

ISSN 0869-6071

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
РУССКОЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО



ИЗВЕСТИЯ РУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

Специальный выпуск

КАЧЕСТВО ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ:
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Том 157, номер 2
апрель — июнь
2025



НАУКА

— 1727 —

СОДЕРЖАНИЕ

Том 157, номер 2, 2025

Специальный выпуск
«Качество городской среды: экологические
и экономические перспективы развития»

Производственные специализации как фактор демографического и социального развития средних городов России <i>А.И. Гатауллина, Е.Э. Колчинская, Л.Э. Лимонов</i>	149
Освоение подземного пространства как способ оптимизации городской территории (на примере г. Казани) <i>В.А. Федорова, Г.Р. Сафина</i>	176
Плотность населения жилой застройки районов Санкт-Петербурга как индикатор качества городской среды <i>Т.А. Андреева, Ю.В. Дворников, С.Д. Полякова</i>	192
Ландшафтная оценка рекреационно-оздоровительного кластера “Шарташский лесной парк” <i>О.Ю. Гурьевских, Н.В. Скок</i>	204
Экспериментальные исследования и моделирование дождевых паводков на урбанизированных территориях Московской агломерации (на примере р. Сетуни) <i>И.С. Денисова, М.В. Болгов</i>	224

CONTENT

Volume 157, No. 2, 2025

Special Issue
*«Quality of the urban environment:
ecological and economic development prospects»*

Production Specializations as a Factor in the Demographic and Social Development of Medium-Sized Cities in Russia

A.I. Gataullina, E.E. Kolchinskaya, L.E. Limonov 149

The Development of Underground Space as a Way to Optimize Urban Territory: A Case Study of the City of Kazan, Russia

V.A. Fedorova, G.R. Safina 176

Population Density of Residential Areas of St. Petersburg as an Indicator of the Urban Environment Quality

T.A. Andreeva, Yu.V. Dvornikov, S.D. Poliakova 192

Landscape Assessment of the Recreational and Health Cluster “Shartash Forest Park”

O.Yu. Gurevskikh, N.V. Skok 204

Experimental Research and Modeling of Rain Floods in Urbanized Territories of the Moscow Region (on the Example of the Setun River)

I.S. Denisov, M.V. Bolgov 224

УДК 332.12

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ КАК ФАКТОР ДЕМОГРАФИЧЕСКОГО И СОЦИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ СРЕДНИХ ГОРОДОВ РОССИИ

© 2025 г. А.И. Гатауллина¹, Е.Э. Колчинская^{1, 2, *}, Л.Э. Лимонов^{1, 2}¹ НИУ “Высшая школа экономики”, Санкт-Петербург, Россия² МЦСЭИ “Леонтьевский центр”, Санкт-Петербург, Россия*E-mail: ekolchinskaya@hse.ru

Поступила в редакцию 22.11.2023 г.

После доработки 10.06.2025 г.

Принята к публикации 11.06.2025 г.

Статья посвящена изучению связи специализации средних городов России с отдельными социально-демографическими параметрами. Целью исследования является выявление наличия этой взаимосвязи и определение ее характеристик. В качестве объекта выбрана однородная по численности жителей группа средних городов России (от 50 до 100 тыс. человек), что позволило минимизировать искажение результатов из-за влияния на изучаемые показатели факторов, обусловленных размером поселения. Данные для проведения расчетов были взяты из базы муниципальной статистики Росстата. Были рассчитаны коэффициенты локализации по 18 видам экономической деятельности в городах, на основании этих расчетов города выборки распределены на группы специализации и для каждой группы эконометрическими методами определено влияние степени специализации на отдельные социально-демографические показатели этих городов. Результатом исследования стали выводы о том, что наименьшая зависимость этих показателей от степени специализированности присутствует у городов с обрабатывающими производствами, а наиболее зависимыми от степени отраслевой специализированности являются показатели естественного прироста населения и числа мест в организациях дошкольного образования.

Ключевые слова: средние города России, коэффициент локализации, социально-демографические параметры развития города, специализация экономики города, пространственная неравномерность развития городов

DOI: 10.31857/S0869607125020019, EDN: KXDMTV

Введение

Неравномерность развития территорий России обусловлена многими факторами: большим количеством регионов, мультикультурностью, различиями в природных и климатических условиях, историческим развитием, экономическими и социальными аспектами. С точки зрения социального государства (см. статью 7 Конституции РФ), неравенство социально-бытовых условий проживания в различных населенных пунктах является проблемой, требующей проведения активной государственной политики. Не только конституционные социальные обязательства, но и необходимость достижения политического единства на большой территории [29] является важной причиной стремления к выравниваю социальных условий.

Хотя полностью ликвидировать неравенство невозможно, выявление причин, обуславливающих эту проблему, полезно для формирования концепций и инструментария проведения соответствующей государственной политики.

