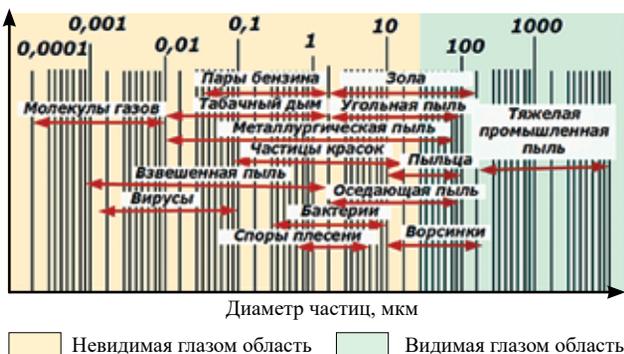


Рис. 13. Размеры частиц пыли в воздухе

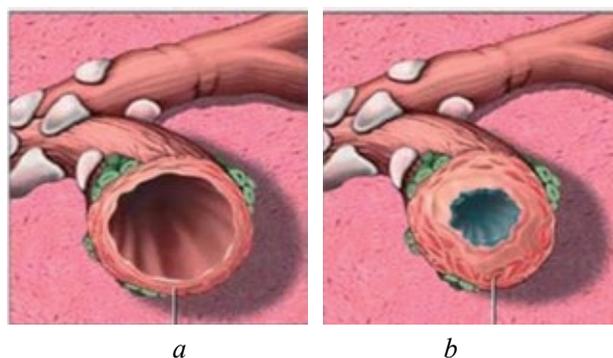


Рис. 14. Разрастание соединительной ткани легких человека: *a* — нормальное состояние; *b* — разрастание легкого

скопическую — от 0,25 до 10 мкм и ультрамикроскопическую — менее 0,25 мкм (рис. 12, 13).

Размеры частиц определяют скорость их оседания. Мельчайшие частицы размером 0,01–0,1 мкм могут находиться в воздухе длительное время в состоянии броуновского движения, что чрезвычайно опасно для здоровья человека (рис. 14).

### Влияние пылевых частиц на здоровье человека

Первостепенное значение для оценки влияния пылевых частиц на здоровье человека имеет минеральный состав пыли. Например, от концентрации диоксида кремния  $SiO_2$  зависит степень фиброгенного действия пыли, при котором в легких человека происходит разрастание соединительной ткани, нарушающей нормальное функционирование организма.

По распространенности на планете диоксид кремния занимает второе место после кислорода, т.е. может присутствовать повсеместно как в городе, так и вне городской среды.

В легкие во время дыхания может проникать пыль размером от 0,2 до 5 мкм. Частицы фракцией более 5 мкм задерживаются в верхних дыхательных

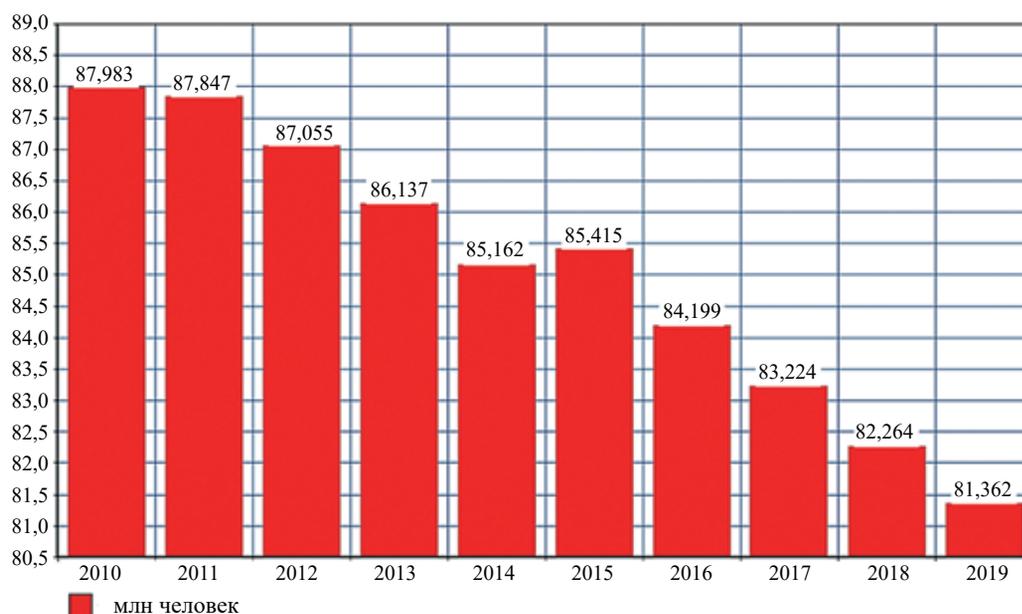


Рис. 15. Численность работоспособного населения России с 2010 по 2019 г.<sup>15</sup>

путях. Крупные частицы удаляются из организма под влиянием мерцательных движений ресничек и слизи.

Пыль с частицами меньше чем 5 мкм наиболее опасна, так как попадает в глубокие отделы легких (вплоть до альвеол), часть этой пыли может выделяться с кашлем, но часть задерживается там и вызывает патологические процессы [18, 19].

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) утверждает, что в среднем 7 % сердечных приступов в мире связано с загрязненностью воздуха подобной пылью. В России это число составляет 10 498 604 человек. Значит, каждый 14 человек умирает или получает сердечный приступ. А снижение этой загрязненности на 10 мг на 1 м<sup>3</sup> на 2 % уменьшает риск смерти местных жителей от сердечных приступов. Несмотря на то, что процентное количество кажется ничтожным, в пересчете на количество человек оно ощутимо, и это является ярким подтверждением негативного влияния пыли на здоровье горожан [20–24].

### Вариант решения проблемы загрязненности городских агломераций

Компенсационное озеленение на территориях средних и крупных городов с массовым строительством и увеличивающейся плотностью трафика на дорогах является одним из решений вопроса загряз-

ненности городских агломераций. Известная поглощательная способность деревьями и кустарниками отработанных газов поможет сохранить и восстановить состав воздуха на придомной и внутриворотовой территории в крупных городах, понизить температуру «теплового острова» на территории города, уменьшить нагрузку на систему стока дождевой воды.

Для этого предлагается не только дополнить озеленение на уровне земли, но и использовать по возможности покрытие стилобатов и крыш домов до третьего этажа включительно, а также озеленение фасадов, используя, в том числе, модульное озеленение.

Проведенные статистические, аналитические и лабораторные исследования различных авторов [25–27] показали, что озелененные крыши и фасады зданий могут удерживать до 85 % дождевой влаги, не уменьшают свои теплозащитные свойства в зимний период года. Кроме того, они поглощают мелкодисперсные частицы от РМ<sub>1</sub> до РМ<sub>5</sub>, которые оседают в легких горожан и приводят к сложным и трудноизлечимым болезням.

### Выводы

1. Крупные города России занимают южную и юго-западную часть России с самой большой плотностью населения по сравнению со всей территорией России.

2. Большие и средние города России с населением от 50 000 до 250 000 человек стремятся к статусу крупных городов, что, кроме некоторых новых возможностей (как возможности новых инвестиций, строительство метрополитена и другое), приводит к увеличению нагрузки на транспорт, загрязненности

<sup>15</sup> URL: [https://ruxpert.ru/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB-%D0%A7%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C\\_%D1%82%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%BE%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B1%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE\\_%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F\\_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8\\_\(2010-%D0%B5\).png](https://ruxpert.ru/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB-%D0%A7%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D1%82%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%BE%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B1%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8_(2010-%D0%B5).png)

города, ухудшению экологического состояния воздуха и воды, а в результате — ухудшению здоровья и уменьшению продолжительности жизни горожан.

3. Увеличение плотности населения и наземного транспорта приводит к ухудшению здоровья граждан (заболевания легких, сердечно-сосудистые заболевания и другое), что уменьшает работоспособное время жизни и сокращает продолжительность жизни (рис. 15).

4. Главным источником заболеваний городской среды является наличие высокой концентрации атмосферной пыли, т.е. пылевых частиц размером от 1 до 10 мкм ( $PM_1$  и  $PM_{10}$ ).

5. Организм человека не способен самостоятельно отфильтровать пылевые частицы  $PM_1$  до  $PM_5$ . Они

свободно проходят в легкие, кровеносную систему и приводят к неизлечимым заболеваниям, а в некоторых случаях — к летальному исходу.

6. Самыми опасными для здоровья и жизни горожан являются частицы менее  $PM_{2,5}$ . Именно они находятся в организме дольше и трудно выводятся из него, так как попадают в кровеносную систему.

7. При сравнении рис. 3, 5 и 7 видно, что скопление людей в городах, увеличение плотности транспортной нагрузки и плотности распространения пылевых масс прямо пропорциональны.

8. Возможным решением проблемы запыленности города с угрозой здоровью человека является компенсационное озеленение на крышах и фасадах зданий.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Азаров В.Н., Горшков Е.В.* Мелкодисперсная пыль как фактор загрязнения атмосферного воздуха // Социология города. 2018. № 4. С. 5–14. EDN YRSCCT.
2. *Александров В.Г., Майоров А.В., Потоков Н.П.* Авиационный технический справочник. М. : «ТРАНСПОРТ», 1975.
3. *Грачева Е.К.* Необходимость в зеленых насаждения в городской среде // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства : сб. ст. Междунар. научно-практич. конф. Красноярск, 26 ноября 2021 года. Красноярск : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», 2022. С. 39–41. EDN QMCVYS.
4. *Колесников Е.Ю., Колесникова Т.М.* Оценка воздействия на окружающую среду. Экспертиза безопасности : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Издательство «Юрайт», 2019. 469 с.
5. *Дементьев А.А., Цурган А.М., Чудинин Н.В., Соловьев Д.А.* Оценка динамики загрязнения атмосферного воздуха городского центра выбросами автомобильного транспорта картографическим методом // Системы контроля окружающей среды. 2020. № 3 (41). С. 81–89. DOI: 10.33075/2220-5861-2020-3-81-89. EDN URREAA.
6. *Пинигин М.А., Сидоренко В.Ф., Антюфеев А.В., Балакин В.В.* Выбор градостроительных решений по снижению загрязнения атмосферного воздуха в жилых районах выбросами автомобильного транспорта // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. № 2. С. 92–98. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-2-92-98. EDN VGEMUA.
7. *Заалишвили В.Б., Кануков А.С., Корбесова К.В., Майсурадзе М.В.* Определение уровня загрязнения атмосферного воздуха урбанизированной территории автомобильным транспортом // Геология и геофизика Юга России. 2023. Т. 13. № 2. С. 133–148. DOI: 10.46698/VNC.2023.76.91.011. EDN QPOLFE.
8. *Каргаполов Н.В., Рафаилова А.Л.* Оценка загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортом в Московском регионе // International Journal of Professional Science. 2019. № 10. С. 52–65. EDN OBTGUJ.
9. *Мартемьянов В.А., Любимова Н.С.* Ингредиентное загрязнение атмосферного воздуха автомобильным транспортом // Вестник Тверского государственного технического университета. 2007. № 12. С. 218–223. EDN TJAZAL.
10. *Бакаева Н.В., Шишкина И.В., Матюшин Д.В.* Модель экологически безопасной автотранспортной инфраструктуры городского хозяйства и методика интегральной оценки ее состояния // Жилищное строительство. 2012. № 6. С. 78–81.
11. *Графкина М.В., Азаров А.В., Добринский Д.Р., Николенко Д.А.* К вопросу контроля и нормирования выбросов мелкодисперсной пыли в атмосферный воздух при движении автомобильного транспорта // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 4 (103). С. 373–380. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.4.373-380
12. *Невмерзещикий Н.В., Ложкина О.В., Ложкин В.Н.* Расчетная методика и компьютерная программа для оценки и прогнозирования загрязнения воздуха на автомагистралях мелкодисперсными взвешенными частицами  $PM_{10}$  и  $PM_{2,5}$  // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 2 (55). С. 206–209. EDN WEZJXV.
13. *Косинова И.И., Фонова С.И.* Математическая модель для прогнозирования пространственного распределения загрязняющих веществ на городских магистралях // Инженерные изыскания. 2015. № 7. С. 24–27. EDN UGCKWJ.

14. *Соболев А.А.* Движение частиц в воздушном потоке // Вектор науки ТГУ. 2013. № 3 (17). С. 83–86.
15. *Германова Т.В., Керножитская А.Ф.* К вопросу загрязнения атмосферного воздуха города Тюмени автомобильным транспортом // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2013. № 2 (24). С. 25–28. EDN REUXPP.
16. *Ревич Б.А., Авалиани С.Л., Тихонова Г.И.* Экологическая эпидемиология : учебник для высших учебных заведений. 2004. М. : Академия. 384 с.
17. *Seinfeld J.H., Pandis S.N.* Atmospheric Chemistry And Physics. From Air Pollution to Climate Change // Second Edition, John Wiley & Sons, Inc. 2006. 1248 p.
18. *Xu W., Wang S., Jiang L., Sun X., Wang N., Liu X. et al.* The influence of PM<sub>2.5</sub> exposure on kidney diseases // Human and Experimental Toxicology. 2022. Vol. 41. DOI: 10.1177/09603271211069982
19. *Chowdhury S., Pozzer A., Haines A., Klingmüller K., Münzel T., Paasonen P. et al.* Global health burden of ambient PM<sub>2.5</sub> and the contribution of anthropogenic black carbon and organic aerosols // Environ. International. 2022. Vol. 159. No. 107020. DOI: 10.1016/j.envint.2021.107020
20. *Брехов А.А., Перницкий А.Д., Батманов В.П.* Загрязнение биосферы мелкодисперсной пылью // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса : сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. Волгоград, 07–08 декабря 2021 года. Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2021. Т. 2. С. 283–287. EDN MBHTYC.
21. *Шорин С.С., Бекишев К.Б., Норцева М.А., Какенов Б.Б.* Роль пылевого фактора возникновении производственно и экологически обусловленных заболеваний // Евразийский союз ученых. 2019. № 4–7 (61). С. 22–25. DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2019.7.61.59. EDN FTXKTT.
22. *Нгуен М.Т., Иванцова Е.А.* Проблема загрязнения воздуха в г. Ханой (Социалистическая Республика Вьетнам) // Проблемы региональной экологии. 2022. № 4. С. 94–98. DOI: 10.24412/1728-323X-2022-4-94-98. EDN PNIJXT.
23. *Муратова К.М.* Защита биосферы и человека от мелкодисперсной пыли // Вестник РГАТА имени П.А. Соловьева. 2016. № 1 (36). С. 130–136. EDN WFEGTN.
24. *Ойроткинова О.Ш., Ермаков Н.А., Шкловский Б.Л.* Медико-экологические факторы в развитии сердечно-сосудистых заболеваний // Здоровье мегаполиса. 2021. Т. 2. № 4. С. 42–52. EDN FHXHGF.
25. *Корж В.В.* Зеленые крыши как способ решения урбанистических и экологических проблем больших городов на примере Волгограда // Конкурс научно-исследовательских работ студентов Волгоградского государственного технического университета : тезисы докладов. Волгоград, 25–29 апреля 2022 года. Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2022. С. 321–322. EDN ZFSYVS.
26. *Yang Y.-L., Yang K., Luo Y., Yu Z.-Y., Meng C., Li C.* Effect of Vegetation Coverage on the Temporal and Spatial Distribution of PM<sub>2.5</sub> Concentration in China's Eight Major Economic Regions from 1998 to 2016 // Environ. Sci. 2021. Vol. 42 (11). Pp. 5100–5108. DOI: 10.13227/j.hjkx.202101277
27. *Wroblewska K., Jeong B.R.* Effectiveness of plants and green infrastructure utilization in ambient particulate matter removal // Environ. Sci. Eur. 2021. Vol. 33. No. 110. DOI: 10.1186/s12302-021-00547-2

Об авторах: **Елена Владимировна Сысоева** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры архитектурно-строительного проектирования и физики среды; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ORCID: 0000-0001-7250-3190; e-mail: SysoevaEV@mgsu.ru;

**Евгений Леонидович Безбородов** — старший преподаватель кафедры архитектурно-строительного проектирования и физики среды; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ORCID: 0000-0001-9365-9581; e-mail: bezborodovel@Gic.Mgsu.Ru.

About the authors: **Elena V. Sysoeva** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Architectural and Construction Design and Environmental Physics; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-7250-3190; e-mail: SysoevaEV@mgsu.ru;

**Evgeny L. Bezborodov** — Senior Lecturer at the Department of Architectural and Construction Design and Environmental Physics; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-9365-9581; e-mail: bezborodovel@Gic.Mgsu.Ru.

## АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАДОНОЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Александр Витальевич Калайдо<sup>1</sup>, Владимир Иванович Римшин<sup>2</sup>,  
Мария Николаевна Семенова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Луганский государственный педагогический университет (ЛГПУ); г. Луганск, Российская Федерация;

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (НИИСФ РААСН) Минстроя России;  
г. Москва, Российская Федерация

*Современный человек получает основную дозу облучения в зданиях от продуктов распада радона, поступающих в воздух помещений из грунта и материалов ограждающих конструкций. Горизонтальные подземные ограждающие конструкции зданий постоянно находятся под действием радоновой нагрузки величиной порядка  $10^3$ – $10^5$  Бк/м<sup>3</sup>, поэтому их конструкция и состояние напрямую определяют качества внутренней воздушной среды. Настоящая работа посвящена аналитической оценке физико-механических характеристик материалов подземных ограждающих конструкций, которые позволят обеспечить благоприятную радоновую ситуацию в малоэтажных зданиях без использования активных технологий радонозащиты. Обоснован доминирующий механизм переноса радона в грунтах и материалах ограждающих конструкций, предложена модель переноса радона в системе «грунт – конструкция пола», из которой могут быть получены минимальные достаточные толщины плит основания, обеспечивающие приемлемое поступление грунтового радона в воздух помещений нижнего этажа. Предложена методика, позволяющая проектировать здания с оптимальной радонозащитной способностью на основе измерения ограниченного количества характеристик грунта с места планируемого строительства.*

**Ключевые слова:** радон, перенос, диффузия, ограждающая конструкция, бетон, здания, сооружения

**Для цитирования:** Калайдо А.В., Римшин В.И., Семенова М.Н. Аналитическая оценка радонозащитных характеристик строительных конструкций зданий и сооружений // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2024. № 4. С. 62–67. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.62-67

## ANALYTICAL ASSESSMENT OF RADON PROTECTION CHARACTERISTICS OF BUILDING STRUCTURES BUILDINGS AND STRUCTURES

Alexander V. Kalaydo<sup>1</sup>, Vladimir I. Rimshin<sup>2</sup>, Maria N. Semenova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lugansk State Pedagogical University (LSPU); Lugansk, Russian Federation;

<sup>2</sup> Research Institute of Building Physics RAASN (NIISF RAASN) Ministry of Construction of Russia;  
Moscow, Russian Federation

*Modern people receive the main dose of radiation in buildings from radon progeny which entry into indoor air from the soil and walling materials. Horizontal underground building envelopes are constantly under the radon load influence of the order of  $10^3$ – $10^5$  Bq/m<sup>3</sup>, therefore their design and condition directly determine the quality of the indoor air environment. In the present study is devoted to an analytical assessment of the physical and mechanical characteristics of underground walling materials, which will ensure a favorable radon situation in low-rise buildings without the use of active radon protection technologies. The mechanism of radon transport in soils and walling materials has been substantiated, and a model of radon transport in the media system “soil – floor structure” has been proposed. This model allows determining minimum sufficient thicknesses of base slabs can be obtained to ensure an acceptable supply of soil radon to the premises of the lower floor. A methodology, which makes it possible to design buildings with optimal radon protective ability and based on measuring a limited number of soil characteristics from the planned construction site, has been proposed.*

**Keywords:** radon, transport, diffusion, building walling, concrete, buildings, structures

**For citation:** Kalaydo A.V., Rimshin V.I., Semenova M.N. Analytical assessment of radon protection characteristics of building structures buildings and structures. Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology. 2024; 4:62-67. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.62-67 (rus.).

Внутренняя среда зданий является основным местом пребывания людей на протяжении жизни, в ней среднестатистический человек проводит не менее 80 % времени. Поэтому для обеспечения

безопасных и комфортных условий жизнедеятельности населения санитарным законодательством устанавливаются требования к целому ряду параметров микроклимата и других физических параметров, оказывающих существенное влияние на здоровье человека.

Одной из нормируемых величин выступает эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) радона в воздухе помещений. По сути ЭРОА — это концентрация продуктов распада радона в воздухе зданий, которая выражена не в единицах массы, а в единицах активности, что существенно упрощает процесс измерений. На данный момент в РФ допустимым считается значение ЭРОА не более 100 Бк/м<sup>3</sup> в зданиях, построенных после 1990 г., и не более 200 Бк/м<sup>3</sup> — во всех остальных зданиях<sup>1,2</sup>.

За исключением достаточно редких и экзотических случаев поступление радона в здания осуществляется из двух источников — грунтового основания и материалов ограждающих конструкций зданий [1–3]. При этом распространено убеждение, что существенно преобладает перенос радона из грунта, который обеспечивает до 90 % поступления радона в здание [4–8]. Данное утверждение сложно назвать абсолютно справедливым, поскольку соотношение мощностей источников поступления радона в здание в каждом конкретном случае определяется конструкцией подземной оболочки и физико-механическими характеристиками грунта. Так, в работе [9] убедительно доказано, что для рассматриваемого многоэтажного здания грунтовый радон имеет пренебрежимо малый вклад в формирование ЭРОА из-за большой толщины плиты основания (порядка 1 м). Однако убеждение в существенно доминирующем поступлении радона из грунта имеет достаточные основания для существования — превышение установленных гигиенических нормативов по ЭРОА возможно только при избыточном поступлении грунтового радона.

Большая часть зданий с длительным пребыванием людей в РФ не имеет плит основания толщиной 0,6–1 м, как в работе [9], поскольку представляет частные домостроения или малоэтажные здания, где внутренняя среда отделена от грунтового основания радонозащитным слоем малой толщины, либо такой слой отсутствует вовсе. Именно

такие объекты представляют наибольший интерес для системы радиационной безопасности строительства, которая является единственным средством обеспечения радоновой безопасности зданий на стадии проектирования.

По современным представлениям, за пределами существенно аномальных зон благоприятная радоновая обстановка в здании может быть обеспечена исключительно пассивными радонозащитными технологиями, т.е. без использования систем принудительной вентиляции, радоновых колодцев, искусственных слоев высокой радонопроницаемости и т.д. При этом следует понимать, что выделение радона из материалов ограждающих конструкций практически постоянно и редко выходит за пределы 2–3 мБк/(м<sup>2</sup>·с), тогда как поступление грунтового радона зависит от целого ряда трудноучитываемых факторов и может изменяться в широких пределах. Именно поэтому стратегия проектирования радонобезопасных зданий направлена на предельное снижение плотности потока именно грунтового радона.

Но процесс переноса радона в системе «грунт – здание» носит многофакторный характер, и для его адекватного аналитического описания необходимо понимание процессов генерации радона, а также механизмов его переноса в грунте и материале подземной оболочки здания [10]. Решение данной задачи не может быть получено исключительно в рамках натурных измерений и требует проведения комплекса лабораторных исследований и численных экспериментов.

Как уже говорилось, величина ЭРОА радона в воздухе помещений нижнего этажа формируется плотностями потока радона (ППР) из материалов ограждающих конструкций и грунтового основания здания. Первая составляющая  $q_{гр}$  не испытывает значимых вариаций и редко превышает 3 мБк/(м<sup>2</sup>·с), тогда как вторая  $q_{гр}$  способна изменяться в широких пределах, поскольку зависит от свойств грунтового основания, а также конструкции и состояния подземной оболочки здания [11]:

$$q_{гр} = \frac{\Delta A}{R_{min}}, \quad (1)$$

где  $\Delta A$  — радоновая нагрузка на основание здания, представляющая собой разность объемных активностей радона на внешней и внутренней поверхностях плиты основания, Бк/м<sup>3</sup>;  $R_{min}$  — минимальное сопротивление радонопроницанию конструкции пола, при котором будет обеспечено допустимое значение ЭРОА в помещении, с/м.

Таким образом, задача обеспечения радоновой безопасности конкретного здания на стадии проектирования сводится к определению радоновой нагрузки  $\Delta A$  на его подземную оболочку, расчета

<sup>1</sup> Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) : Ионизирующее излучение, радиационная безопасность (СП 2.6.1.2523–09) : зарегистрирован 14 августа 2009 г. Регистрационный № 14534. М. : Минюст России, 2009. 225 с.

<sup>2</sup> Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) : Ионизирующее излучение, радиационная безопасность (СП 2.6.1.2612–10) : зарегистрирован 11 августа 2010 г. Регистрационный № 18115. М. : Минюст России, 2010. 98 с.

предельного значения ППР радона из грунта, при котором (совместно с  $q_{\text{гр}}$ ) не будет нарушен гигиенический норматив, вычисления минимального достаточного сопротивления радонопроницанию  $R_{\text{min}}$  конструкции пола и последующего перехода от абстрактной величины  $R_{\text{min}}$  к размерам реальной железобетонной плиты основания.

Радоновая нагрузка на подземную оболочку здания будет зависеть от мощности источника его образования в грунте и интенсивности (т.е. механизма) переноса к дневной поверхности.

Скорость генерации радона  $G$  в пористой среде определяется в первую очередь содержанием в ней радия  $C_{Ra}$  и плотностью самой среды  $\rho_{\text{гр}}$ , поскольку радон образуется только в твердой фазе. Любой грунт в том или ином количестве содержит уран, а значит и материнский радий-226, но не все атомы радона, образовавшиеся в процессе распада, смогут участвовать в дальнейшем переносе к дневной поверхности, поскольку вследствие эффекта отдачи часть из них окажется захвачена кристаллической решеткой минерала. Последним фактором, определяющим мощность источника радона, является постоянная распада  $\lambda$ , характеризующая число актов деления в единицу времени. Окончательно для скорости генерации радона в пористой среде получаем:

$$G_{\text{гр}} = C_{Ra} \cdot \rho_{\text{гр}} \cdot k_{\text{эм}} \cdot \lambda, \quad (2)$$

где  $C_{Ra}$  — удельная активность радия в грунте, Бк/кг;  $k_{\text{эм}}$  — коэффициент эманирования радона грунтом, характеризующий долю образовавшихся атомов радона, способных к дальнейшей миграции в пористой среде.

От скорости образования радона легко можно перейти к его максимальной объемной активности в грунте  $A_{\text{max}}$ , используя соотношение:

$$A_{\text{max}} = \frac{G}{\lambda} = C_{Ra} \cdot \rho_{\text{гр}} \cdot k_{\text{эм}}. \quad (3)$$

Выражение (3) позволяет качественно оценить значение  $A_{\text{max}}$  (табл.), хотя следует иметь в виду, что даже в пределах геологически однородной территории характеристики грунта могут существенно изменяться.

Для грунтов максимальная объемная активность достигается на глубине менее 10 м и, как видно из таблицы, при определенных условиях интенсив-

Средние значения объемной активности радона для некоторых пористых сред

Среда	$C_{Ra}$ , Бк/кг	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$k_{\text{эм}}$	$A_{\text{max}}$ , Бк/м <sup>3</sup>
Глина	30	1990	0,40	23 880
Песок	10	1700	0,35	5950
Бетон	20	2200	0,25	11 000

ность образования радона в материале подземной ограждающей конструкции может быть выше, чем в грунте.

После образования радон за счет конвекции или диффузии переносится по направлению к дневной поверхности. При этом количество радона, которое достигнет подземных ограждающих конструкций, существенно зависит от доминирующего механизма его переноса в пористой среде.

Конвективный перенос способен обеспечивать достаточно большие плотности потока радона из-за высокой скорости движения почвенного газа, он вызывается градиентом давлений на границах пористой среды, величина которого не превышает 2 Па/м [11]. Плотность конвективного потока определяется по закону Дарси:

$$q_{\text{кон}} = \frac{k}{\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial z} \cdot A, \quad (4)$$

где  $k$  — воздухопроницаемость грунта, м<sup>2</sup>;  $\mu = 1,8 \cdot 10^{-5}$  Па·с — динамическая вязкость почвенного газа;  $P$  — давление воздуха, Па.

Плотность конвективного потока радона в пористых средах может изменяться в очень широких пределах, что вызвано большим размахом их воздухопроницаемостей: от  $10^{-9}$  м<sup>2</sup> для грубых песков до  $10^{-14}$  м<sup>2</sup> для плотных глин и  $10^{-16}$  м<sup>2</sup> — для бетонов.

Диффузионный перенос радона вызывается разностью его активностей на границах грунтового массива, представляя собой достаточно медленный и практически стационарный процесс. Плотность диффузионного потока определяется по закону Фика:

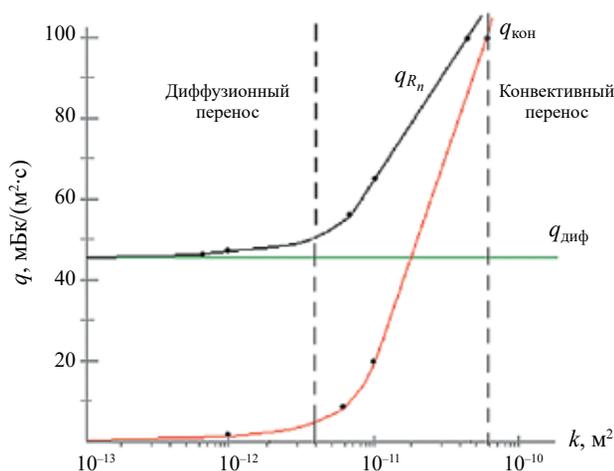
$$q_{\text{диф}} = D \cdot \frac{\partial A}{\partial z}, \quad (5)$$

где  $D$  — эффективный коэффициент диффузии радона в слое среды, м<sup>2</sup>/с.

Диапазон значений эффективного коэффициента диффузии радона в грунтах и строительных материалах существенно меньше, чем у воздухопроницаемости [12], поэтому и плотность диффузионного потока изменяется в куда меньших пределах.

С целью обоснования доминирующего характера переноса радона в грунтах и материалах ограждающих конструкций выполнен расчет вклада каждой из составляющих при различных характеристиках пористой среды (рис. 1). В процессе расчетов эффективный коэффициент диффузии принимался равным  $D = 1,0 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, а градиент давления  $\partial P/\partial z = 1,0$  Па/м, что соответствует типичным условиям переноса [13].

Как видно из рис. 1, конвективный поток начинает вносить значимый вклад в процесс переноса



**Рис. 1.** Сравнение вкладов различных механизмов переноса в общий поток радона:  $q_{\text{диф}}$  — плотность диффузионного потока;  $q_{\text{кон}}$  — плотность конвективного потока;  $q_{Rn}$  — суммарная плотность потока радона

при проницаемости среды около  $5 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$ , а при проницаемости  $(3 \dots 5) \cdot 10^{-11} \text{ м}^2$  он становится доминирующим. Однако все глинистые грунты имеют воздухопроницаемость не более  $10^{-14} \text{ м}^2$ , поэтому есть все основания принять предположение о диффузионном характере переноса радона в грунтовом массиве и материалах ограждающих конструкций.

Диффузионный перенос протекает с достаточно малыми скоростями, и часть радона в процессе движения к подземным ограждающим конструкциям зданий испытывает распад, вследствие чего объемная активность радона на внешней поверхности плиты основания будет на 10–15 % меньше  $A_{\text{max}}$ . На внутренней поверхности плиты, т.е. в помещении, ЭРОА радона составляет единицы — десятки Бк/м<sup>3</sup>, что на 2–3 порядка меньше. Поэтому с достаточной точностью для радоновой нагрузки на подземную оболочку здания можно принять:

$$\Delta A = A_{\text{max}} \cdot \quad (6)$$

Условие (6) позволяет существенно упростить процесс определения плотности потока радона, поступающего в помещение из грунта, исключив уравнение для грунтового массива и ограничившись однослойной конструкцией (плитой основания). Дифференциальное уравнение диффузионного переноса радона в материале ограждающей конструкции имеет вид [14]:

$$D \cdot \frac{d^2 A}{dz^2} - A(z) \cdot \lambda + C_{Ra} \cdot \rho \cdot k_{эм} \cdot \lambda = 0; \quad 0 \leq z \leq h, \quad (7)$$

где второе слагаемое представляет собой радиоактивный распад, а третье — образование радона.

Учет свойств грунтового основания производится начальным условием:

$$q(0) = q_0 = G \cdot L = C_{Ra} \cdot \rho_{гр} \cdot k_{эм} \cdot \sqrt{\frac{D}{\lambda}} \cdot \lambda = C_{Ra} \cdot \rho_{гр} \cdot k_{эм} \cdot \sqrt{D \cdot \lambda}, \quad (8)$$

где  $L = (D/\lambda)^{1/2}$  — длина диффузии радона в грунте под зданием, м.

Решение дифференциального уравнения (7) с указанными начальными условиями для плотности потока радона имеет вид:

$$q(z) = q_{гр} = q_0 \cdot \frac{ch\left(\frac{h-z}{L}\right)}{ch\left(\frac{h}{L}\right)} + \frac{C_{Ra} \cdot \rho_{гр} \cdot k_{эм} \cdot D}{L} \cdot \frac{sh\left(\frac{z}{L}\right)}{ch\left(\frac{h-z}{L}\right)}. \quad (9)$$

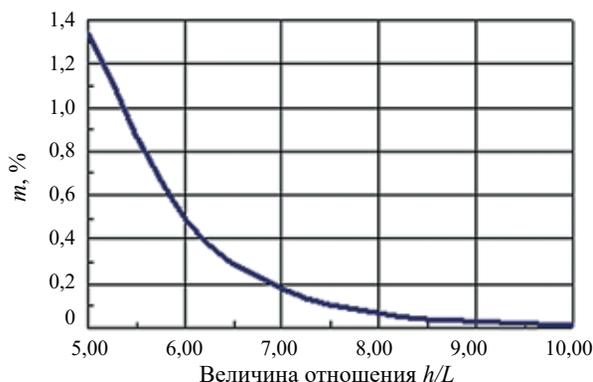
В правой части (9) при значении  $z = h$  первое слагаемое представляет часть потока грунтового радона, которая проникает через подземную горизонтальную ограждающую конструкцию, а второе слагаемое — это плотность потока, обусловленного действием источников радона внутри плиты основания.

Таким образом, выражение (9) позволяет определить плотность потока радона в здание через конструкцию пола. Величина ЭРОА радона, формируемая потоками из грунта и материалов ограждающих конструкций, будет зависеть от геометрических размеров конкретного помещения, а переход от ППР к ЭРОА осуществляется по формуле:

$$\text{ЭРОА} = \frac{q_{гр} \cdot S_{\text{осн}} + q_{\text{огр}} \cdot S_{\text{огр}}}{V \cdot (\lambda + n)} \cdot F, \quad (10)$$

где  $S_{\text{осн}}$  — площадь плиты основания, м<sup>2</sup>;  $S_{\text{огр}}$  — площадь вертикальных ограждающих конструкций, м<sup>2</sup>;  $V$  — объем помещения, м<sup>3</sup>;  $n$  — кратность воздухообмена в помещении, с<sup>-1</sup>;  $F \approx 0,4$  — коэффициент сдвига радиоактивного равновесия.

Также представляет интерес определение отношения  $m$  плотности проникающего через слой потока  $q_{пр}$  (первое слагаемое в (9)) к плотности



**Рис. 2.** Доля потока радона, проникающего через слой материала

поступающего в слой потока  $q_0$ , которое вычисляется по формуле:

$$m = \frac{1}{ch\left(\frac{h}{L}\right)} \cdot 100 \% \quad (11)$$

При значениях  $h/L > 6$  через слой проникает не более 0,5 % входящего в него потока (рис. 2). Данное значение  $h/L$  соответствует слою гравия толщиной 11 м или гидроизоляционному материалу толщиной 4 мм или тяжелому бетону толщиной 600 мм (случаи равного сопротивления радонопроницанию).