Важность исследования проблемы неравномерности социально-экономического развития территории России признается как учеными, так и органами власти. В монографии ИЭОПП СО РАН [15] утверждается, что эта тема начала разрабатываться в СССР еще в 1964 году географами, однако широкого распространения тогда не получила. Анализ существующих исследований в области неравномерности территориального развития России позволяет выявить несколько ключевых направлений, которые уже были рассмотрены отечественными исследователями. Работы по этому вопросу можно условно разделить на несколько групп: исследования, посвященные этническому и культурному разнообразию [5, 18, 20, 21], а также демографическим [3, 16, 19] аспектам.

Также важной темой является исследование пространственного развития России в целом как государства, расположенного на огромной территории с существенными географическими различиями [8, 24, 25, 30]. Это развитие было неоднородным на протяжении всей истории нашей страны [1, 23], и актуальность темы сохранилась и по сей день и рассматривается органами государственной власти при реализации стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года¹. Исследователями подчеркивается также важность нахождения оптимального баланса между разнообразием и стремлением к созданию равных условий для развития разных территорий.

В современных научных работах исследуется зависимость различных аспектов жизнедеятельности населения — включая экономические факторы [19], эффективность системы здравоохранения [39], уровень бедности [11], потенциал модернизации экономики и социально-экономическое развитие [34] — от территории расположения и специфики ее экономической структуры.

Подобные исследования актуальны не только для России, и важно сравнивать ее с другими странами, имеющими разнообразие в территориальном и социальном развитии. Например, исследования этнического неравенства [32] и культурного многообразия в Европе [38] предоставляют ценные данные для понимания того, как культурные и социальные различия могут быть учтены в политике стран с мультинациональным населением. Также исследуется влияние многообразия рынка труда на социальное развитие [37]. Отдельно рассматриваются проблемы пространственного развития стран бывшего СССР [10]. В ряде работ освещаются и теоретические вопросы неравенства [35].

Для развития экономики страны ей следует способствовать концентрации хозяйственной активности в городах, поскольку, по общепринятому мнению, они являются благоприятной средой для развития экономики. Само деление поселений на городские и сельские уже обуславливает неравенство, но этот процесс неизбежен, так как значительное число людей самостоятельно выбирает это разделение, стремясь к наилучшим условиям и возможностям жизни, которые может предоставить городская агломерация [2].

¹ Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 февраля 2019 г. № 207-р. <http://www.consultant.ru/law/hotdocs/56857.html/> (дата обращения 10.11.2023).

В современных исследованиях анализируется важность промышленных поселений как центров экономической активности [6, 7], особенности формирования системы российских городов [5], их роль в пространственном развитии страны [17]. Сами по себе города отличаются от сельских поселений, но в то же время имеют и отличия внутри своей группы и даже подгрупп, выделенных по размеру городов [36].

На основании изучения описанной литературы мы пришли к выводу о важности исследования и неполной изученности проблемы разнообразия городов. При этом мы считаем, что города необходимо рассматривать отдельно от других муниципальных образований, т.к. это позволит минимизировать различия, которые между этими образованиями есть, а также учитывать неоднородность городов по их размеру.

В частности, недостаточно освещена в отечественной литературе тема различий социально-демографического развития городов на основании различий в их специализации. Само по себе различие в специализации муниципальных образований рассматривается исследователями (см., например, [26]), однако без привязки к социально-демографическим факторам.

Поэтому было решено провести исследование связи специализации городов России с их социально-экономическим развитием по данным средних городов России (с численностью населения от 50 до 100 тыс. человек). Выбор этой группы из всей совокупности городов России был сделан по нескольким причинам.

Во-первых, выборка должна быть достаточно однородной по численности населения, потому что города меньшего размера в среднем могут быть уже специализированы, чем более крупные. Чем крупнее город, тем более он склонен к диверсификации экономики вследствие того, что для каждого вида экономической деятельности существуют оптимальные масштабы производства, превышать которые экономически не целесообразно. Поэтому с ростом численности населения города в нем происходит создание предприятий в новых для данного поселения сферах деятельности. Соответственно, для сравнения необходимо отбирать схожие по размеру города.

Во-вторых, выбранная группа городов достаточно большая (150 городов) по сравнению с большими, крупными и крупнейшими городами. Численность малых городов выше, однако сбор информации о них сильно затруднен вследствие несовершенств использовавшейся базы данных муниципальных образований Росстата (см. далее). Это преимущество ослабляет то, что не по всем 150 городам имеются нужные данные (см. раздел “Методика и данные”). Однако все равно группа, для которой проведение оценки возможно, составляет 98 городов, что достаточно много, поэтому было решено выбрать для исследования группу средних городов, а в дальнейшем расширить применение данного подхода на другие города России.

Методика и данные

Специализация городов определялась на основании значений коэффициента локализации, рассчитанного по данным за период с 2017 по 2021 гг. Доля отрасли определялась по показателю среднесписочной численности работников организаций по 18 разделам классификатора ОКВЭД, по которым имеются данные в Росстате.