Предложенная методика позволяет с достаточной точностью прогнозировать уровни радона в помещениях возводимого здания после введения его в эксплуатацию. Помимо этого, при обратном ходе предложенного алгоритма он может быть использован для проектирования радонобезопасных зданий с наперед заданным значением ЭРОА в воздухе помещений. Для этого необходимо:

1. В формуле (9) задать приемлемое значение ЭРОА (например, 40 Бк/м<sup>3</sup> — для помещений лечебных и дошкольных учреждений и 40 Бк/м<sup>3</sup> — для других помещений с длительным пребыванием людей), и, подставив геометрические размеры помещения и  $q_{\text{огр}} = 2 \dots 3$  мБк/(м<sup>2</sup>·с), определить значение

ППР из грунта, при котором не будет превышена данная ЭРОА.

2. По результатам радиационно-экологических изысканий определить радоновую нагрузку на подземную оболочку здания, используя формулу (3).

3. Определить минимальное достаточное сопротивление радонопроницанию  $R$  конструкции пола из формулы (1).

4. Перейти от сопротивления радонопроницанию к толщине плиты основания, используя соотношение:

$$R = \frac{1}{\sqrt{D \cdot \lambda}} \cdot sh\left(h \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{D}}\right).$$

По результатам исследования можно заключить, что в настоящее время остается нерешенной проблема адекватной оценки радоноопасности участка планируемого строительства, поскольку используемая в качестве критерия величина ППР с поверхности грунта неинформативна и крайне вариабельна. Предложенный в данной работе подход позволяет определять оптимальные радонозащитные характеристики конструкции пола на основании измерения слабо изменяющихся физико-механических характеристик грунта (удельная активность радия, плотность и др.), что позволит избежать введения в эксплуатацию зданий с недостаточной или существенно избыточной радонозащитной способностью.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Кормановская Т.А.* Дозы природного облучения населения Сибирского федерального округа // Вести МАНЭБ в Омской области. 2013. № 3. С. 13–16. EDN TEXBLV.
2. *Бакаева Н.В., Калайдо А.В.* Экспериментальные исследования факторов, формирующих радиационный фон зданий // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2015. № 4 (12). С. 20–27.
3. *Ахременко С.А., Полехина С.В., Шерстюк Е.А.* Современные способы противорадовой защиты // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2015. № 4. С. 66–72.
4. *Ярмошенко И.В.* Радон как фактор облучения населения России // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2017. № 2 (18). С. 108–116. EDN YUDIII.
5. *Римшин В.И., Калайдо А.В., Семенова М.Н., Борщ В.А.* Строительные технологии обеспечения радонобезопасности зданий // Строительные материалы. 2023. № 6 (814). С. 33–38. DOI: 10.31659/0585-430X-2023-814-6-33-38
6. *Римшин В.И., Калайдо А.В., Семенова М.Н., Быков Г.С.* Радиоактивные изотопы в воздухе рабочей зоны производственных зданий и сооружений // Вестник инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2024. № 1 (58). С. 86–95.
7. *Сидельникова О.П.* Радиационно-экологическая безопасность строительных материалов, производимых в Волгоградской области // Вестник ВолГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2016. № 44–2 (63). С. 43–51. EDN WFWZGP.
8. *Гулябняц Л.А.* Пособие по проектированию противорадовой защиты жилых и общественных зданий. М. : ФЭН-НАУКА, 2013. 52 с.
9. *Telichenko V., Rimshin V., Kalaydo A., Semenova M.* Prediction of the Radon Situation in Buildings Constructed Under the Renovation Program // E3S Web of Conferences FCI-2023. 2023. No. 457 (3). 10 p. DOI: 10.1051/e3sconf/202345702041
10. *Гулябняц Л.А., Калайдо А.В.* Противорадовая защита жилых и общественных зданий : монография / под ред. И.Л. Шубина. М. ; Берлин : Директ-Медиа. 2020. 236 с.

11. *Kojima H., Nagano K.* Dependence of barometric pressure, wind velocity and temperature on the variation of radon exhalation // Proceedings of the 2000 International Radon Symposium. Milwaukee, USA. 2000. Pp. 7.1–7.9.
12. *Римшин В.И., Калайдо А.В., Семенова М.Н., Никитин А.А., Молчанова А.Е.* Радиационные риски на предприятиях текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 4 (406). С. 185–191. DOI: 10.47367/0021-3497\_2023\_4\_185
13. *Калайдо А.В., Римшин В.И., Сулейманова Л.А., Никитин А.А.* Оценка мощности источников поступления радона в воздух зданий различной конструкции в течение их жизненного цикла // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15. № 5. URL: <https://esj.today/PDF/41SAVN523.pdf>
14. *Римшин В.И., Калайдо А.В., Семенова М.Н., Давыскиба О.В.* Расчет подземных ограждающих конструкций по критериям радоновой безопасности здания // Жилищное строительство. 2023. № 7. С. 40–46. DOI: 10.31659/0044-4472-2023-7-40-46

Об авторах: **Александр Витальевич Калайдо** — кандидат технических наук, доцент, кандидат кафедры технологий производства и профессионального образования; **Луганский государственный педагогический университет (ЛГПУ)**; 291011, г. Луганск, ул. Оборонная, д. 2; SPIN-код: 5589-2126; e-mail: [kalaydo18@mail.ru](mailto:kalaydo18@mail.ru);

**Владимир Иванович Римшин** — доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией мониторинга жилищно-коммунального хозяйства и радиационной безопасности в строительстве; **Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (НИИСФ РААСН) Минстроя России**; 127238, г. Москва, Локомотивный пр., д. 21; SPIN-код: 9629-5322; e-mail: [v.rimshin@niisf.ru](mailto:v.rimshin@niisf.ru);

**Мария Николаевна Семенова** — ведущий инженер лаборатории мониторинга жилищно-коммунального хозяйства и радиационной безопасности в строительстве; **Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (НИИСФ РААСН) Минстроя России**; 127238, г. Москва, Локомотивный пр., д. 21; e-mail: [lor267gg@yandex.ru](mailto:lor267gg@yandex.ru).

About the authors: **Alexander V. Kalaydo** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Candidate of the Department of Production Technologies and Vocational Education; **Lugansk State Pedagogical University (LSPU)**; 2 Oboronnaya st., Lugansk, 291011, Russian Federation; SPIN-code: 5589-2126; e-mail: [kalaydo18@mail.ru](mailto:kalaydo18@mail.ru);

**Vladimir I. Rimshin** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Laboratory for Monitoring Housing and Communal Services and Radiation Safety in Construction; **Research Institute of Building Physics RAASN (NIISF RAASN) Ministry of Construction of Russia**; 21 Lokomotivny pr., Moscow, 127238, Russian Federation; SPIN-code: 9629-5322; e-mail: [v.rimshin@niisf.ru](mailto:v.rimshin@niisf.ru);

**Maria N. Semenova** — Leading Engineer of the Laboratory for Monitoring Housing and Communal Services and Radiation Safety in Construction; **Research Institute of Building Physics RAASN (NIISF RAASN) Ministry of Construction of Russia**; 21 Lokomotivny pr., Moscow, 127238, Russian Federation; e-mail: [lor267gg@yandex.ru](mailto:lor267gg@yandex.ru).

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ОСНОВЕ КЛИМАТОПОВ<sup>1</sup>

Сергей Валерьевич Корниенко<sup>1,2</sup>, Екатерина Александровна Дикарева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Волгоградский государственный технический университет (ВГТУ); г. Волгоград, Российская Федерация;

<sup>2</sup> Центральный научно-исследовательский и проектный институт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (ЦНИИП Минстроя России); г. Москва, Российская Федерация

*В условиях урбанизации и роста населения в мегаполисах уменьшается количество природных поверхностей, ухудшается водный баланс территорий, снижается качество воздуха. Это часто приводит к изменению климатических условий и образованию городских тепловых островов (ГТО).*

*Значительное количество исследований климата на урбанизированных территориях основано на концепции локальных климатических зон (ЛКЗ) или климатопов, позволяющей выполнить оценку степени гетерогенности теплового режима. Данное исследование эффективно использует понятие «климатопо» как обобщенный климатический показатель урбанизированных территорий.*

*Цель исследования состоит в установлении научно обоснованной закономерности между климатопом и тепловой характеристикой городской среды, что является необходимым для разработки конкретных рекомендаций по совершенствованию температурного режима урбанизированных территорий.*

*Исследование направлено на разработку и обоснование многофакторной математической модели, выявляющей взаимосвязь между климатопом и тепловой характеристикой с целью смягчения городского теплового острова в летний период года. Разработанная математическая модель основана на анализе данных дистанционного зондирования. Объектом исследования является г. Волгоград — мегаполис, расположенный на юго-востоке европейской части России, с умеренно-континентальным, засушливым климатом.*

*Отличительной особенностью модели является возможность учета не только планировочных, но и объемно-пространственных характеристик при расчете данных по конкретному климатопу.*

*На основании полученной математической модели и данных о влиянии планировочных элементов на температурный режим поверхности разработаны 40 климатопов. Указанные климатопы представляют собой комбинации различных типов покрытий городской поверхности и видов застройки. За основу были взяты 17 стандартизированных ЛКЗ, расширенных в большем диапазоне вариаций для получения более наглядной выборки проектных решений. Полученные климатопы позволяют достаточно быстро и точно прогнозировать температурный режим урбанизированных территорий, используя предложенную математическую модель.*

**Ключевые слова:** городской тепловой остров, городское озеленение, климатопо, температурный режим, локальная климатическая зона, урбанизированная территория

**Для цитирования:** Корниенко С.В., Дикарева Е.А. Совершенствование температурного режима урбанизированных территорий на основе климатопов // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2024. № 4. С. 68–75. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.68-75

## INCREASING THE QUALITY OF THE URBAN THERMAL ENVIRONMENT BASED ON CLIMATOPES

Sergey V. Korniyenko<sup>1,2</sup>, Ekaterina A. Dikareva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Volgograd State Technical University (VSTU); Volgograd, Russian Federation;

<sup>2</sup> Central Research and Design Institute of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation (TsNIIP Ministry of Construction of Russia); Moscow, Russian Federation

*In conditions of urbanization and population growth in megacities, the amount of natural surfaces decreases, the water balance of territories deteriorates, and air quality decreases. This often leads to changes in climate conditions and the formation of urban heat islands.*

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках подготовки научно-исследовательских работ по теме № 2.3.1.1. «Направления развития энергоэффективного градостроительства России (энергоэффективные кварталы как инновационные планировочные образования)» ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России».

*A significant number of climate studies in urban areas are based on the concept of local climatic zones, which makes it possible to assess the degree of heterogeneity of the thermal regime. This study effectively uses the concept of “climatope” as a generalized climatic indicator of urbanized areas.*

*The purpose of the study is to establish a scientifically grounded pattern between the climate and the thermal characteristics of the urban environment, which is necessary for the development of specific recommendations for improving the quality of the urban thermal environment.*

*The study is aimed at developing and justifying a multifactor mathematical model that reveals the relationship between the climate and the thermal characteristics of the urban environment with the aim of mitigating the urban heat island in the summer. The developed mathematical model is based on the analysis of remote sensing data. The object of the study is the city of Volgograd, a metropolis located in the southeast of the European part of Russia, with a temperate continental, arid climate.*

*A distinctive feature of the model is the ability to take into account not only planning, but also volumetric-spatial characteristics when calculating data for a specific climate.*

*Based on the obtained mathematical model and data on the influence of planning elements on the temperature regime of the surface, 40 climatopes were developed. The specified climatopes are combinations of various types of urban surface coatings and types of buildings. 17 standardized local climatic zones were taken as a basis, expanded over a larger range of variations to obtain a more visual sample of design solutions. The resulting climatopes allow one to quickly and accurately predict the quality of the urban thermal environment using the proposed mathematical model.*

**Keywords:** urban heat island, urban greening, climatope, urban thermal environment, local climatic zone

**For citation:** Korniyenko S.V., Dikareva E.A. Increasing the quality of the urban thermal environment based on climatopes. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2024; 4:68-75. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.68-75 (rus.).

## Введение

В условиях урбанизации и роста населения в мегаполисах уменьшается количество природных поверхностей, ухудшается водный баланс территорий, снижается качество воздуха. Это часто приводит к изменению климатических условий на урбанизированных территориях и образованию городских тепловых островов [1–3]. Городской тепловой остров (англ. Urban Heat Island, ГТО) — феномен, заключающийся в повышении температуры поверхностей и прилегающих к ним воздушных масс в границах города относительно окружающих его рурализованных территорий. Причины возникновения ГТО могут отличаться в разных климатических условиях, но основные факторы его формирования схожи — низкое альbedo поверхности, неэффективная форма и площадь застройки, низкий коэффициент озеленения территории и другое [4, 5].

Изучением методов смягчения ГТО занимается ряд российских и зарубежных ученых [6–9]. В этих работах исследуется влияние озеленения мегаполисов на смягчение ГТО [6], оценивается градостроительная деятельность на основе принципов биосферной совместимости [7], выявляется закономерная связь между объемно-планировочными характеристиками застройки и температурными показателями прилегающих территорий [8], оценивается тепловое воздействие на человека [9].

Отличительной особенностью городского климата является его высокая гетерогенность, определяемая разнообразием градостроительных структур и типов растительного покрова в разных пространственных масштабах. Вопрос пространственного масштаба является ключевым в исследованиях городского климата. Особенности городского климата определяются природными и антропогенными факторами. Воздействия этих факторов часто

заметны в границах территорий, имеющих довольно крупный пространственный масштаб. Наряду с этим растет количество научных исследований на основе концепции локальных климатических зон (ЛКЗ), что позволяет более точно учесть особенности городского климата на небольших территориях.

Концепция ЛКЗ была, по-видимому, впервые предложена в 2012 г. Стюартом (Stewart) и Оке (Oke) [10] для количественной оценки влияния градостроительных структур на образование ГТО. ЛКЗ представляет собой пространственную ячейку, обладающую определенными тепловыми свойствами [11, 12]. Локальные климатические зоны определяются как области (пространственные ячейки), обладающие схожими характеристиками, такими как поверхностный покров, материал, структура и другие, простирающиеся от нескольких сотен метров до километров [10]. Проект “World Urban Database and Access Portal Tools” (WUDAPT) был создан в качестве глобальной инициативы по разработке стандартизированных ЛКЗ [13].

Для создания ЛКЗ широко используют метод дистанционного зондирования (ДДЗ). Этот метод позволяет измерить температуру поверхности городских территорий [14–16]. Температурный режим заметно меняется в связи с неоднородностью урбанизированных территорий и разнообразием видов озеленения в диапазоне от микро- до мезомасштаба — от сотен метров до нескольких километров [17].

ЛКЗ стали важным стимулом для исследований по городской климатологии и городскому планированию. На данный момент разработано 17 стандартных ЛКЗ: 10 из них сформированы, главным образом, различными типами застройки, а 7 ЛКЗ демонстрируют различные типы подстилающей поверхности [10]. Каждая ЛКЗ имеет свои температурные показатели.

Концепция ЛКЗ широко представлена в зарубежной литературе, что подчеркивает актуальность данного подхода в исследованиях, направленных на поиск эффективных решений по смягчению ГТО [18, 19]. Развитием этой концепции является разработка методологии по оценке ГТО на основе различных факторов: плотности застройки, шероховатости поверхности, альбедо, растительности и антропогенного теплового потока.

В отечественной городской климатологии более общим является понятие «климатоп». Впервые определение «климатоп» был дано академиком В.Н. Сукачёвым в 1964 г. Профессор В.К. Лицкевич в 1984 г. применил данное понятие для решения архитектурно-градостроительных задач, в частности, при разработке климатической топологии жилища, учитывая природно-климатические условия местности. Климатоп позволяет эффективно оценить микроклимат города, отдельных городских территорий, типов застроек [20]. Каждый климатоп имеет масштаб. Климатоп территориальной (или функциональной) зоны характеризуется определенным микроклиматом в границах этой зоны. Различные планировочные образования в границах зоны могут иметь свои климатопы. По климатическим картам можно определить аномальные тепловые (температурные) зоны и разработать предложения по улучшению микроклимата застройки.

Цель данного исследования состоит в установлении научно обоснованной закономерности между климатопом и температурой поверхности, что является необходимым условием для разработки рекомендаций по совершенствованию температурного режима урбанизированных территорий.

### Методы исследования

Объектом исследования является г. Волгоград (48°42'42" с. ш. 44°30'50" в. д.) — мегаполис, расположенный на юго-востоке европейской части России. Волгоград представляет собой линейный город, расположенный вдоль Волги длиной 65–70 км и шириной около 5 км. Площадь города составляет 859,3 км<sup>2</sup>, население — 1 001 183 чел. Самая высокая точка расположена на северо-западе города на одном из куполообразных возвышений. Прилегающая к Волге часть города — низменная, с высотой 0–40 м над уровнем моря. На удалении 1–3 км от Волги находится цепь пологих холмов высотой 50–140 м. Климат умеренно-континентальный, засушливый (согласно международной классификации климата Кёрппен — тип «Dfa»). Зима мягкая, с частыми оттепелями, лето жаркое и долгое, во все времена года возможны резкие перепады температуры. Среднее количество осадков — 267 мм в год.

С целью построения математической модели была использована ячейка 100 × 100 м для агрегации пикселей и получения данных о температурных показателях в различных функциональных зонах города.

Для описания геометрических свойств планировочных элементов использованы следующие характеристики:

- коэффициент плотности застройки ( $X_1$ ) — отношение площади всех этажей зданий и сооружений к площади участка;
- коэффициент озеленения деревьями ( $X_2$ ) — отношение площади деревьев к площади участка;
- коэффициент озеленения травой и мелким кустарником ( $X_3$ ) — отношение площади травы и кустарников к площади участка;
- коэффициент дорожных покрытий ( $X_4$ ) — отношение площади дорог, включая участки с твердым покрытием, к площади участка;
- коэффициент грунтовых покрытий ( $X_5$ ) — отношение площади грунтовых покрытий к площади участка.