Коэффициенты локализации (1) были посчитаны отдельно по каждому году, потом из полученных значений высчитывалось среднее арифметическое за все пять лет. Пятилетний период времени был взят для того, чтобы избежать погрешностей вследствие случайных изменений численности занятых, например, вызванных

сдвигом административных границ города. В рассматриваемый период времени два года приходится на пандемию, однако анализ значений коэффициентов за отдельные годы не выявил массовых изменений структуры распределения занятых по видам экономической деятельности, которые можно было бы объяснить влиянием пандемии.

$$LQ_{ir} = (z_i/z)/(Z_i/Z), \quad (1)$$

где LQ_{ir} — коэффициент локализации i -ой отрасли, z_i — количество сотрудников i -ой отрасли в городе, z — общее количество сотрудников в городе, Z_i — количество сотрудников i -ой отрасли в регионе/стране, Z — общее количество сотрудников в регионе/стране.

В качестве знаменателя коэффициента локализации использовались два варианта: данные по РФ в целом и данные по региону расположения рассматриваемого города. Выводы о специализации города делались на основании сравнения с РФ, коэффициент локализации по региону использовался для дополнительных выводов. Сравнение с РФ позволяет точнее определить уникальную для страны специализацию города, что особенно важно в случае исследования городов по всей России, а не по отдельным регионам.

Всего на начало 2021 г. в России было 150 средних городов, располагающихся в 54 регионах России. Источником информации для расчетов и анализа стала база данных Росстата “Показатели муниципальных образований”². Полноценных альтернатив этому ресурсу найти не удалось. Сборник Росстата о городах России содержит данные только о городах с численностью жителей свыше 100 тыс. человек и по ограниченному перечню показателей.

Часть рассматриваемых городов имеет форму муниципального образования “городской округ”, и по ним есть данные о среднесписочной занятости по видам экономической деятельности. Исключение составляют города, имеющие статус закрытого административно-территориального образования (Железногорск и Зеленогорск в Красноярском крае, Саров в Нижегородской области, Новоуральский в Свердловской области и Озёрск со Снежинском в Челябинской области). По ним данные в базе не представлены.

Подробные результаты расчетов по каждому городу были опубликованы в нашей монографии [28]. В рамках данной статьи мы используем полученные ранее результаты для сопоставления их с показателями социально-экономического развития городов. По городам, имеющим статус городского поселения, среднесписочная численность занятых дана только в агрегированном по всему муниципальному району виде. Наибольшая концентрация таких городов имеется в южной части России (Южном и Северо-Кавказском федеральных округах). Рассматривать муниципальные районы вместе с городскими округами не кажется целесообразным для нашего исследования. Во-первых, муниципальные районы, в которые входят разные городские поселения и другие населенные пункты, не всегда соответствуют выбранному диапазону численности жителей. Во-вторых, социальная инфраструктура в них разнородная вследствие отличий в структуре поселений, поэтому вычленив отличия, обусловленные специализацией, будет сложнее.

² URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/ykmb3eKg/munst.htm>

Пространственное размещение средних городов России логичным образом отражает распространение экономической активности по территории страны, значительная часть которой малонаселена. Только четыре северных города страны относятся к исследуемой категории: Североморск, Апатиты, Воркута, Салехард. В северной части России есть более крупные города, являющиеся районными центрами, и более мелкие.

Пространственное распределение изучаемых городов выглядит достаточно равномерным: везде присутствуют города различных специализаций, ни одна территория не выглядит как скопление однотипно специализированных городов (см. рис. 1). Это соответствует общей логике пространственного распределения экономической активности.

Анализ полученных результатов расчетов показал, что в выборке отсутствуют города, у которых нет ни одного вида экономической деятельности со значением коэффициента локализации по РФ не ниже двух, что означает, что каждый из рассматриваемых городов специализируется хотя бы в одном виде экономической деятельности. У многих городов имеется специализация по двум (56 городов) и даже по трем (70 городов) видам деятельности. Это объясняется тем, о чем уже было сказано выше: чем меньше населенный пункт, тем более узкую специализацию он должен иметь, при прочих равных условиях. Есть города, у которых больше четверти экономической активности относится к одному виду деятельности.



Рис. 1. Карта расположения средних городов России с указанием их специализации.

Fig. 1. Map of the location of medium-sized cities in Russia indicating their specialization.

Больше всего (а именно 58) городов рассмотренной группы специализируются в промышленности (разделы В, С, D, E), при этом самые высокие значения показателей — в добывающей отрасли (см. рис. 1). Абсолютным лидером по значению $LQ_{РФ}$ (коэффициента локализации на основании сравнения с РФ) среди добывающих

городов является г. Губкин с показателем 26.4, расположенный в месте Курской магнитной аномалии и специализирующийся в добыче железорудного сырья.