Используя спутниковые изображения, определены расчетные геометрические характеристики планировочных элементов.

Отличительной особенностью данного метода является возможность учета не только планировочных ( $X_2, X_3, X_4, X_5$ ), но и объемно-пространственной ( $X_1$ ) характеристик. Коэффициент  $X_1$  позволяет учесть трехмерную структуру зданий и сооружений. Это особенно важно при рассмотрении зданий различной формы, размеров в плане, этажности, количества зданий на участке.

Для раскрытия закономерности, учитывающей влияние планировочных элементов на температурный режим урбанизированных территорий, разработана многофакторная математическая модель, устанавливающая связь между характеристиками планировочных элементов и их влиянием на показатель относительной температуры. Показатель относительной температуры равен отношению разности температуры рассматриваемого участка и минимальной температуры поверхности к разности минимальной и максимальной температур поверхности [16].

Используя экспериментальные данные тепловых изображений урбанизированных территорий и расчетные геометрические характеристики планировочных элементов рассматриваемого объекта, определенные на основе метода дистанционного зондирования [16], получено уравнение множественной линейной регрессии в следующем виде:

$$Y = 0,838 - 0,0322X_1 - 0,766X_2 - 0,503X_3 - 0,337X_4 - 0,159X_5. \quad (1)$$

Уравнение (1) устанавливает влияние характеристик планировочных элементов на показатель относительной температуры. Доказано, что построенная математическая модель является адекватной. По итогам проведенного корреляционного анализа выявлены прямые и обратные корреляционные связи различной силы между отдельными переменными. Расчетом получены следующие значения ошибок: средняя абсолютная ошибка  $MAE = 0,10$ ; среднеквадратичные ошибки  $MSE = 0,02$ ,  $RMSE = 0,13$ . Указанные значения в целом говорят о достоверности полученных результатов.

Анализ уравнения (1) показывает, что все рассматриваемые геометрические характеристики планировочных элементов влияют на показатель относительной температуры. Наибольший вклад в изменение (снижение) температуры поверхности дает озеленение участка деревьями.

Полученный результат подтверждает вывод, что деревья оказывают значительное влияние на смягчение ГТО. Степень нагрева поверхности зависит от формы листьев, структуры и размера кроны, высоты дерева и других показателей. Охлаждающий эффект от дерева образуется вследствие затенения, испарения и термогравитационной конвекции. Полученная математическая модель отражает закономерное влияние планировочных элементов на температурный режим урбанизированных территорий, что открывает широкие возможности улучшения качества тепловой среды.

### Результаты и обсуждение

Используя математическую модель (1), рассчитаны значения показателя относительной температуры при различных вариациях геометрических характеристик планировочных элементов, отражающих реальные типы городской застройки. Всего определено 40 климатопов. При определении климатопов учтены комбинации различных типов покрытий (трава, грунт, асфальтовая дорога, плотная посадка деревьев) и видов застройки. Полученные климатопы позволяют достаточно быстро и точно прогнозировать температурный режим урбанизированных территорий, используя предложенную математическую модель.

Опираясь на данные работы [16], предлагается следующая классификация климатопов (табл. 1).

На основе предложенной классификации по значениям относительной температуры возможно присвоение определенного класса конкретному участку, что позволяет выявить территории, требующие улучшения с точки зрения планировочных решений.

На рис. 1 представлены результаты расчета относительной температуры для ряда климатопов, учитывающих различные типы покрытий. Из рис. 1

Таблица 1. Классификация климатопов

Обозначение класса климатопа	Наименование класса климатопа	Значения относительной температуры
A	Очень высокий	Ниже 0,2
B	Высокий	От 0,2 до 0,4
C	Умеренный	От 0,4 до 0,6
D	Низкий	От 0,6 до 0,8
E	Очень низкий	От 0,8 до 1

видно, что классу А, т.е. очень высокому классу, соответствует плотная посадка деревьев, подобно лесопарку, к классу В относится покрытие травой, к классу С — асфальтовое покрытие, а к классу D — темное грунтовое покрытие.

Стоит отметить, что асфальтовое сухое покрытие по данным наблюдений имеет более высокое

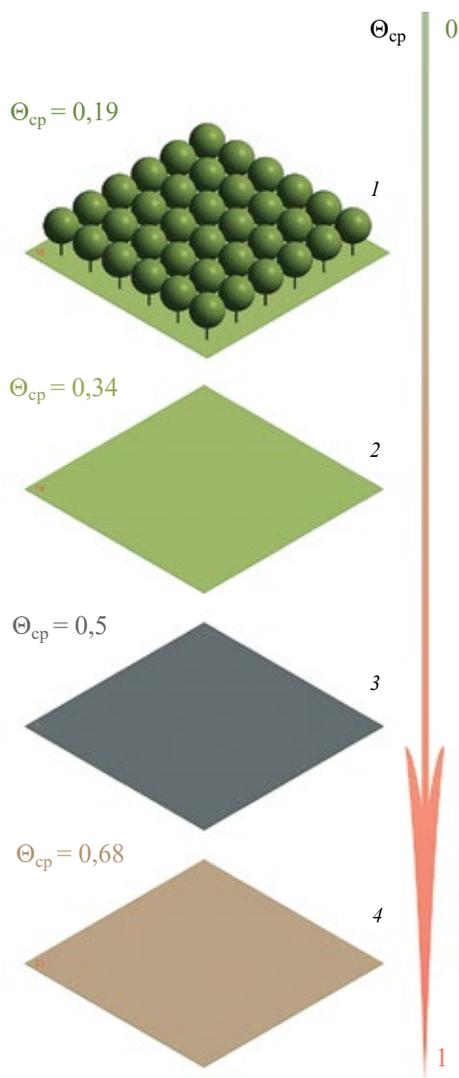


Рис. 1. Распределение климатопов по показателю относительной температуры: 1 — плотная посадка деревьев (55,4 %) и покрытие из травы и кустарников (44,6 %); 2 — покрытие из травы и кустарников (100 %); 3 — асфальтовое покрытие (100 %); 4 — грунтовое покрытие (100 %)

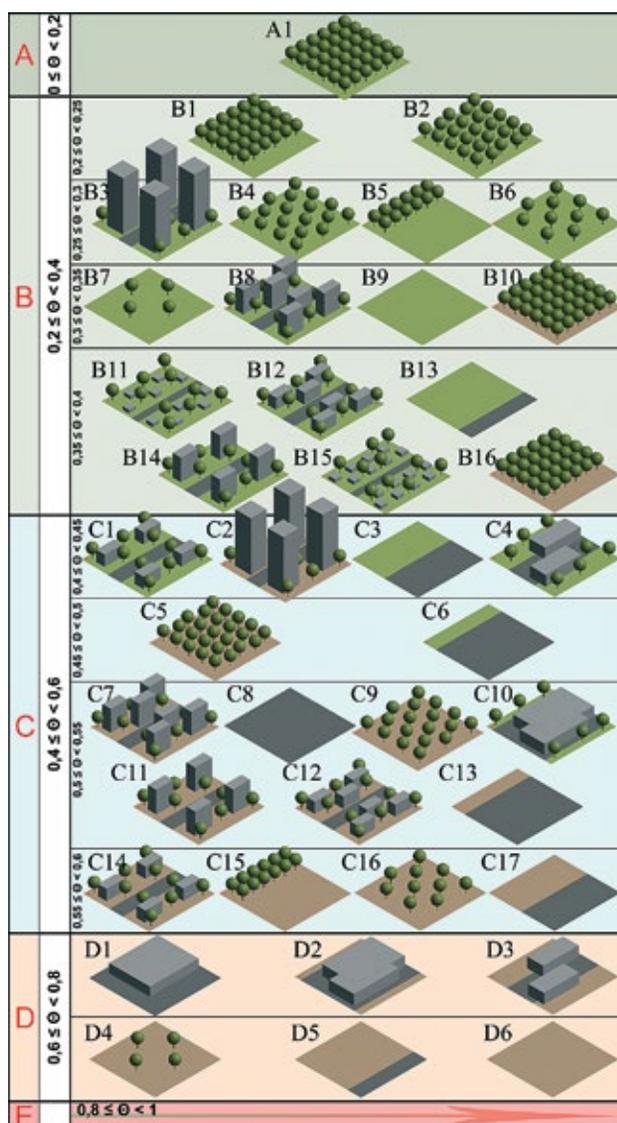


Рис. 2. Распределение климатопов по классам

альбедо по сравнению с грунтовым покрытием, вследствие чего температура асфальтового покрытия при прочих равных условиях ниже, чем грунтового.

Распределение климатопов по классам показано на рис. 2, подробное описание климатопов представлено в табл. 2.

Полученное распределение климатопов по классам показывает:

- чем более плотная посадка деревьев, тем выше класс климатопа;
- наличие покрытия из травы и кустарников вместо грунтового покрытия также дает значительное повышение класса климатопа;
- расположение климатопа с более плотной застройкой в высоком классе обусловлено, по-видимому, снижением температуры поверхностей вследствие затенения прямой солнечной радиации и аэрации урбанизированных территорий;

Таблица 2. Характеристики климатопов

Обозначение	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
A1	0,00	0,55	0,45	0,00	0,00
B1	0,00	0,46	0,54	0,00	0,00
B2	0,00	0,38	0,62	0,00	0,00
B3	6,09	0,12	0,45	0,20	0,00
B4	0,00	0,28	0,72	0,00	0,00
B5	0,00	0,18	0,82	0,00	0,00
B6	0,00	0,15	0,85	0,00	0,00
B7	0,00	0,06	0,94	0,00	0,00
B8	2,32	0,15	0,51	0,20	0,00
B9	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
B10	0,00	0,55	0,00	0,00	0,45
B11	0,16	0,15	0,65	0,10	0,00
B12	1,16	0,15	0,51	0,20	0,00
B13	0,00	0,00	0,80	0,20	0,00
B14	1,55	0,15	0,44	0,20	0,00
B15	0,26	0,15	0,59	0,10	0,00
B16	0,00	0,46	0,00	0,00	0,54
C1	0,77	0,15	0,44	0,20	0,00
C2	6,09	0,12	0,00	0,20	0,45
C3	0,00	0,00	0,50	0,50	0,00
C4	1,39	0,11	0,38	0,25	0,00
C5	0,00	0,38	0,00	0,00	0,62
C6	0,00	0,00	0,20	0,80	0,00
C7	2,32	0,15	0,00	0,20	0,51
C8	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
C9	0,00	0,28	0,00	0,00	0,72
C10	2,68	0,09	0,10	0,31	0,00
C11	1,55	0,15	0,00	0,20	0,44
C12	1,16	0,15	0,00	0,20	0,51
C13	0,00	0,00	0,00	0,80	0,20
C14	0,77	0,15	0,00	0,20	0,44
C15	0,00	0,18	0,00	0,00	0,82
C16	0,00	0,15	0,00	0,00	0,85
C17	0,00	0,00	0,00	0,50	0,50
D1	1,71	0,00	0,00	0,54	0,00
D2	2,68	0,00	0,00	0,31	0,19
D3	1,39	0,00	0,00	0,25	0,49
D4	0,00	0,06	0,00	0,00	0,94
D5	0,00	0,00	0,00	0,20	0,80
D6	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00

- климатопы с максимальной площадью грунтовых и асфальтовых поверхностей, а также максимальной площадью застройки производственными зданиями относятся к низкому классу.

Важно отметить, что в результате данного исследования не было получено климатопов, относящихся к очень низкому классу.

## Выводы

1. В рамках исследования проведен анализ научных работ, изучающих понятия локальной климатической зоны и климатопа.

2. Разработана многофакторная математическая модель, устанавливающая связь между характеристиками планировочных элементов и их влиянием на показатель относительной температуры для мегаполиса с умеренно-континентальным, засушливым климатом.

3. На основании полученной математической модели и данных о влиянии планировочных элементов на температурный режим поверхности разработаны 40 климатопов. Указанные климатопы представляют собой комбинации различных типов

покрытий (трава, грунт, асфальтовая дорога, плотная посадка деревьев) и видов застройки.

4. Установлено, что наиболее ярко эффект городского теплового острова выражен на участках со значительным количеством грунтовых поверхностей, отсутствием растительности (деревьев, кустарников, травы), большой площадью асфальтовых покрытий и большой площадью застройки. Здесь климатопы имеют низкий класс. К высокому классу климатопов принадлежат территории со значительным количеством деревьев на территории, отсутствием открытых грунтовых поверхностей и наличием поверхностей с кустарниками и травой. К очень высокому классу климатопов относятся территории с плотной посадкой деревьев, кустарниками и травой, что в целом соответствует территориям лесопарков.

Таким образом, предлагаемое распределение климатопов по классам позволяет достаточно быстро и точно оценивать температурный режим урбанизированных территорий (по сравнению с существующими методами) и на основе этого принимать эффективные меры городского планирования.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Mirzaei P.A.* Recent challenges in modeling of urban heat island // *Sustainable Cities and Society*. 2015. No. 19. Pp. 200–206. DOI: 10.1016/j.scs.2015.04.001
2. *Parsaee M., Haghghat F., Mirzaei P.A., Joybari M.M.* Urban heat island, urban climate maps and urban development policies and action plans // *Environmental Technology & Innovation*. 2019. No. 14. P. 100341. DOI: 10.1016/j.eti.2019.100341
3. *Ле М.Т., Шукуров И.С., Нгуен Т.М.* Исследование интенсивности городского острова тепла на основе городской планировки // *Строительство: наука и образование*. 2019. Т. 9. Вып. 3. С. 1–22. DOI: 10.22227/2305-5502.2019.3.2
4. *Korniyenko S.V., Dikareva E.A.* Generation, development and mitigation of the urban heat island : a review // *AlfaBuild*. 2021. No. 65. DOI: 10.34910/ALF.16.5
5. *Сокольская О.Н., Кайшева А.И.* Влияние объемно-планировочной структуры застройки на формирование теплового комфорта атмосферной среды города Краснодар // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. 2023. № 2 (42). С. 37–46. DOI: 10.21869/2311-1518-2023-42-2-37-46. EDN JALULF.
6. *Ле М.Т., Гельманова М.О., Шукуров И.С., Слесарев М.Ю., Нгуен В.М.* Исследование влияния озеленения Ханоя на эффект городского острова тепла // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. 2021. № 1 (33). С. 35–50. DOI: 10.21869/2311-1518-2021-33-1-35-50
7. *Бакаева Н.В., Черняева И.В.* Алгоритм оценки градостроительной деятельности на основе принципов биосферной совместимости // *Градостроительство и архитектура*. 2019. Т. 9. № 2 (35). С. 5–14. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.02.1. EDN TAIUHV.
8. *Сокольская О.Н., Калинина К.И.* Влияние объемно-планировочной структуры застройки города Майкоп на формирование тепловых аномалий в жаркий период года // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. 2023. № 4 (44). С. 21–29. DOI: 10.21869/2311-1518-2023-44-43-21-29. EDN RJZNUD.
9. *Гиясов А.И., Баротов Ю.Г.* Тепловое состояние человека в застройке городов с жарким условием климата // *Политехнический Вестник. Серия Инженерные исследования*. 2018. № 4 (44). С. 151–162. EDN ZCKLYT.
10. *Stewart I.D., Oke T.R.* Local climate zones for urban temperature studies // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2012. No. 12 (93). Pp. 1879–1900. DOI: 10.1175/BAMS-D-11-00019.1
11. *Zhao C., Jensen J., Weng Q., Currit N.* Use of Local Climate Zones to investigate surface urban heat islands in Texas // *GIScience & Remote Sensing*. 2020. No. 8 (57). Pp. 1083–1101. DOI: 10.1080/15481603.2020.1843869

12. Bechtel B., Demuzere M., Mills G., Zhan W., Sismanidis P., Small Ch. SUHI analysis using Local Climate Zones : a comparison of 50 cities // *Urban Climate*. 2019. No. 28. P. 100451. DOI: 10.1016/j.uclim.2019.01.005
13. Wang R., Wang R., Ren Ch., Xu Yo., Lau K., Shi Yu. Mapping the local climate zones of urban areas by GIS-based and WUDAPT methods : a case study of Hong Kong // *Urban Climate*. 2018. No. 24. Pp. 567–576. DOI: 10.1016/j.uclim.2017.10.001
14. Reba M., Seto K.C. A systematic review and assessment of algorithms to detect, characterize, and monitor urban land change // *Remote Sensing of Environment*. 2020. No. 242. P. 111739. DOI: 10.1016/j.rse.2020.111739
15. Johnson B.A., Jozdani S.E. Local Climate Zone (LCZ) map accuracy assessments should account for land cover physical characteristics that affect the local thermal environment // *Remote Sensing*. 2019. No. 20 (11). P. 2420. DOI: 10.3390/rs11202420
16. Korniyenko S.V., Dikareva E.A. Optical remote sensing for urban heat islands identification // *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2022. No. 6 (104). P. 10404. DOI: 10.4123/CUBS.104.4
17. Pacifici M., Rama F., Castro Marins K.R. Analysis of temperature variability within outdoor urban spaces at multiple scales // *Urban Climate*. 2019. No. 27. Pp. 90–104. DOI: 10.1016/j.uclim.2018.11.003
18. Hove L.W.A., Jacobs C., Heusinkveld B., Elbers J.A. Temporal and spatial variability of urban heat island and thermal comfort within the Rotterdam agglomeration // *Building and Environment*. 2015. No. 83. Pp. 91–103. DOI: 10.1016/j.buildenv.2014.08.029
19. Sangiorgio V., Fiorito F., Santamouris M. Development of a holistic urban heat island evaluation methodology // *Scientific Reports*. 2020. No. 1 (10). P. 17913. DOI: 10.1038/s41598-020-75018-4
20. Корниенко С.В. Климатоп как климатический маркер для урбанизированных территорий // *Социология города*. 2023. № 1. С. 100–112. DOI: 10.35211/19943520\_2023\_1\_100

Об авторах: **Сергей Валерьевич Корниенко** — доктор технических наук, заведующий кафедрой архитектуры зданий и сооружений; **Волгоградский государственный технический университет (ВГТУ)**; 400005, г. Волгоград, пр-т им. Ленина, д. 28; ведущий научный сотрудник научно-исследовательского центра градостроительного права; **Центральный научно-исследовательский и проектный институт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (ЦНИИП Минстроя России)**; 119331, г. Москва, пр-т Вернадского, д. 29; e-mail: skorn73@mail.ru;

**Екатерина Александровна Дикарева** — старший преподаватель кафедры архитектуры зданий и сооружений; **Волгоградский государственный технический университет (ВГТУ)**; 400005, г. Волгоград, пр-т им. Ленина, д. 28; e-mail: ea.dikareva@gmail.com.

## REFERENCES

1. Mirzaei P.A. Recent challenges in modeling of urban heat island. *Sustainable Cities and Society*. 2015; 19:200-206. DOI: 10.1016/j.scs.2015.04.001
2. Parsae M., Haghight F., Mirzaei P.A., Joybari M.M. Urban heat island, urban climate maps and urban development policies and action plans. *Environmental Technology & Innovation*. 2019; 14:100341. DOI: 10.1016/j.eti.2019.100341
3. Le M.T., Shukurov I.S., Nguyen T.M. Study of the intensity of the urban heat island based on urban planning. *Construction: science and education*. 2019; 9(3):1-22. DOI: 10.22227/2305-5502.2019.3.2 (rus.).
4. Kornienko S.V., Dikareva E.A. Generation, Development and Mitigation of the Urban Heat Island : a Review. *AlfaBuild*. 2021; 65. DOI: 10.34910/ALF.16.5 (rus.).
5. Sokolskaya O.N., Kaisheva A.I. The influence of the space-planning structure of buildings on the formation of thermal comfort of the atmospheric environment of the city of Krasnodar. *Biospheric compatibility: people, region, technologies*. 2023; 2(42):37-46. DOI: 10.21869/2311-1518-2023-42-2-37-46. EDN JALULF. (rus.).
6. Le M.T., Gelmanova M.O., Shukurov I.S., Slesarev M.Yu., Nguyen V.M. Study of the influence of Hanoi's landscaping on the urban heat island effect. *Biosphere compatibility: people, region, technologies*. 2021; 1(33):35-50. DOI: 10.21869/2311-1518-2021-33-1-35-50 (rus.).
7. Bakaeva N.V., Chernyaeva I.V. Algorithm for assessing urban planning activities based on the principles of biosphere compatibility. *Urban planning and architecture*. 2019; 9:(2(35):5-14. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.02.1. EDN TAIUHV. (rus.).
8. Sokolskaya O.N., Kalinina K.I. The influence of the space-planning structure of the city of Maykop on the formation of thermal anomalies in the hot season. *Biosphere compatibility: people, region, technologies*. 2023; 4(44): 21-29. DOI: 10.21869/2311-1518-2023-44-43-21-29. EDN RJZNUD. (rus.).
9. Giyasov A.I., Barotov Yu.G. Thermal state of a person in the development of cities with hot climate conditions. *Polytechnic Bulletin. Series Engineering Research*. 2018; 4(44):151-162. EDN ZCKLYT. (rus.).

10. Stewart I.D., Oke T.R. Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2012; 12(93):1879-1900. DOI: 10.1175/BAMS-D-11-00019.1
11. Zhao C., Jensen J., Weng Q., Currit N. Use of Local Climate Zones to investigate surface urban heat islands in Texas. *GIScience & Remote Sensing*. 2020; 8(57):1083-1101. DOI: 10.1080/15481603.2020.1843869
12. Bechtel B., Demuzere M., Mills G., Zhan W., Sismanidis P., Small Ch. SUHI analysis using Local Climate Zones : a comparison of 50 cities. *Urban Climate*. 2019; (28):100451. DOI: 10.1016/j.uclim.2019.01.005
13. Wang R., Wang R., Ren Ch., Xu Yo., Lau K., Shi Yu. Mapping the local climate zones of urban areas by GIS-based and WUDAPT methods : a case study of Hong Kong. *Urban Climate*. 2018;(24):567-576. DOI: 10.1016/j.uclim.2017.10.001
14. Reba M., Seto K.C. A systematic review and assessment of algorithms to detect, characterize, and monitor urban land change. *Remote Sensing of Environment*. 2020; (242):111739. DOI: 10.1016/j.rse.2020.111739
15. Johnson B.A., Scheyvens H., Shivakoti B.R. An ensemble pansharpening approach for finer-scale mapping of sugarcane with Landsat 8 imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2014; 33:218-225. DOI: 10.3390/rs11202420
16. Kornienko S.V., Dikareva E.A. Optical Remote Sensing for Urban Heat Islands Identification. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2022; 6(104):10404. DOI: 10.4123/CUBS.104.4
17. Pacifici M., Rama F., Castro Marins K.R. Analysis of temperature variability within outdoor urban spaces at multiple scales. *Urban Climate*. 2019; 27:90-104. DOI: 10.1016/j.uclim.2018.11.003
18. Hove L.W. A., Jacobs C., Heusinkveld B., Elbers J.A. Temporal and spatial variability of urban heat island and thermal comfort within the Rotterdam agglomeration. *Building and Environment*. 2015; 83:91-103. DOI: 10.1016/j.buildenv.2014.08.029
19. Sangiorgio V., Fiorito F., Santamouris M. Development of a holistic urban heat island evaluation methodology. *Scientific Reports*. 2020; 1(10):17913. DOI: 10.1038/s41598-020-75018-4
20. Kornienko S.V. Climate as a climatic marker for urbanized areas. *Urban Sociology*. 2023; 1:100-112. DOI: 10.35211/19943520\_2023\_1\_100

About the authors: **Sergey V. Korniyenko** — Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Architecture of Buildings and Structures; **Volgograd State Technical University (VSTU)**; 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; Leading Researcher, Research Center for Urban Planning Law; **Central Research and Design Institute of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation (TsNIIP Ministry of Construction of Russia)**; 29 Vernadsky Ave., Building 29, Moscow, 119331, Russian Federation; e-mail: skorn73@mail.ru;

**Ekaterina A. Dikareva** — Senior Lecturer of the Department of Architecture of Buildings and Structures; **Volgograd State Technical University (VSTU)**; 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; e-mail: ea.dikareva@gmail.com.

## ТЕПЛОВОЙ ПОТЕНЦИАЛ СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ ПЛАВЛЕНИЯ СНЕГА

Артём Сергеевич Невгень, Сергей Владимирович Лукин

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

*В условиях длительного зимнего периода и обилия твердых осадков на территории районов Российской Федерации необходимо развивать инновационные подходы к снегоудалению, которые были бы экологически безопасными и энергоэффективными. В настоящее время существует большое количество технологий, позволяющих достаточно эффективно удалять снег, выпадающий на дорожные покрытия городских автомагистралей, внутриквартальных проездов, на тротуары и придомовые территории, но для успешного решения проблем снегоудаления в городах необходим комплексный подход, при котором следует использовать не только систему промышленной переработки снега, вывозимого с территорий на снегославные пункты и «сухие» снегосвалки, но и малозатратные технологии, обеспечивающие утилизацию снега за счет площадок, оборудованных источниками низкопотенциального теплоснабжения. В этой связи целью изучения является исследование теплового потенциала сточных вод многоквартирного жилого дома в качестве источника низкопотенциальной энергии для плавления снега. В работе представлены результаты физико-химических исследований свежесыпавшего и расплавленного снега в г. Вологде, а также описана методика определения энергетического потенциала сточных вод многоквартирного жилого дома в качестве источника низкопотенциальной энергии. Полученные данные могут быть полезны для разработки эффективных и устойчивых систем снегоудаления в городах.*

**Ключевые слова:** снег, экология, энергоэффективность, утилизация снега, источники низкопотенциальной энергии, тепловой потенциал, сточные воды, физико-химические исследования проб расплавленного снега

**Для цитирования:** Невгень А.С., Лукин С.В. Тепловой потенциал сточных вод для плавления снега // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2024. № 4. С. 76–82. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.76-82

## THERMAL POTENTIAL OF WASTEWATER FOR MELTING SNOW

Artyom S. Nevgen, Sergey V. Lukin

Vologda State University (VSU); Vologda, Russian Federation

*In conditions of a long winter period and an abundance of solid precipitation in the regions of the Russian Federation, it is necessary to develop innovative approaches to snow removal that would be environmentally safe and energy efficient. Currently, there are a large number of technologies that make it possible to effectively remove snow falling on the road surfaces of urban highways, driveways, sidewalks and adjacent territories, but to successfully solve the problems of snow removal in cities, an integrated approach is needed, in which not only a system of industrial processing of snow exported from territories to snow-melting points and “dry” snow dumpers, but also low-cost technologies that ensure the disposal of snow at the expense of sites, equipped with low-potential heat supply sources. In this regard, the purpose of the study is to study the thermal potential of wastewater from an apartment building as a source of low-potential energy for melting snow. The paper presents the results of physico-chemical studies of freshly fallen and melted snow in Vologda, and also describes a method for determining the energy potential of wastewater from an apartment building as a source of low-potential energy. The data obtained can be useful for the development of efficient and sustainable snow removal systems in cities.*

**Keywords:** snow, ecology, energy efficiency, snow utilization, low-potential energy sources, thermal potential, wastewater, physico-chemical studies of molten snow samples

**For citation:** Nevgen A.S., Lukin S.V. Thermal potential of wastewater for melting snow. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2024; 4:76-82. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.76-82 (rus.).

### Введение

В условиях длительного зимнего периода и обилия твердых осадков на территории районов Российской Федерации необходимо развивать инновационные подходы к снегоудалению, которые были бы экологически безопасными и энергоэффективными.

В настоящее время существует большое количество технологий, позволяющих достаточно эффективно удалять снег, выпадающий на дорожные покрытия городских автомагистралей, внутриквартальных проездов, на тротуары и придомовые территории [1], но для успешного решения проблем снегоудаления в городах необходим комплексный подход, при котором следует использовать не только

систему промышленной переработки снега, вывозимого с территорий на снегосплавные пункты и «сухие» снегосвалки, но и малозатратные технологии, обеспечивающие утилизацию снега за счет площадок, оборудованных источниками низкопотенциального теплоснабжения.

На данный момент на территории города Вологды снег, который собирается с улиц, площадей и дорог, не подвергается очистке, а вывозится на загородные полигоны либо непосредственно скапливается на территории города. Такой подход к утилизации снега, при котором отсутствует должная очистка и переработка, не только увеличивает нагрузку на городскую инфраструктуру, но и приводит к значительному негативному воздействию на окружающую среду.

Для изучения влияния снежного покрова на окружающую среду в зимний период были отобраны пробы свежеснегавпавшего снега и пробы снега перед началом снеготаяния, отбор проб осуществлялся в центральной части города Вологды. Расположение точек пробоотбора выбиралось на основе функционального зонирования города (рис. 1). Результаты физико-химических исследований объединенных проб расплавленного снега представлены в таблице.

Результаты показали, что пробы расплавленного снега из центральной части города содержат уровни загрязняющих веществ, превышающих установ-

ленные нормативы<sup>1</sup> по следующим показателям: БПК<sub>5</sub>, аммиак, взвешенные вещества, нефтепродукты, общее железо, медь, алюминий и фенолы. Исследования свежеснегавпавшего снега показывают, что расплавленный снег удовлетворяет требованиям сброса в горколлектор системы водоотведения города Вологды по нормативам, принятым в Постановлении<sup>2</sup>.

В период снеготаяния происходит увеличение количества талого стока, который содержит различные загрязнения, такие как нефтепродукты, крупнодисперсный мусор и медленно оседающие вещества [2–4]. Чтобы оценить степень воздействия снежного покрова на водный объект во время весеннего снеготаяния, были отобраны пробы речной воды в восьми точках реки Содемы. Река Содема (Золотуха) протекает через центральную часть города Вологда и, согласно данным государственного водного реестра России, относится к Двинско-Печорскому бассейновому округу, входя в речной бассейн реки Северная

<sup>1</sup> Об установлении нормативов состава сточных вод для абонентов централизованной системы водоотведения муниципального образования «Город Вологда»: Постановление Администрации г. Вологды от 21 августа 2020 г. № 1069.

<sup>2</sup> Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: Приказ Минсельхоза России от 13 декабря 2016 года № 552.

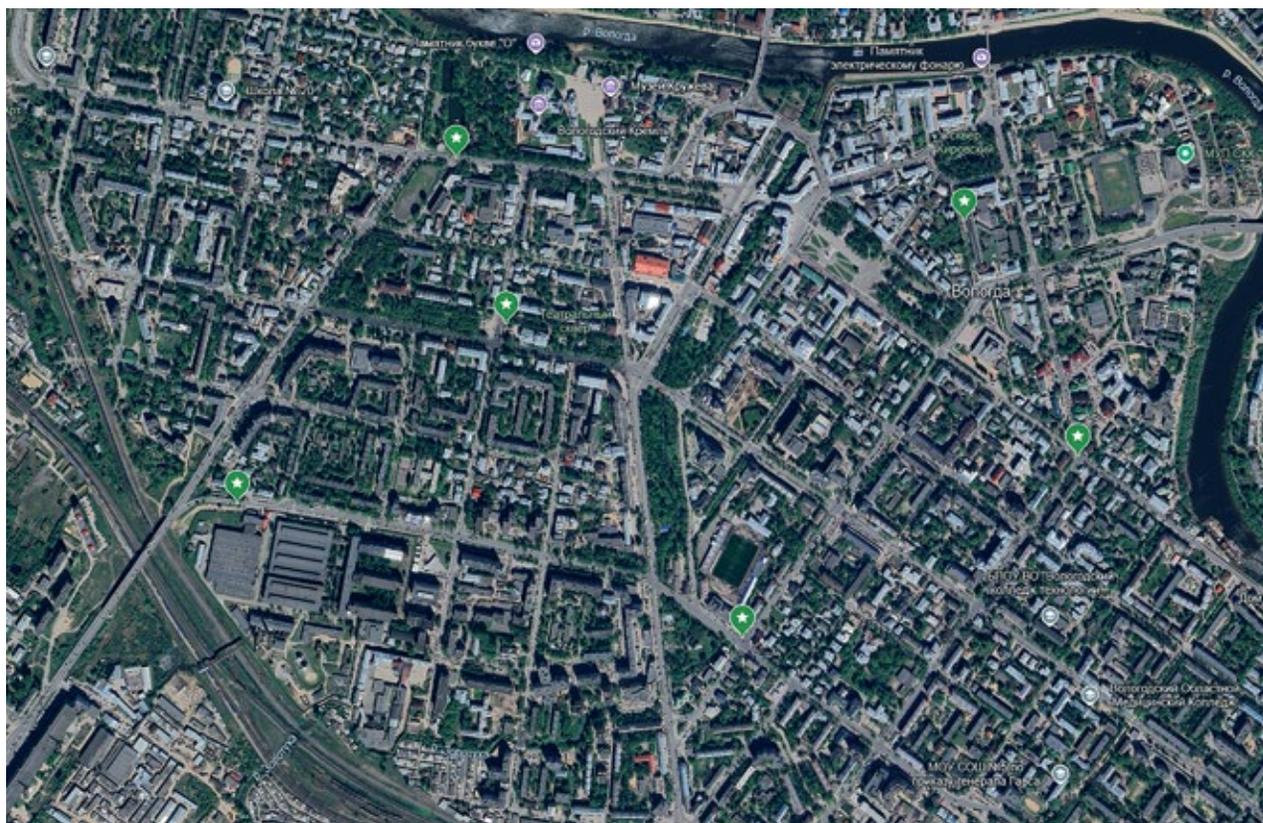


Рис. 1. Картограмма города с расположением точек пробоотбора

Результаты физико-химических исследований проб расплавленного снега с центральной части города Вологды

Показатель	Единицы измерения	Условия приема в городскую канализацию	ПДК сброса в водоприемник	Объединенная проба «Центр»	Объединенная проба «Центр. Свежевыпавший снег»
БПК <sub>5</sub>	мг/дм <sup>3</sup>	200	3	6,3	2,6
Аммоний-ион	мг/дм <sup>3</sup>	25,1	0,5	0,7	0,32
Взвешенные вещества	мг/дм <sup>3</sup>	231,5	10	> 5000 (4706,2)	26
Нефтепродукты	мг/дм <sup>3</sup>	0,94	0,05	1,63	0,07
Железо общее	мг/дм <sup>3</sup>	0,66	0,1	0,5	0,045
Сульфат-ион	мг/дм <sup>3</sup>	100	100	< 50 (6)	< 50 (1)
АПАВ	мг/дм <sup>3</sup>	0,559	0,5	0,03	< 0,025
Медь	мг/дм <sup>3</sup>	0,012	0,001	0,013	0,0004
Кадмий	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,1	< 0,0003	< 0,0003
Свинец	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,1	0,0064	< 0,0003
Цинк	мг/дм <sup>3</sup>	0,021	0,01	0,0045	0,016
Алюминий	мг/дм <sup>3</sup>	1	0,04	0,22	< 0,02
Фенолы	мг/дм <sup>3</sup>	0,015	0,001	0,006	< 0,0005

Двина [5]. Будучи водным объектом рыбохозяйственного значения первой категории, оценка состояния речных вод осуществлялась путем сравнения полученных значений качества воды по взвешенным веществам и нефтепродуктам с нормативами ПДК для рыбохозяйственного водопользования<sup>1</sup>. На рис. 2 представлены результаты исследований качества воды реки Содема, основанные на анализе проб, взятых в восьми контрольных точках, обозначенных на карте города. Диаграммы на рисунке визуализируют концентрации взвешенных веществ и нефтепродуктов в каждом из пунктов отбора.

Анализ данных, представленных на рис. 2, показывает, что по мере удаления от истока (цифра 1) реки наблюдается увеличение содержания взвешенных частиц и нефтепродуктов. Данное явление связано с ростом антропогенной нагрузки в водосборном бассейне реки в периоды активного снеготаяния.

В связи с необходимостью минимизации негативного воздействия на окружающую среду и повышения энергоэффективности процессов снеготаяния разработка систем утилизации снежного покрова с использованием низкопотенциальных источников тепла становится актуальной задачей.