Вместе с тем по семи городам выборки происходили изменения специализации (см. табл. 1), которые требуют комментариев. Для выяснения причин изменений для этих городов был проведен анализ структурных сдвигов [27]. Результаты анализа показали, что в Ступино, Новокуйбышевске и Тобольске “выбросы” связаны с региональными факторами: в первом случае — с изменением границ округа, во втором — с началом масштабныхстроек, а в третьем — с их окончанием. В Шадринске помимо региональных факторов значим отраслевой сдвиг в электроэнергетике. В Прохладном, Бору и Нягани выявленные изменения произошли из-за закрытия или реструктуризации отдельных предприятий.

Таблица 1. Данные о городах выборки, по которым менялось значение специализации в отдельные годы рассматриваемого периода (с 2017 по 2021 гг.). Рассчитано по данным Росстата

Table 1. Data on sample cities for which the value of specialization changed in individual years of the period under review (from 2017 to 2021). Calculated according to Rosstat data

Название города	Название вида экономической деятельности ($LQ_{\text{РФ}}^3$), на котором город специализируется	
	В среднем за 2017–2021 гг.	“Выброс” за определенный год
Ступино (Московская обл.)	Обраб. пр-ва (2.35)	Деятельность админ. и сопутствующие доп. услуги (до 3.3) в 2020–2021 гг.
Прохладный (Кабардино-Балкарская респ.)	Деят-ть в обл. здравооохр. и соц. услуг (1.97)	Обраб. пр-ва (1.98) в 2017 г. и Водоснабжение; ... (2.02) в 2018 г.
Бор (Нижегородская обл.)	Обраб. пр-ва (2.11)	Сельское, лесное хозяйство, ... (2.42) в 2017 г. и Водоснабжение; ... (2.45) в 2018 г.
Новокуйбышевск (Самарская обл.)	Обраб. пр-ва (2.15)	Строительство (до 2.49) в 2020–2021 гг., Деятельность админ. и сопутствующие доп. услуги (до 2.99) в 2018–2019 гг.
Шадринск (Курганская обл.)	Деят-ть в обл. здравооохр. и соц. услуг (1.75)	Обраб. пр-ва (1.87) в 2021 г. Обеспечение эл. эн., ... (1.82) в 2020 г.
Тобольск (Тюменская обл.)	Строительство (3.45)	Транспортировка и хранение (до 2.24) в 2020–2021 гг.
Нягань (Ханты-Мансийский АО)	Доб. пол. иск. (6.58)	Обеспечение эл. эн., ... (3.44)

Таким образом, можно заключить, что все выявленные “выбросы” носят случайный характер, т.е. в каждом конкретном случае есть своя внутренняя причина. Поэтому всех их нельзя обобщить и выявить определенную закономерность, и можно сказать, что средним городам в целом за рассмотренный период времени была присуща стабильность в специализации.

³ $LQ_{\text{РФ}}$ — доля занятых в отрасли города к соответствующей доле по РФ.

Данные для оценки социально-экономического развития городов были взяты из той же базы Росстата “Показатели муниципальных образований”. Среди имеющихся там показателей к интересующим нас характеристиками можно отнести: оценку численности населения на 1 января текущего года; естественный прирост (убыль), чел.; миграционный прирост, чел.; общую площадь жилых помещений, тыс. кв. м.; число мест в организациях, осуществляющих образовательную деятельность по образовательным программам дошкольного образования, присмотр и уход за детьми (далее — число мест в образовательных организациях); число лечебно-профилактических организаций (ЛПО).

Как и для расчета специализаций, данные о социальном развитии были собраны за 2017–2021 гг, и посчитаны усредненные значения за этот период. По отдельным городам данные имелись не за весь рассматриваемый период. В этих случаях среднее значение рассчитано по имеющимся данным. По Сосновому Бору и Михайловке данные отсутствуют по образовательной деятельности, а по Когалыму нет данных по числу ЛПО.

Рассчитанные коэффициенты локализации сопоставлялись с собранными социально-демографическими показателями (оценкой численности населения на 1 января текущего года; естественным приростом (убылью); миграционным приростом (убылью); общей площадью жилых помещений на 1 жителя; числом мест в организациях, осуществляющих образовательную деятельность по образовательным программам дошкольного образования, присмотр и уход за детьми; числом лечебно-профилактических организаций). Поскольку выборка городов закономерно небольшая, опираться исключительно на эконометрические методы неправильно. Полученные с помощью регрессионного и корреляционного анализа результаты не могут признаваться статистической закономерностью.

Вместе с тем один лишь визуальный анализ полученных соотношений не позволяет разглядеть те закономерности, которые есть, т.к. данных достаточно много. Поэтому для выводов были использованы различные подходы взаимного анализа данных: были построены графики, наглядно иллюстрирующие зависимость между отдельными социально-демографическими показателями и коэффициентами локализации, и рассчитаны коэффициенты парной регрессии и корреляции.

Как было сказано выше, некоторые города имеют высокие значения коэффициентов локализации не по одному виду экономической деятельности, поэтому каждый из таких городов был добавлен в группы 2–3 специализаций.

Результаты и обсуждение

Абсолютное значение $LQ_{\text{РФ}}$ по всем городам слабо коррелирует с показателями социально-экономического развития (см. табл. 2). В целом положительная статистическая связь есть только у общей площади жилых помещений с миграционным приростом и числом мест в образовательных организациях, что не относится к исследуемой нами проблематике.

Для оценки взаимосвязи показателей с учетом не только абсолютного максимального значения коэффициента локализации, но и того, по какому виду деятельности получают такие значения, были построены графики по каждому показателю.

На рис. 2–6 на левом графике отображены все рассматриваемые отрасли, справа — без добывающей промышленности, строительства, торговли, деятельности гостиниц и предприятий общественного питания, деятельности профессиональной,

Таблица 2. Парная корреляция между показателями $LQ_{рф}$ и социально-экономического развития

Table 2. Paired correlation between indicators of localization coefficient and socio-economic development

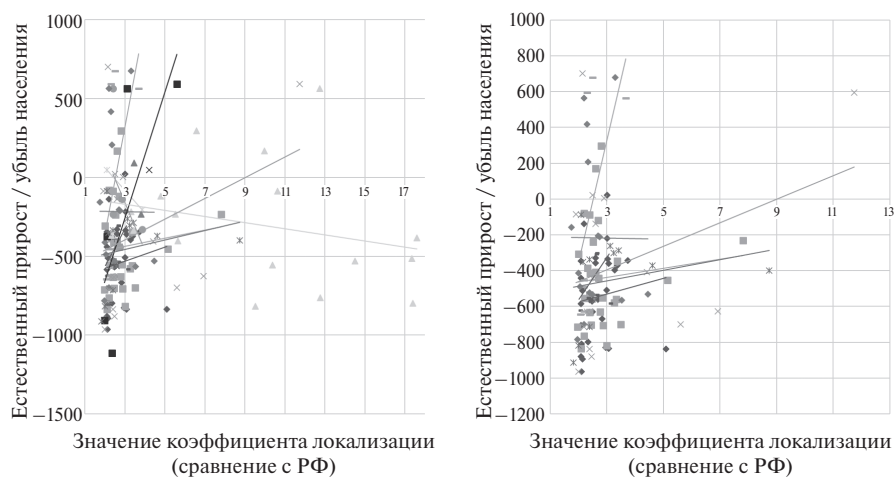
Показатели	$LQ_{рф}$	Естеств. прирост (убыль)	Миграц. прирост (убыль)	Общ. площ. жил. помещ.	Число мест в образоват. организ.
Естеств. прирост (убыль)	−0.1	—	—	—	—
Миграц. прирост (убыль)	−0.1	0.3	—	—	—
Общ. площ. жил. помещ.	0.0	0.1	0.5	—	—
Число мест в образоват. организ.	−0.1	0.1	0.2	0.6	—
Число ЛПО	0.2	−0.1	0.1	0.2	0.2

научной и технической, деятельности административной и сопутствующих дополнительных услуг.

По добывающей промышленности очень большие значения коэффициентов (до 18, см. рис. 2, слева) локализации, из-за чего на диаграмме плохо видны остальные виды деятельности. По другим пяти отраслям имеется, соответственно, меньше семи городов, в них специализирующихся, поэтому эконометрические расчеты по ним бессмысленны и не проводились.

Для пяти видов деятельности из семи рассматриваемых вектор значений естественного прироста населения однонаправлен с вектором значений коэффициента локализации (см. рис. 2), однако сила связи является небольшой, кроме городов, специализирующихся на образовании. Эту тенденцию подтверждает также регрессионный анализ (см. табл. 3). Учитывая, что 4 из 7 городов этой группы имеют естественную убыль, можно сказать, что большая специализированность в образовании для города соседствует с меньшей убылью населения по естественным причинам. Такая тенденция кажется закономерной и скорее всего свидетельствует об обратной зависимости — в городах с высокой рождаемостью больше образовательных учреждений. Учитывая, что города с положительным приростом Сунжа (Республика Ингушетия), Буйнакск и Избербаш (Республика Дагестан) находятся в регионах с традиционно высокой рождаемостью населения, естественный прирост численности населения обеспечивает именно она.

Самая высокая значимость у коэффициента парной регрессии при показателе естественного прироста — у группы городов, специализирующихся на здравоохранении, и само значение этого коэффициента достаточно велико (см. табл. 3). Тенденция кажется логичной: чем большая доля людей занята в здравоохранении, тем выше показатели естественного прироста, т.к. большее число врачей косвенным образом свидетельствует о большем объеме финансирования этой отрасли в данном городе в сравнении с другими рассматриваемыми городами. Представляется закономерным, что лучшие условия в здравоохранении должны способствовать снижению смертности. Однако среди городов этой группы большинство имеют естественную убыль, поэтому можно говорить о тенденциях только внутри данной группы, но не о закономерности для показателя доли занятых в сфере здравоохранения. Кроме того, есть взаимосвязь этих двух групп (специализирующихся в образовании и здравоохранении), т.к. некоторые города имеют высокие значения $LQ_{рф}$ по обоим