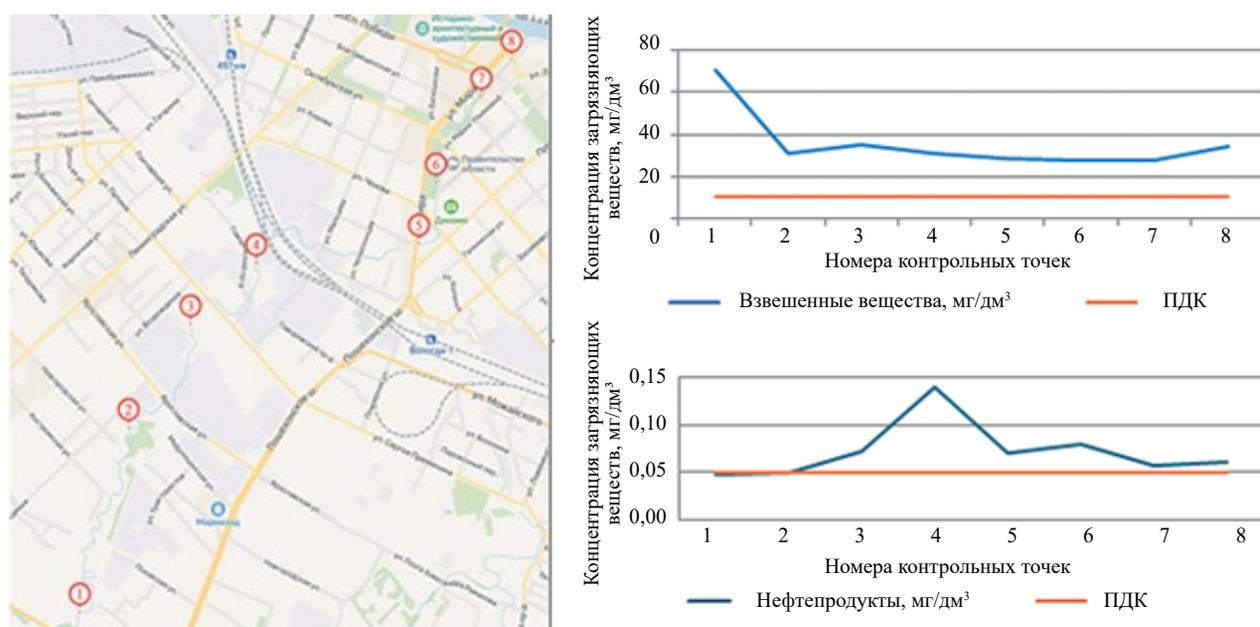


Рис. 2. Результаты исследований качества воды реки Содема по взвешенным веществам и нефтепродуктам

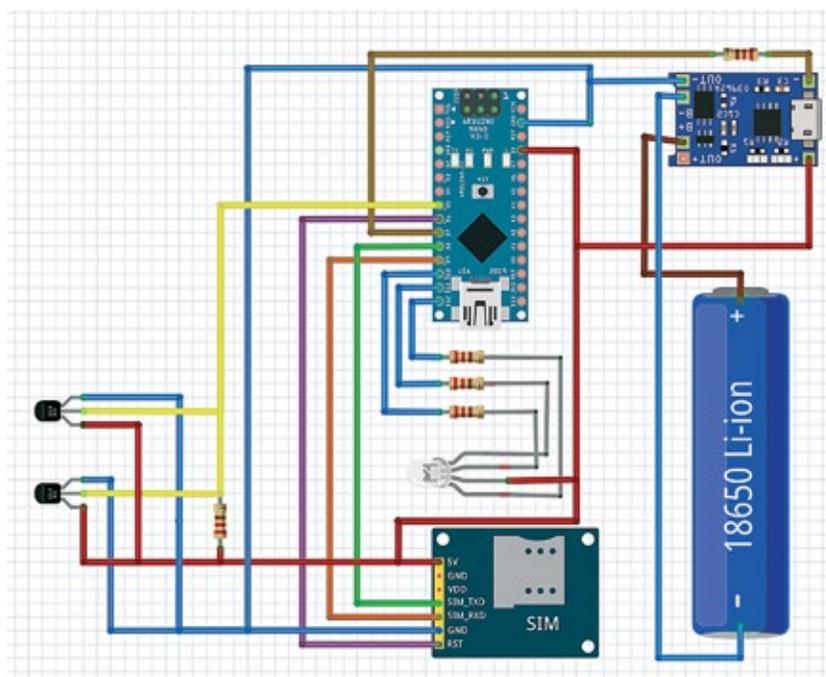


Рис. 3. Схема устройства для измерения температуры на основе платформы Arduino Nano

Целью данного исследования является исследование теплового потенциала сточных вод многоквартирного жилого дома в качестве источника низкопотенциальной энергии для плавления снега.

### Материалы и методы

Сточные воды редко используют как источник низкопотенциальной энергии. Для определения энергетического потенциала сточных вод необходимо знать расход водоотведения, а также температуру сточной воды. Расход водоотведения принимается равным расходу водопотребления на исследуемом объекте<sup>3</sup>. Объектом наблюдения в исследовании являлся жилой многоквартирный дом, расположенный в г. Вологде.

В этом исследовании данные температуры сточных вод определялись при помощи водонепроницаемых датчиков температуры DS18B20, установленных в систему канализации жилого дома перед выпуском сточных вод в наружную канализационную систему. Водонепроницаемый датчик DS18B20 работает в диапазоне температур от  $-55$  ( $218,15$  K) до  $+125$  °C ( $398,15$  K). При температуре от  $-10$  до  $85$  °C имеет точность  $0,0625$  °C [6]. Датчики температуры подключены к Arduino с модулем GSM на чипе SIM800L. Точкой установки датчиков температуры служил канализационный трубопровод

перед выпуском сточных вод в наружную канализационную систему. На рис. 3 представлена схема устройства для определения температуры. Устройство состоит из вычислительной платформы Arduino Nano v3 ATmega328P, GSM модуля SIM800L, контроллера заряда-разряда для Li-ion аккумулятора TP4065 и датчиков температур DS18B20. Калибровка устройства осуществлялась при помощи поверенного контактным термометром Техно-Ас ТК 5.01 MC с погружаемым зондом.

### Результаты и их обсуждение

Результаты суточного мониторинга динамики водопотребления и температуры сточных вод исследуемого объекта представлены на рис. 4, 5.

Температура сточных вод из многоквартирного жилого здания, отображенная на рис. 4, демонстрирует значения в диапазоне от  $9,6$  ( $282,75$  K) до  $24,6$  °C ( $297,75$  K) в течение исследуемого периода, не опускаясь при этом ниже точки замерзания, а средняя температура сточных вод за рассматриваемый период составляет  $18,5$  °C ( $291,65$  K), что указывает на возможность использования сточных вод в качестве источника низкопотенциальной энергии.

Согласно графику (рис. 5), периоды с 6:00 до 9:00 и с 18:00 до 22:00 характеризуются максимальной часовой нагрузкой, причем в эти интервалы времени достигается максимальный часовой расход сточных вод ( $G = 1200$  кг/ч).

Сравнивая суточные изменения температуры сточных вод (рис. 4) с диаграммой расхода водопотребления (рис. 5), наблюдается синхронность

<sup>3</sup> СП 32.13330.2018. Свод правил. Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03–85 : утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 25.12.2018 № 860/пр. (дата введения: 26.06.2019). М. : Стандартинформ, 2019. 76 с.

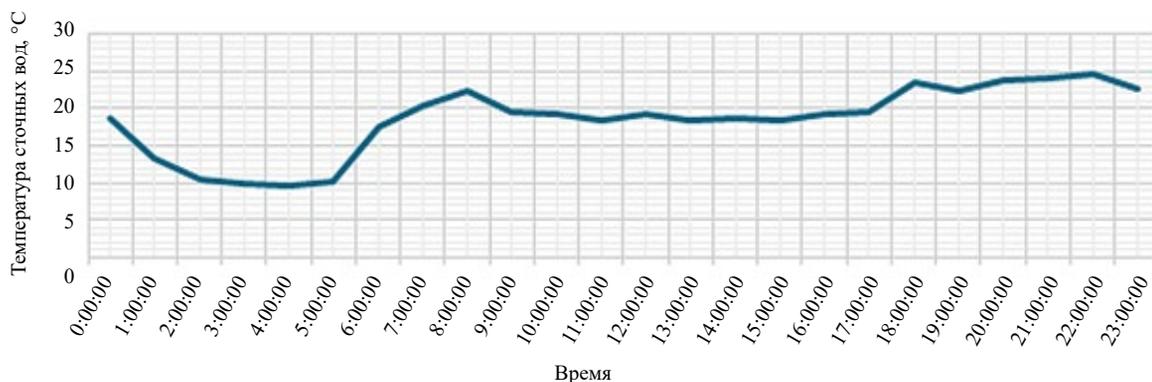


Рис. 4. Суточные изменения температуры сточных вод, °С

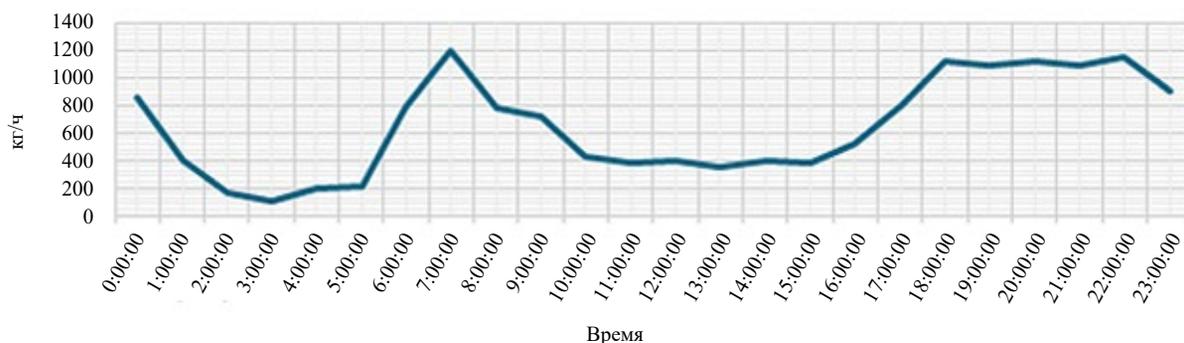


Рис. 5. Суточные изменения водопотребления, кг/ч

в поведении этих двух параметров, а также совпадение максимального водопотребления с температурным максимумом. Данное наблюдение указывает на потенциал согласованного использования данных параметров для эффективного управления и оптимизации энергетических процессов.

Определим тепловой потенциал  $Q$  — количество теплоты, которое можно получить при извлечении низкопотенциального тепла из стоков, определяющееся по формуле [7]:

$$Q = G \cdot \Delta T \cdot c, \quad (1)$$

где  $Q$  — количество теплоты, кДж/ч;  $G$  — количество стоков, кг/ч;  $\Delta T$  — допустимое изменение температуры сточных вод, °С;  $c$  — теплоемкость воды,  $c = 4,18$  кДж/(кг·К).

Допустимое изменение температуры сточных вод  $\Delta t$  принимаем как разность температуры стоков на выходе из многоквартирного дома и минимальной температуры сбрасываемых стоков (5 °С (278,15 К)).

Тогда тепловой потенциал исследуемого объекта будет равен:

$$Q_{\max} = 98\,314 \text{ кДж/ч} = 0,0234 \text{ Гкал/ч};$$

$$Q_{\text{ср.знач}} = 36\,634 \text{ кДж/ч} = 0,009 \text{ Гкал/ч};$$

$$Q_{\min} = 1923 \text{ кДж/ч} = 0,00046 \text{ Гкал/ч}.$$

Полученные результаты показывают, что тепловой потенциал, который можно получить при извлечении низкопотенциального тепла из стоков многоквартирного дома, может варьироваться в пределах от 1923 до 98 314 кДж/ч в зависимости от расхода стоков и температурного режима. Таким образом, использование теплового потенциала сточных вод представляет собой перспективное направление для эффективного использования энергии и снижения негативного воздействия на окружающую среду.

Определим количество тепла, требуемого для таяния снежного покрова на площади 1 м<sup>2</sup>. Количество тепла, которое необходимо для плавления снега, определяется его теплоемкостью и теплотой плавления [8]. Количество тепла на разогрев снега до температуры 0 °С (273,15 К):

$$Q_1 = c_p \cdot m \cdot (273,15 - T_{\text{сн}}), \quad (2)$$

где  $c_p$  — теплоемкость снега,  $c = 2,1$  кДж/(кг·К);  $m$  — масса снега;  $T_{\text{сн}}$  — температура снега.

Количество тепла на плавление снега равно:

$$Q_2 = q_{\text{пл}} \cdot m, \quad (3)$$

где  $q_{\text{пл}}$  — теплота плавления снега, равна 330 кДж/кг.

Суммарная тепловая мощность для плавления снежного покрова:

$$Q_{\text{сн}} = Q_1 + Q_2 = m(c_p \cdot (273,15 - T_{\text{сн}}) + q_{\text{пл}}). \quad (4)$$

Для поддержания поверхности полностью чистой в максимально возможный снегопад (без учета заноса), принимая суточное количество снега 199 мм [9–11]. Плотность свежеснегавшего снега принимаем 200 кг/м<sup>3</sup>. Расчетная температура окружающего воздуха принималась равной минус 8 °С<sup>4</sup>.

Для расчета количества снега ( $m$ ), выпадающего на 1 м<sup>2</sup> в час, найдем количество снега, выпадающего за час:

$$199 \text{ мм снега за сутки} = 199/24 \text{ мм снега за час} \approx 8,29 \text{ мм снега за час.}$$

Далее переведем это количество в кг/м<sup>2</sup> в час, учитывая плотность снега:

$$8,29 \text{ мм снега за час} \cdot 0,2 \text{ кг/литр} (200 \text{ кг/м}^3 = 0,2 \text{ кг/литр}) = 1,658 \text{ кг/м}^2 \text{ в час.}$$

Следовательно, среднее количество снега, выпадающего на 1 м<sup>2</sup> площади за час, составляет 1,658 кг/ч.

Количество тепла, требуемого для плавления снега, будет равно:

$$Q_{\text{сп}} = 1407 \text{ кДж/ч} = 0,0003 \text{ Гкал/ч.}$$

Исходя из проведенных расчетов, можно утверждать, что использование теплового потенциала сточных вод для таяния снега является эффективным способом экономии энергии. Полученное значение теплового потенциала сточных вод значительно превышает количество тепла, необходимого для таяния снежного покрова.

<sup>4</sup> СП 131.13330.2020. Свод правил. «Строительная климатология». Актуализированная редакция СНиП 23-01.99\*.

## Выводы

Проведенное исследование подтвердило целесообразность использования теплового потенциала сточных вод многоквартирного жилого дома для повышения энергоэффективности городских систем снегоудаления. Температурный мониторинг сточных вод продемонстрировал, что их средняя температура составляет 18,5 °С, что обеспечивает возможность использования этих ресурсов в качестве источника низкопотенциальной энергии. Расчеты теплового потенциала показали, что выделяемое количество теплоты значительно превышает потребности для плавления снежного покрова, подтверждая высокую эффективность предложенного подхода.

Результаты анализа качества воды и талого стока в городе Вологде выявили экологические аспекты, требующие внимания. Пробы расплавленного снега из центральных районов города продемонстрировали превышение предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ, включая нефтепродукты, взвешенные вещества, металлы и органические соединения. В то же время свежеснегавший снег соответствует нормативам, установленным для сброса в городскую канализационную систему, что подчеркивает важность управления процессами снеготаяния в соответствии с требованиями охраны окружающей среды.

Таким образом, использование теплового потенциала сточных вод представляет собой не только энергосберегающее решение, но и инструмент для улучшения экологической обстановки в городах.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ухин Д.В. Утилизация снежно-ледяных масс с дорожных покрытий с использованием низкопотенциальных источников теплоты : дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2010. 138 с.
2. Невгень А.С. Исследование седиментационных свойств талого стока с водосбора реки Содемы : мат. Междунар. науч. конф., в 3-х т. Вологда : Вологодский государственный университет, 2022. Т. 1. С. 300–302.
3. Невгень А.С. Оценка влияния водосборной территории на формирование качества водного объекта : мат. Всеросс. науч. конф., в 3-х т. Вологда : Вологодский государственный университет, 2023. Т. 1. С. 408–412.
4. Байков В.Н., Фомин А.А., Эм И.Ю. Оценка загрязненности снегового покрова и его влияние на поверхностный сток с территории Москвы // Проекты развития инфраструктуры города. Вып. 3: Водные системы и благоустройство городской среды : сб. научн. тр. М. : Прима-Пресс-Москва, 2003. С. 164–169.
5. Яковлев С.В. Канализация : учебник для вузов. 5-е изд. перераб. и доп. М. : Стройиздат, 1975. 632 с.
6. Koestoer R.A., Saleh Y.A., Roihan I., Harinaldi H. A simple method for calibration of temperature sensor DS18B20 waterproof in oil bath based on Arduino data acquisition system // AIP Conference Proceedings. 2019. No. 2062 (1). P. 020006. DOI: 10.1063/1.5086553
7. Рей Д., Макмайкл Д. Тепловые насосы. М. : Энергоиздат, 1982. 224 с.
8. Струтинский М.Л., Хренков Н.Н. Расчет мощности противообледенительных систем для открытых площадей // Промышленный электрообогрев и электроотопление. 2013. № 1. С. 36–38. EDN RZPPFH.
9. Голубев В.Н., Семенов В.А., Фролов Д.М. Вариации водозапаса снежного покрова и интенсивности его таяния как фактор весеннего половодья на реках России // Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей : мат. VII Междунар. науч.-практ. конф. М. : РУДН, 2014. С. 24–27.