- ◆ Раздел С. Обрабатывающие производства
- Раздел D. Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха
- ▲ Раздел F. Строительство
- × Раздел G. Торговля оптовая и розничная; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов
- ※ Раздел I. Деятельность гостиниц и предприятий общественного питания
- Раздел M. Деятельность профессиональная, научная и техническая
- + Раздел N. Деятельность административная и сопутствующие дополнительные услуги
- Раздел O. Государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное обеспечение
- Раздел P. Образование
- ◆ Раздел Q. Деятельность в области здравоохранения и социальных услуг
- Раздел R. Деятельность в области культуры, спорта; организация досуга и развлечений
- ▲ Раздел В. Добыча полезных ископаемых
- × Раздел E. Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизация отходов; деятельность по ликвидации загрязнений
- ※ Раздел H. Транспортировка и хранение

Рис. 2. Соотношение значений показателей LQ_{RP} по отрасли специализации и естественного прироста (убыли) населения.

Fig. 2. Correlation between the values of the localization coefficient indicators for the industry of specialization and the natural increase (decrease) of the population.

видам деятельности: Буйнакск, Избербаш, Горно-Алтайск и Минусинск. Поскольку таких пересечений всего четыре, то только этим нельзя объяснить схожесть статистических результатов.

Для добывающих городов тенденция, судя по графику, отрицательная: чем более специализирован город, тем сильнее он склонен к естественной убыли населения, но масштабы этой убыли сопоставимы с городами других групп и, согласно данным парной регрессии, эта зависимость не значима статистически. Среди добывающих есть города как с высоким приростом, так и с высокой убылью населения.

Большинство рассматриваемых средних городов в целом имеет естественную убыль, и среди немногих прирастающих городов есть представители шести

специализаций. Самыми растущими являются Наро-Фоминск (+702 человека), Сунжа (593 человек), Избербаш (+563 человек). Самыми убывающими по естественным причинам являются Бор (−962) и Клин (−879).

Таблица 3. Зависимость значений коэффициентов парной регрессии различных социальных показателей от значения $LQ_{\text{рф}}$

Table 3. Correlation between the values of paired regression coefficients of various social indicators and the value of the localization coefficient

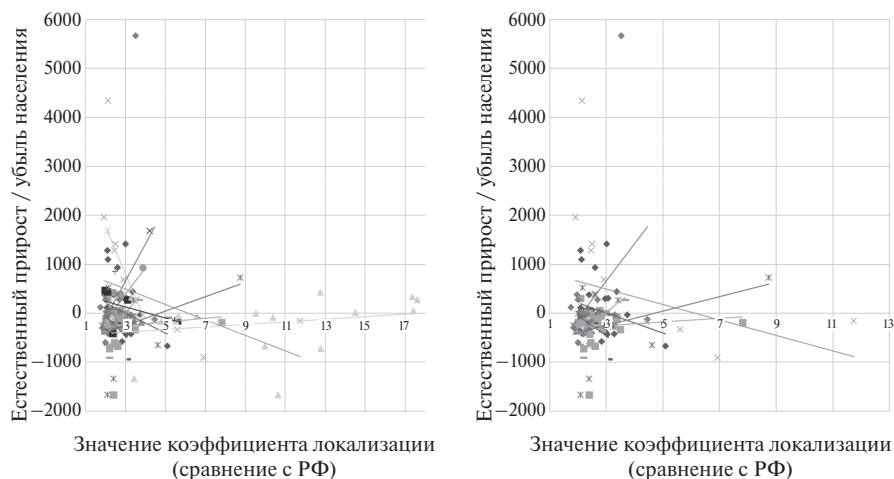
Показ./Отрасль (раздел ОКВЭД)	Естеств. прирост (убыль)	Миграц. прирост (убыль)	Лог. ⁴ от общ. пл. жил. помещ., кв. м на 1 жителя	Лог. ⁵ от ч. мест в организ., дошк. образ.	Лог. от ч. лечебно- проф. organiz.
Раздел В: добыча полезных ископаемых	−14 (9)	40 (24)	0 (0)	−0.01** (0.00)	0.06 ** (0.02)
Раздел С: обрабатывающие производства	183* (96)	−219 (137)	−1.7 (1.8)	0 (1.3)	−1.3 (5.2)
Раздел D: обеспечение электрической энергии	33 (28)	39 (37)	−0.8** (0.3)	−5.2* (2.8)	−0.1 (0.1)
Раздел Е: водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизация отхода, деятельность по ликвидации загрязнений	14 (60)	−222* (110)	−0.09 (0.04)**	−0.08** (0.04)	−0.2*** (0.1)
Раздел Н: транспортировка и хранение	3 (22)	164** (57)	0.02 (0.01)*	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Раздел О: государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное обеспечение	367** (121)	−101 (338)	−0.1 (0.1)	0.2** (0.1)	−0.6 (0.9)
Раздел Р: образование	682** (196)	376*** (90)	−0.2 (0.2)	−0.3 (0.1)	−1.5** (0.4)
Раздел Q: деятельность в области здравоохранения и социальных услуг	436*** (126)	378 (425)	11* (6)	−0.02 (0.2)	0.5 (0.6)

Примечание. * — коэффициент значим на 10%-ном уровне; ** — коэффициент значим на 5%-ном уровне; *** — коэффициент значим на 1%-ном уровне.

Тренды миграционного прироста населения по большей части похожи на предыдущий показатель (см. рис. 3), но принципиально отличается добывающая промышленность: с ростом специализированности отток населения сокращается. Однако и в этом случае коэффициент при регрессоре по данной отрасли незначим

⁴ Для раздела D используется линейное значение.

⁵ Для раздела D используется линейное значение.



- ◆ Раздел С. Обрабатывающие производства
- Раздел D. Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха
- ▲ Раздел F. Строительство
- × Раздел G. Торговля оптовая и розничная; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов
- × Раздел I. Деятельность гостиниц и предприятий общественного питания
- Раздел M. Деятельность профессиональная, научная и техническая
- + Раздел N. Деятельность административная и сопутствующие дополнительные услуги
- Раздел O. Государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное обеспечение
- Раздел P. Образование
- ◆ Раздел Q. Деятельность в области здравоохранения и социальных услуг
- Раздел R. Деятельность в области культуры, спорта; организация досуга и развлечений
- ▲ Раздел В. Добыча полезных ископаемых
- × Раздел E. Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизация отходов; деятельность по ликвидации загрязнений
- × Раздел H. Транспортировка и хранение

Рис. 3. Соотношение значений показателей LQ_{RP} по отрасли специализации и миграционного прироста (убыли) населения.

Fig. 3. Correlation between the values of the localization coefficient indicators for the industry of specialization and the migration increase (decrease) of the population.

статистически (см. табл. 3). Значимыми и довольно большими положительными являются коэффициенты при регрессоре по отраслям образования и транспорта, но у большинства городов, специализирующихся в этих отраслях, миграционная убыль, а не прирост. Поэтому можно предположить, что наибольшее концентрирование экономики города на этих видах деятельности способствует сокращению оттока населения.

Самыми убывающими миграционным путем являются города Республики Коми: Воркута (–1669 человек) и Ухта (–1334 человека), что в значительной степени связано с их географическим положением (города Крайнего Севера),

что подтверждается в исследовании [31]. Оба города специализируются на добыче, и то, что промышленность в них все еще работает, скорее удерживает часть тех, кто хотел бы уехать от суровых условий проживания. Если бы специализация городов была бы в отрасли, которую можно переместить, миграционный отток из этих мест был бы больше.

При этом в трех сырьевых городах Ханты-Мансийского автономного округа есть миграционный приток населения: в Когалыме (+565 человек), Нягани (+297 человек) и Мегионе (+170). Этот регион обладает крупнейшей, не считая Москвы, экономикой РФ, климатические условия там более комфортные, чем в северных районах, поэтому он является притягательным для специалистов добывающей промышленности, переезжающих из сурового севера.

Городами, больше всего притягивающими людей, в нашей выборке являются южная, курортная Анапа (+5674 человека) и город Московской области Наро-Фоминск (+4342 человек). Очевидно, что здесь тоже прослеживается больше географическая зависимость, чем специализированность населенного пункта.

По показателю общей площади жилых помещений на человека положительная связь со специализацией более очевидна для городов из группы “деятельность в области здравоохранения и социальных услуг” (см. рис. 4 и табл. 3). Два из них имеют значения, значительно превышающие средние: Анапа (89) и Геленджик (62), для жителей которых жилые площади скорее являются средством заработка, т.к. в них расположены популярные отечественные курорты. К тому же значительная часть жилья может принадлежать приезжим, а не жителям этих городов.

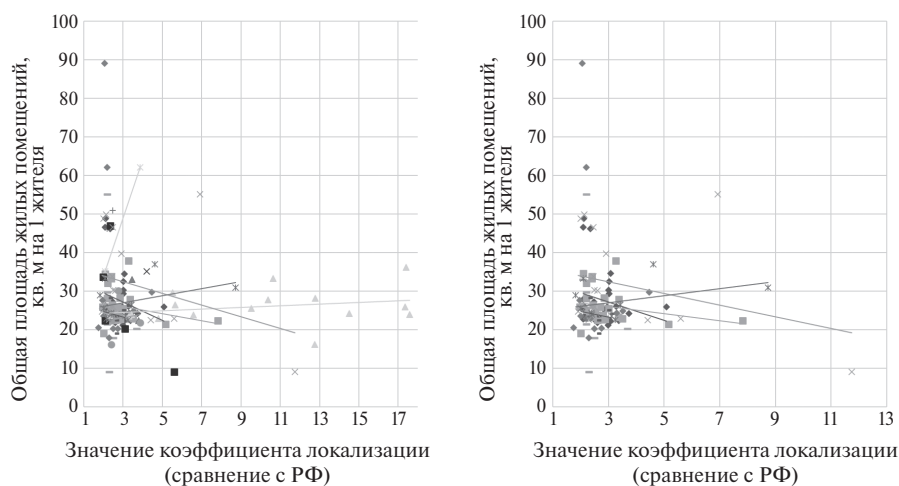
Четыре города выборки имеют аномальные значения показателя обеспеченности жилыми помещениями. Это Ачинск (189.7 м²), Кизляр (394.2 м²), Мегион (351.7 м²), Новокуйбышевск (350.9 м²) (см. табл. 4), поэтому они были исключены из представления на графике.