10. Фролов Д.М. Влияние интенсивности снегопадов и строения и структуры снежной толщи на водотоках и ее теплопроводности и интенсивности намерзания льда и вероятности заторов на этих водотоках : Труды VII Междунар. науч.-практ. конф. М. : ООО «ПолиПРЕСС», 2019. Т. I (IV). С. 229–238.
11. Булавина Е.В. Применение региональных метеорологических рядов наблюдений при проектировании схем утилизации снега на территории города Вологды // Геология в развивающемся мире : сб. науч. тр. (по мат. X Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых), в 2-х т. / отв. ред. Р.Р. Гильмутдинов. Пермь : Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2017. Т. 2. С. 252–253. EDN YJUZCL.

Об авторах: **Артём Сергеевич Невген** — аспирант; **Вологодский государственный университет (ВоГУ)**; 160000, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15; e-mail: nac6@list.ru;

**Сергей Владимирович Лукин** — д-р технических наук, профессор кафедры теплогазоводоснабжения; **Вологодский государственный университет (ВоГУ)**; 160000, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15; e-mail: s.v.luk@yandex.ru.

## REFERENCES

1. Ukhin D.V. *Utilization of snow and ice masses from road surfaces using low-potential heat sources : dissertation for the degree of Candidate of technical Sciences*. Voronezh, 2010; 138. (rus.).
2. Nevgen A.S. *Investigation of sedimentation properties of mel.runoff from the Sodema river catchment : Proceedings of the International Scientific Conference, in 3 volumes*. Vologda, 2022; 1:300-302. (rus.).
3. Nevgen A.S. *Assessment of the influence of the catchment area on the formation of the quality of a water body : Materials of the All-Russian Scientific conference, in 3 volumes*. Vologda, 2023; 1:408-412. (rus.).
4. Baykov V.N., Fomin A.A., Em I.Yu. Assessment of snow cover pollution and its impact on surfac.runoff from the territory of Moscow. *Projects for the development of urban infrastructure. Issue 3: Water systems and urban improvement : collection of scientific papers*. Moscow, Prima-Press-Moscow, 2003; 164-169. (rus.).
5. Yakovlev S.V. *Sewerage : textbook for universities. 5th ed. and an additional one*. Moscow, Stroyizdat, 1975; 632. (rus.).
6. Koestoer R.A., Saleh Y.A., Roihan I., Harinaldi H. A simple method for calibration of temperature sensor DS18B20 waterproof in oil bath based on Arduino data acquisition system. *AIP Conference Proceedings*. 2019; 2062(1):020006. DOI: 10.1063/1.5086553
7. Ray D., McMichael D. *Heat pumps*. Moscow, Energoizdat Publ., 1982; 224.
8. Strupinsky M.L., Khrenkov N.N. Calculation of the power of de-icing systems for open areas. *Industrial electric heating and electric heating*. 2013; 1:36-38. EDN RZPPFH.
9. Golubev V.N., Semenov V.A., Frolov D.M. Variations in the water reserve of snow cover and the intensity of its melting as a factor of spring flooding on the rivers of Russia. *Dynamics and thermology of rivers, reservoirs and the coastal zone of the seas : materials of the VII International Scientific and Practical Conference*. Moscow, RUDN, 2014; 24-27. (rus.).
10. Frolov D.M. *The influence of snowfall intensity and the structure and structure of the snow column on watercourses on its thermal conductivity and the intensity of ice freezing and the likelihood of congestion in these watercourses : Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference*. Moscow, LLC “PoliPRESS”, 2019; I(IV):229-238. (rus.).
11. Bulavina E.V. Application of regional meteorological series of observations in the design of snow disposal schemes in the city of Vologda. *Geology in the developing world : a collection of scientific papers (based on the materials of the X International Scientific and Practical Conference of Students, postgraduates and Young Scientists), in 2 volumes / ed. R.R. Gilmudinov*. Perm, Perm State National Research University, 2017; 2:252-253. EDN YJUZCL. (rus.).

About the authors: **Artyom S. Nevgen** — Graduate student; **Vologda State University (VSU)**; 15 Lenin st., Vologda, 160000, Russian Federation; e-mail: nac6@list.ru;

**Sergey V. Lukin** — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Heat and Gas Supply; **Vologda State University (VSU)**; 15 Lenin st., Vologda, 160000, Russian Federation; e-mail: s.v.luk@yandex.ru.

Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2024. № 4. С. 83–88

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 502.131:[691.5:658.567.1]

DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.83-88

## ТЕХНОЛОГИЯ УТИЛИЗАЦИИ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ БИОСФЕРНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ РЕГИОНОВ РОССИИ

Ю.М. Федорчук, С.В. Бордунов, О.Н. Русина, Т.С. Цыганкова

*Целью данного исследования является разработка способа оптимизации биосферной устойчивости промышленно развитых регионов России по предотвращению загрязнения окружающей среды за счет осуществления рациональных производственных технологий утилизации серосодержащих отходов производств Томского, Пермского и Норильского регионов. Задачами проведенного исследования являются способы обезвреживания серосодержащих кислых газов и твердых кислых сульфат-кальциевых отходов в ангидритовое вяжущее. Авторами предложены способы практического применения продукта переработки — ангидритового вяжущего в строительстве, технологии композитов сухих строительных смесей для штукатурных растворов, половых стяжек и изделий типа ангидрито-шлаковых блоков, каркасно-монолитных модулей помещений, листов сухой штукатурки. Новизна подтверждается полученными патентами на ангидритовое вяжущее, технологии и установки получения листов ПАНО и другого.*

**Ключевые слова:** экологические проблемы, отходы, выбросы, фторангидрит, кальцитоангидрит, вяжущее, импортозамещение, технологии

**Для цитирования:** Федорчук Ю.М., Бордунов С.В., Русина О.Н., Цыганкова Т.С. Технология утилизации серосодержащих отходов для целей биосферной устойчивости регионов России // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2024. № 4. С. 83–88. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.83-88

## TECHNOLOGY OF DISPOSAL OF SULFUR-CONTAINING WASTE FOR THE PURPOSES OF BIOSPHERE SUSTAINABILITY OF RUSSIAN REGIONS

Yu.M. Fedorchuk, S.V. Bordunov, O.N. Rusina, T.S. Tsygankova

*Environmental pollution of Russia industrially developed regions prevention is the aim of methods developing for optimizing the biosphere sustainability by implementing rational production technologies for the disposal of sulfur-containing waste from the Tomsk, Perm and Norilsk regions. The objectives of the study are methods for neutralizing sulfur-containing acid gases and solid acidic calcium sulfate waste into anhydrite binder. The authors propose methods of using processed product — anhydrite binder in building construction, dry building mixtures technology for plaster mortars, floor screeds and anhydrite-slag blocks, frame-monolithic modules of premises, dry plaster sheets. The novelty is confirmed by the obtained patents for anhydrite binder, technology and installations for the production of PANO sheets, etc.*

**Keywords:** Environmental problems, waste, emissions, fluoride, calcitoanhydrite, binder, import substitution, technology

**For citation:** Fedorchuk Yu.M., Bordunov S.V., Rusina O.N., Tsygankova T.S. Technology of disposal of sulfur-containing waste for the purposes of biosphere sustainability of Russian regions. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology.* 2024; 4:83-88. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.83-88 (rus.).

Данная статья посвящена повышению экологической устойчивости Норильского, Пермского и Томского регионов за счет улавливания, переработки, обезвреживания и утилизации серосодержащих отходов/выбросов.

В Норильском регионе расположено предприятие АО «ГМК «Норильский никель», металлургические производства которого выбрасывают в атмосферу газообразные серосодержащие выбросы,

многократно превышающие ПДК (предельно-допустимая концентрация) [1–3]. По данным издания Коммерсант от 5 апреля 2023 г., Росприроднадзор назвал город Норильск с самым загрязненным воздухом среди городов РФ в 2022 г.

В Пермском регионе предприятие АО «Галоплимер» складировать твердые сульфаткальциевые нейтрализованные отходы фтороводородного производства на открытом полигоне хранения про-

мышленных отходов в пойме реки Кама, которые с осадками и тальми водами попадают в почву и грунтовые воды<sup>1</sup> [4].

В Томском регионе предприятие АО «СХК» сбрасывает твердые сульфаткальциевые нейтрализованные отходы фтороводородного производства в местный водоем Обского бассейна, загрязняя его водорастворимыми солями. Предположительно, в 2024 г. эти отходы будут складироваться также на открытом полигоне хранения промышленных отходов<sup>1</sup> [4].

Основным природным сырьем у ОАО «Горно-металлургический комбинат «Норильский никель» (ОАО «ГМК «Норникель»)) являются сульфидные полиметаллические руды. Во время термической переработки этих руд в атмосферу выделяются огромные количества серосодержащего газа в виде сернистого ангидрида, который провоцирует выпадение кислотных дождей. Разработанные и введенные в эксплуатацию на комбинате «Норникель» технологии улавливания серосодержащего газа и получения серной кислоты и элементарной серы оказались экономически не конкурентоспособны за счет транспортных затрат к потребителям<sup>1</sup> [2].

В связи с шахтным способом добычи указанных руд возникающие пустоты заполняют так называемыми закладочными растворами, которые после схватывания и твердения превращаются в ангидрито-цементные бетоны. В закладочных растворах в качестве пластификатора, увеличивающего подвижность раствора, и в качестве альтернативного вяжущего, параллельно цементному вяжущему, используют природный ангидрит — безводный сульфат кальция<sup>1</sup> [3, 4].

В 2010 г. руководство ОАО «ГМК «Норникель» предложило Томскому политехническому университету (ТПУ) разработать технологию обезвреживания газообразных серосодержащих газов, выбрасываемых в атмосферу различными производствами комбината «Норильский никель», за счет процесса нейтрализации известняком получаемой из этих газов серной кислоты, при этом образующимся техногенным безводным сульфатом кальция (кальцитангидритом) заменить природный ангидрит в закладочных растворах [5].

При разработке исходных данных для технико-экономического расчета (ТЭР) в техническом задании Заказчика было указано расчетное количество серы в серной кислоте (92,5 %), необходимой для производства ангидрита, используемого в качестве пластификатора и частично ангидритового вяжущего

в шахтных закладочных растворах, которое должно составить 350 тыс. т в год по состоянию на 2010 г.

К 2010 г. сотрудниками ТПУ были разработаны и апробированы направления применения техногенного ангидритового вяжущего (ТАВ) (рис. 1), полученного в результате сернокислотного разложения плавикового шпата в химической, атомной, алюминиевой отраслях промышленности<sup>2, 3, 4</sup>.

Фторангидрит — техногенный ангидрит (ТА), образующийся в качестве побочного продукта в технологии сернокислотного разложения плавикового шпата; заштрихованные направления использования техногенного ангидрита апробированы при участии сотрудников ТПУ в лабораторных, полупромышленных и, некоторые, в опытно-промышленных испытаниях.

Поэтому по аналогии с технологией сернокислотного разложения плавикового шпата в ТПУ были проведены исследования режимов подготовки известняка — кальцита месторождения «Скальный» Норильского региона и режимов технологии сернокислотного разложения кальцита с получением безводного сульфата кальция, названного кальцитангидритом (КА), и получением техногенного ангидритового вяжущего (КАВ), свойства которого не отличались от ТАВ<sup>2, 3, 4</sup>.

Производство серной кислоты из уловленных серосодержащих газов было осуществлено сотрудниками Заполярного филиала ОАО «ГМК «Норильский никель» (ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель»)) еще в прошлом веке.

Ниже приведены некоторые свойства КА и КАВ, полученные соавторами данной публикации:

1. Удовлетворительная степень нейтрализации серной кислоты наступает при избытке известняка 50 %.

2. Для нейтрализации серной кислоты необходимо измельчать природный известняк до размеров гранул не более 0,125 мм.

3. Рекомендуемое время перемешивания серной кислоты с норильским известняком в лопастном смесителе составляет 6 мин.

4. Представленные результаты испытаний ангидрито-цементных закладочных смесей с заполнителем граншлаком (отход металлургических производств) подтверждают, что при использовании кальцитангидрита вместо природного ангидрита

<sup>2</sup> Федорчук Ю.М. Способ получения ангидритового вяжущего. Патент РФ № 2277515 от 10.06.2006 г.

<sup>3</sup> Замятин Н.В., Федорчук Ю.М., Матвиенко В.В., Смирнов Г.В., Нарыжский Д.В., Воронков Н.Н. и др. Дисембратор. Патент РФ № 2694313 от 11.08.2019 г.

<sup>4</sup> Федорчук Ю.М., Рыбин А.С., Данекер В.А., Леонова Л.А., Грицай С.И., Носова М.В. Установка для изготовления панелей ангидритовых отделочных. Патент РФ № 2812404 от 24.07.2023 г.

<sup>1</sup> Федорчук Ю.М., Цыганкова Т.С. Разработка способов снижения воздействия фтороводородных производств на окружающую среду : монография // Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). Томск : Изд-во ТПУ, 2010. URL: <https://expeducation.ru/ru/article/view?id=4531>

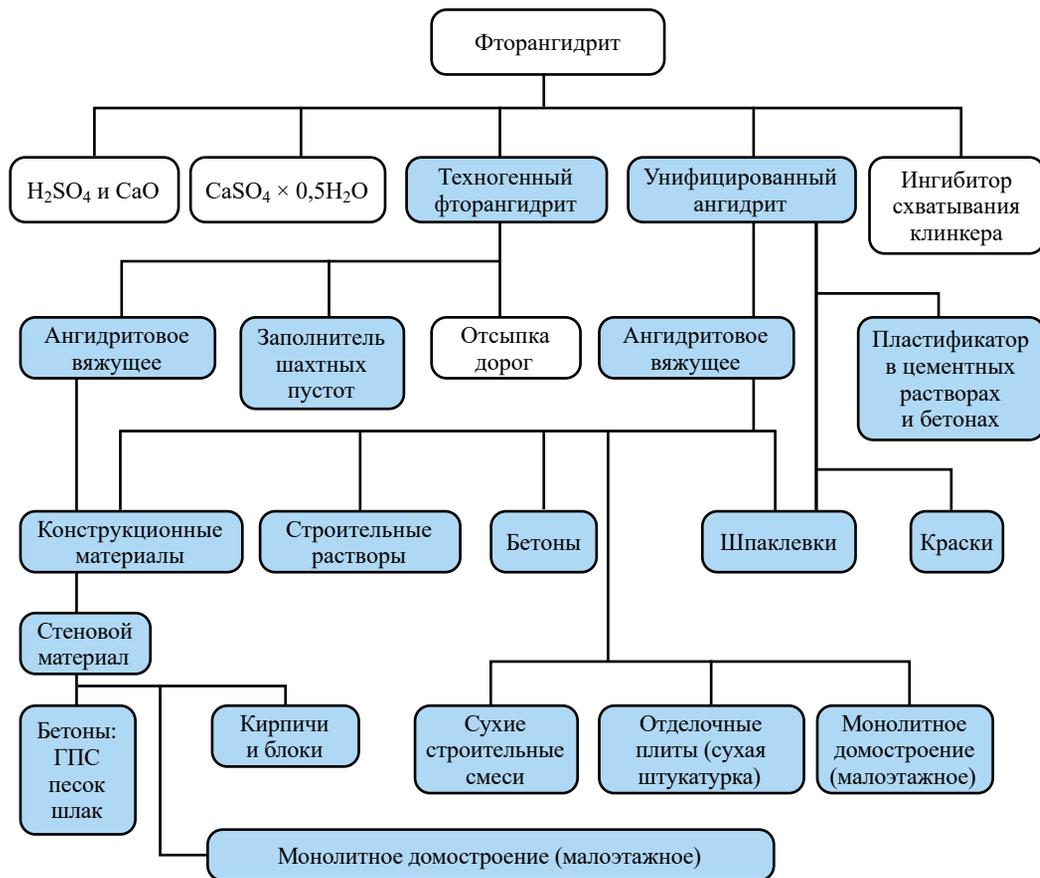


Рис. 1. Направления использования техногенного ангидрита

прочностные и реологические качества закладочных растворов значения 28-суточной прочности образцов практически совпадают.

Таким образом, техногенный ангидрит полностью заменяет природный ангидрит в шахтных закладочных растворах.

Согласно сообщениям средств массовой информации (СМИ), общее количество выбрасываемых серосодержащих газов в Норильском регионе составляет от 600 до 800 тыс. т в год, или в пересчете на элементную серу — (300–400) тыс. т в год. Расчеты показывают, для обеспечения полной замены природного ангидрита в закладочных растворах будет утилизировано 700 000 т серосодержащих уловленных газов. Чтобы утилизировать все количество поступающих в атмосферу серосодержащих газов, это около 800 000 т в год, или для исключения выбросов серосодержащих газов в атмосферу требуется 100 000 т этих газов превратить в высокоэффективную продукцию, пригодную к реализации. Такой продукцией, на взгляд авторов, могут быть строительные изделия ГВЛ (гипсоволокнистые листы), названные авторами листами ПАНО (панели ангидритовые отделочные)<sup>4</sup>.

В настоящее время в г. Северске Томской области образуется около 15 000 т в год таких отходов.

Расчетная рентабельность использования сульфат-кальциевых отходов будет составлять около 100 %.

Такие же отходы ежегодно образуются и накапливаются на отвальном поле в г. Перми на предприятии АО «Галополимер» только уже в количестве 70 000 т ежегодно, используется около 10 000 т в год.

Поэтому авторы предлагают тиражировать технологию получения техногенного ангидритового вяжущего и ресурсосберегающие технологии в строительной промышленности на основе нового вяжущего, пока не используемого в промышленности, в виде композитов типа сухих строительных смесей для штукатурных растворов, половых стяжек и изделий типа ангидрито-шлаковых блоков, каркасно-монолитных модулей помещений, листов сухой штукатурки, получивших наименование листы ГВЛ (гипсоволокнистые листы сухой штукатурки), и др.<sup>2</sup> [4].

В лабораторных условиях в ТПУ апробирована ресурсосберегающая технология получения листов ПАНО, которые будут являться импортозамещающей продукцией в строительной промышленности листов немецкой фирмы «Knauf» типа ГВЛ. Эта технология по грубым подсчетам будет обладать рентабельностью выше 200 %.

Из СМИ стало известно о планах ПАО «ГМК «НорильскНикель» улавливать серосодержащие

газы заводов по получению никеля и меди в виде гипса и складировать в виде твердых отходов.

Авторы предлагают улавливать серосодержащие газы в виде безводного сульфата кальция (техногенный ангидрит) с последующим использованием его частично для применения в закладочных шахтных растворах (около 1,7 млн т в год), а остальное количество (более 0,5 млн т в год) техногенного ангидритового вяжущего использовать для получения листов ПАНО (около 12 млн листов в год) в г. Норильске, эти строительные изделия будут рентабельны и в г. Красноярске, куда в летний период их можно транспортировать по р. Енисей.

В Томском политехническом университете была предложена и испытана в лабораторных масштабах технология получения кальцитоангидрита (продукт химического взаимодействия кальцита (карбоната кальция) с серной кислотой, полученной из уловленных серосодержащих газов металлургического процесса выплавки меди на предприятии Норникель). Полученный кальцитоангидрит — безводный сульфат кальция, обладающий вяжущими свойствами, предназначался для получения шахтных закладочных растворов и заполнения шахтных пустот после выработки медной и никелевой руды. Экспертные испытания шахтного закладочного раствора на основе кальцитоангидрита в лаборатории шахты Тайлахской (г. Норильск) в 2011 г. показали положительные результаты с экономией 10 % цемента марки 400 или экономией 10 % природного ангидрита, используемого в качестве вяжущего в указанных растворах<sup>4</sup>.

За счет утилизации серосодержащих газов металлургических заводов (на примере ЗФ ПАО «ГМК «Норникель» — это заводы по выплавке меди и никеля) будет осуществляться решение сразу 4 экологических проблем: уменьшение загрязнения атмосферы кислыми газами, заполнение шахтных пустот техногенным кальцитоангидритовым материалом, снижение затрат на шахтные растворы за счет экономии цемента или природного ангидрита или того и другого компонентов, и получение экономически эффективной ресурсосберегающей строительной импортозамещающей продукции — листов ПАНО<sup>4</sup>. При годовой программе использования шахтных растворов в количестве 2,4 млн м<sup>3</sup> в Норильске экономия цемента составит 12 тыс. т или ориентировочно около 100 млн руб. в год (в ценах 2011 г.). На примере этого же предприятия существует возможность параллельно шахтным закладочным растворам получать высокоэффективную (коэффициент рентабельности выше 200 %) импортозамещающую продукцию в строительной промышленности в виде листов сухой штукатурки (ПАНО), аналог листам ГВЛ немецкой фирмы «Кнауф».

### Ожидаемая экономическая эффективность от внедрения результатов НИОКР (научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы)

В 2008 г. стоимость 1 листа ПАНО в Томске ориентировочно составляла 65–68 руб., а оптовая закупочная цена в магазинах со строительной продукцией (лист ГВЛ фирмы «Кнауф») равнялась (160/170) руб. за лист при розничной цене 280–320 руб. за лист. В конце 2021 г. розничная цена 1 листа ГВЛ «Кнауф» в Томске составляла 700 руб. Если считать коэффициент рентабельности в 2008 и 2021 гг. одинаковым на листы ГВЛ, тогда оптовая стоимость будет равняться  $700/(320/170) = 372$  руб. Экономическая эффективность 1 листа в Томске составит  $700 - 372 = 328$  руб.

Предположительно, экономический эффект от утилизации фторангидрита АО «СХК» (без учета экологического ущерба) составит около 130 млн руб./год, если весь фторангидрит (это около 15 000 т в год) направлять на получение листов ПАНО.

В Пермском регионе (по аналогии ежегодных выбросов на полигон промышленных отходов в количестве около 60 000 т фторангидрита) этот эффект будет составлять 480 млн руб. в год.

Из серосодержащих газов г. Норильска образуется 2,2 млн т кальцитоангидрита; 1,7 млн т будет уходить на собственные нужды Норникеля, т.е. для приготовления необходимого количества шахтных закладочных растворов, а из оставшихся 0,5 млн т можно получить около 12 млн листов ПАНО в год, в результате реализации которых будет получен следующий экономический эффект.

Технико-экономический расчет предполагаемой технологии переработки серной кислоты, получаемой из отходящих газов обжига сульфидного сырья ОАО ГМК «Норильский никель», с получением 2,213 млн т кальцитоангидрита.

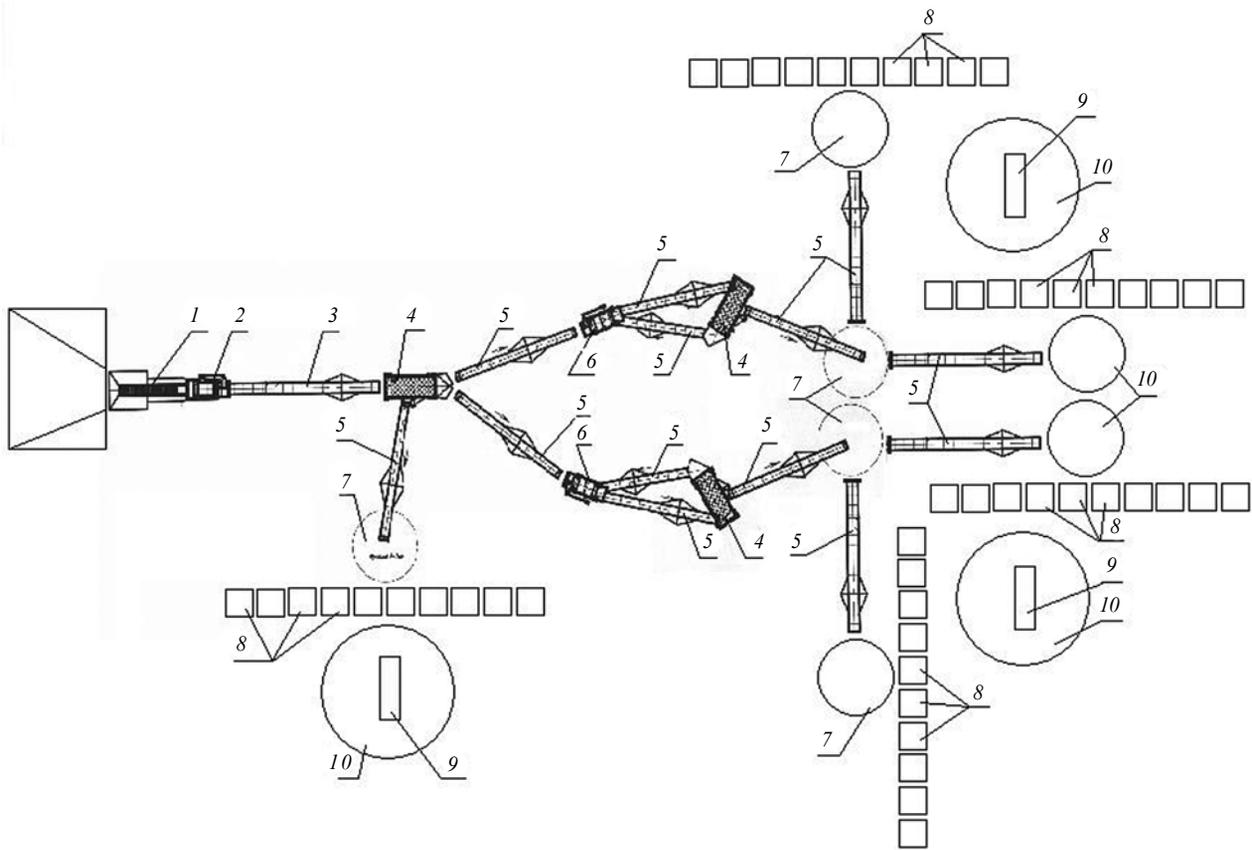
На основании лабораторных исследований получены следующие исходные данные для проектирования:

1. Известняк карьера «Скальный» (фракция менее 0,1 мм): 2 020 740 т в год.
2. Серная кислота 92,5 % масс.: 1 170 618 т в год.

В результате взаимодействия указанного количества исходных реагентов образуется кальцитоангидрит в количестве 2 212 707 т в год.

Предлагается следующая технологическая схема цеха измельчения (подготовки) известняка карьера «Скальный» (рис. 2)<sup>4</sup> [4].

Ниже приведен ориентировочный расчет стоимости оборудования цеха измельчения и классификации известняка для обеспечения обезвреживания всего количества выделяемых сернистых газов



**Рис. 2.** Технологическая схема цеха подготовки известняка карьера «Скальный»: 1 — питатель пластинчатый; 2 — дробилка молотковая СМ-1708 (135 м<sup>3</sup>/час); 3 — конвейер ленточный ( $B = 0,8$  м,  $L = 15$  м); 4 — грохот Гис-42 (180 м<sup>3</sup>/час); 5 — конвейер ленточный ( $B = 0,65$  м,  $L = 15$  м); 6 — дробилка молотковая ДРО-577 (100 м<sup>3</sup>/час); 7 — бункер для промежуточного продукта ( $V = 150$  м<sup>3</sup>); 8 — дисембратор (186 шт., 1,5 т/час); 9 — батарейные циклоны КПЗУ (4000 м<sup>3</sup>/час); 10 — бункер с готовой продукцией ( $V = 1000$  м<sup>3</sup>, гранулометрический состав — не более 100 мкм)

в металлургических производствах Норильского региона в ценах 2012 г.:

- питатель пластинчатый ДРО-604 — 1 800 000 руб.;
  - дробилка молотковая СМ-170В — 4 500 000 руб.;
  - дробилка молотковая ДРО-577 — 3500 · 2 — 7 000 000 руб.;
  - грохот Гис-42 — 750 · 3 — 2 370 000 руб.;
  - конвейер ленточный  $B = 0,8$  м,  $L = 15$  м — 1 шт. — 380 000 руб.;
  - конвейер ленточный  $B = 0,65$  м,  $L = 15$  м — 9 шт. — 3 150 000 руб.;
  - помещение оператора со шкафом управления — 450 000 руб.;
  - дисембратор Д-1500 — 186 шт. — 93 000 000 руб.;
  - бункер промежуточный  $V = 150$  м<sup>3</sup> — 7 шт. — 6 300 000 руб.;
  - бункер с кальцитоангидритом  $V = 1000$  м<sup>3</sup> — 3 шт. — 18 000 000 руб.;
  - циклоны батарейные КПЗУ — 3 комплекта — 750 000 руб.
- Итого: 137 700 000 руб.

Из 1 т кальцитоангидрита можно получать 40 листов ПАНО. Лист ПАНО весит 41 кг.

Себестоимость листа ПАНО в Норильске = 400–450 руб./шт.

Транспортные расходы по р. Енисей из Норильска в Красноярск 1 листа ПАНО = 160–200 руб.

Торговая наценка магазина — 20 %, т.е.  $(450 + 200) \cdot 1,2 = 780$  руб.

Стоимость 1 листа ГВЛ фирмы «Кнауф» 27.04.2022 г. в г. Красноярске = 875 руб.

Следовательно, экономический эффект =  $(875 - 780 \text{ руб.}) \cdot 12\,000\,000 \text{ шт.} = 1,14$  млрд руб. в год.

Ориентировочно потребность в листах ГВЛ составляла в 2010 г. в Томской области 10 листов на 1 жителя. В Красноярском крае население составляет 2,9 млн человек, ежегодно происходит рост объемов строительства примерно на 10 %, т.е. коэффициент равен 1,1, тогда потребность в листах ГВЛ на 2022 г. должна составить:

$$2022-2008 \text{ г.} = 14; 1,1^{14} = 4,177;$$

$$2,9 \cdot 10 \cdot 4,11 = 120 \text{ млн листов в год.}$$

Таким образом, в результате улавливания и утилизации серосодержащих газов металлургических

заводов ПАО «ГМК «Норильский никель», утилизации фторангидрита АО «СХК», АО «Галополимер» будет предотвращено загрязнение окружающей среды северных регионов Сибири и Урала и обеспечен Красноярский, Пермский край, Томская область и близлежащие регионы (Иркутская и Кемеровская области, Республика Хакассия, Алтайский край) импортозамещающей экономически эффективной строительной продукцией.

Помимо снижения загрязнения окружающей среды в Норильском, Пермском и Томском регионах и повторного использования серосодержащих отходов в ресурсосберегающих строительных технологиях общий экономический эффект составит:

- Норильский регион — 100 000 000 руб. (экономика цемента) + 1 140 000 000 руб. (утилизация серосодержащих отходов) = 2,24 млрд руб/год;
- Пермский регион — 60 000 (т/год)/0,041 т × × 328 руб/лист = 480 млн руб/год (утилизация серосодержащих отходов);
- Томский регион — 15 000 (т/год)/0,041 т × × 328 руб/лист = 120 млн руб/год (утилизация серосодержащих отходов).

Итого: 2240 млн руб/год + 480 млн руб/год + 120 млн руб/год = 2,84 млрд руб/год.

В настоящее время установлены факты данного проекта: достигнуты положительные результаты лабораторных, полупромышленных и опытно-промышленных испытаний получения техногенного ангидритового вяжущего (ТАВ) марки 100 (10,0 МПа — предел прочности сжатия образцов из фторангидрита после затворения водой и выдержки в процессе схватывания и твердения этих образцов на протяжении

28 суток согласно ГОСТ 18105–2018<sup>5</sup>); достигнуты положительные результаты лабораторных и полупромышленных испытаний получения техногенного ангидритового вяжущего той же марки 100 из кальцитоангидрита; достигнуты положительные результаты лабораторных (у исполнителей-соавторов данной информации) и экспертных (у сотрудников Талнахской химической лаборатории рудника «Талнахский») испытаний закладочных растворов с использованием кальцитоангидритового техногенного вяжущего (КАВ), проведены и получены положительные результаты в лабораторных масштабах изготовления в непрерывном исполнении листов ПАНО на основе ТАВ.

С целью исключения рисков утилизации серосодержащих отходов производства химической, металлургической, алюминиевой отраслей промышленности [2, 3] и получения высокоэффективной импортозамещающей серосодержащей строительной продукции, реализация которой будет способствовать предотвращению загрязнения окружающей среды и обеспечению биосферной совместимости человека в регионах с серосодержащими отходами [1] благодаря ресурсо- и энергосберегающим технологиям, необходимо выполнить проект полупромышленной, а после получения положительных результатов непрерывного процесса получения листов ПАНО — такую же работу осуществить в масштабе опытно-промышленных испытаний технологии получения вышеуказанной импортозамещающей строительной продукции.

<sup>5</sup> ГОСТ 18105–2018. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ильичев В.А., Емельянов С.Г. Инновационные технологии в строительстве городов // Биосферная совместимость и человеческий потенциал. Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2019. 308 с.
2. Рахимов Г.Б., Муртазаев Ф.И. Усовершенствование утилизации дымовых газов на установке получения серы (Шуртанский газохимический комплекс) // ИНТЕРНАУКА. 2020. № 43–1 (172). С. 60–62. EDN AUCHEC.
3. Abdurakhmanov A.G., Madiev R.M., Alikhonova Z.S., Nurullaev Sh.P., Ismailova N.A. Physical and chemical properties of purifying sulfur-containing gas emissions from production // Технологическая независимость и конкурентоспособность Союзного государства, стран СНГ, ЕАЭС и ШОС : сб. ст. VI Междунар. науч.-техн. конф. «Минские научные чтения–2023», Минск, 6–8 декабря 2023 г. : в 3 т. Минск : БГТУ, 2023. Т. 2. С. 155–161.
4. Fedorchuk J., Sadenova M., Rusina O.N. Automation of the technological process to produce building frame-monolithic modules based on fluoranhydrite // Journal of Physics: Conference Series. 2016. Vol. 671 (1). P. 012050. DOI: 10.1088/1742-6596/671/1/012050
5. Федорчук Ю.М., Похолков Ю.П., Цыганкова Т.С., Михеев В.Н. Способ утилизации и применения техногенного ангидрита, полученного из отходящих серосодержащих газов // Экология и промышленность России. 2012. № 7. С. 34–35. EDN PALLMP.

Об авторах: Ю.М. Федорчук, С.В. Бордунов, О.Н. Русина, Т.С. Цыганкова.

About the authors: Fedorchuk Yu.M., Bordunov S.V., Rusina O.N., Tsygankova T.S.

### 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 ( $\Omega$ ,  $\eta$ ,  $\beta$ ,  $\mu$ ,  $\omega$ ,  $\nu$  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.

Все материалы направлять по адресу: 241037, Россия, г. Брянск, проспект Станке Димитрова, 3. БГИТУ.  
Тел. (4832) 64-96-51.  
e-mail: biosfera\_swsu@mail.ru

Изменения и дополнения к правилам оформления статей и информацию об опубликованных номерах можно посмотреть на официальном сайте журнала: <https://www.swsu.ru/journal/page4.php>

Тип статьи  
УДК  
DOI:

## ЗАГОЛОВОК СТАТЬИ

**Имя Отчество Фамилия<sup>1</sup>, Имя Отчество Фамилия<sup>2</sup>...**

<sup>1</sup> Место работы первого автора полное и сокращенное; город, страна

<sup>2</sup> 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. Фамилия<sup>1</sup>, Имя О. Фамилия<sup>2</sup>... на английском языке**

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

<sup>2</sup> 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/fulltext/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](http://www.swsu.ru)  
E-mail: [swsu.ee@gmail.com](mailto: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](http://www.bgita.ru)  
E-mail: [mail@bgita.ru](mailto: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](mailto: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](http://www.mgsu.ru)  
E-mail: [kanz@mgsu.ru](mailto: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](http://www.cniipminstroy.ru)  
E-mail: [info@cniipminstroy.ru](mailto: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](http://www.mgsu.ru)  
E-mail: [journals@mgsu.ru](mailto:journals@mgsu.ru)

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

*Выпускающий редактор:* Анна Александровна Дядичева  
*Редактор:* Людмила Борисовна Корзухина  
*Корректор:* Оксана Валерьевна Ермихина  
*Дизайн и верстка:* Юлия Зиновьевна Алейникова

Подписано в печать 25.12.24  
Формат 60×84 1/8. Печ.л. 11,74  
Тираж 1000 экз.  
Заказ № 47.

Отпечатано с готового оригинал-макета