Также статистически значимыми являются коэффициенты при регрессорах отраслей, специализирующихся на коммунальных отраслях промышленности. При этом оба они отрицательные, но размер их несопоставимо мал в сравнении с предыдущей рассмотренной группой городов. Можно говорить, что чем более специализирован город в этих отраслях, тем плотнее живут люди, не стремясь расширять свои жилища.

Число мест в образовательных организациях значимо отрицательно связано с населенными пунктами, специализирующимися во всех отраслях промышленности, кроме обрабатывающей, и положительно с городами с высокими значениями $LQ_{\text{РФ}}$ в сфере государственного управления (см. табл. 3). При этом одни из самых высоких значений этого показателя в выборке имеются у городов с коммунальной промышленностью: Чайковский (96 мест) и Берёзовский (103 места), наименее специализированных в этой сфере.

Для городов, специализирующихся на добывающей промышленности этот показатель достаточно стабилен и ближе к среднему значению по всем отраслям (см. рис. 5). В городах же с относительно высокой долей задействованных в государственных услугах жизнь более комфортна, поэтому детей там больше и выше потребность в детских учреждениях.

По количеству ЛПО лидирует со значительным отрывом Магадан (88 организаций) (см. рис. 6), специализирующийся как в обеспечении электрической энергией, так и в госуправлении. Этот город является областным центром и именно это,



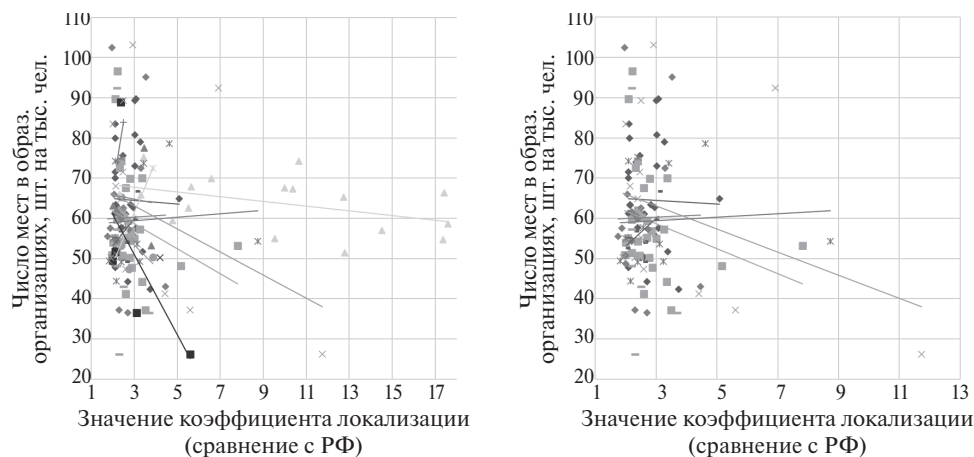
- ◆ Раздел С. Обрабатывающие производства
- Раздел D. Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха
- ▲ Раздел F. Строительство
- × Раздел G. Торговля оптовая и розничная; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов
- ✕ Раздел I. Деятельность гостиниц и предприятий общественного питания
- Раздел M. Деятельность профессиональная, научная и техническая
- + Раздел N. Деятельность административная и сопутствующие дополнительные услуги
- Раздел O. Государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное обеспечение
- Раздел P. Образование
- ◆ Раздел Q. Деятельность в области здравоохранения и социальных услуг
- Раздел R. Деятельность в области культуры, спорта; организация досуга и развлечений
- ▲ Раздел В. Добыча полезных ископаемых
- × Раздел E. Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизация отходов; деятельность по ликвидации загрязнений
- ✕ Раздел H. Транспортировка и хранение

Рис. 4. Соотношение значений показателей $LQ_{РФ}$ по отрасли специализации и общей площади жилых помещений.

Fig. 4. The ratio of the values of the localization coefficient indicators for the industry of specialization and the total area of residential premises.

а не специализация, в первую очередь объясняет полученные результаты, т.к. в нем сосредоточены типичные для города такого статуса медицинские учреждения, а численность его жителей небольшая (95.1 тыс. человек на 2023 г.). Значимо-отрицательные результаты парной регрессии, которые получились для двух промышленно-специализирующихся групп городов (см. табл. 3), можно объяснить так же, как и для предыдущего показателя.

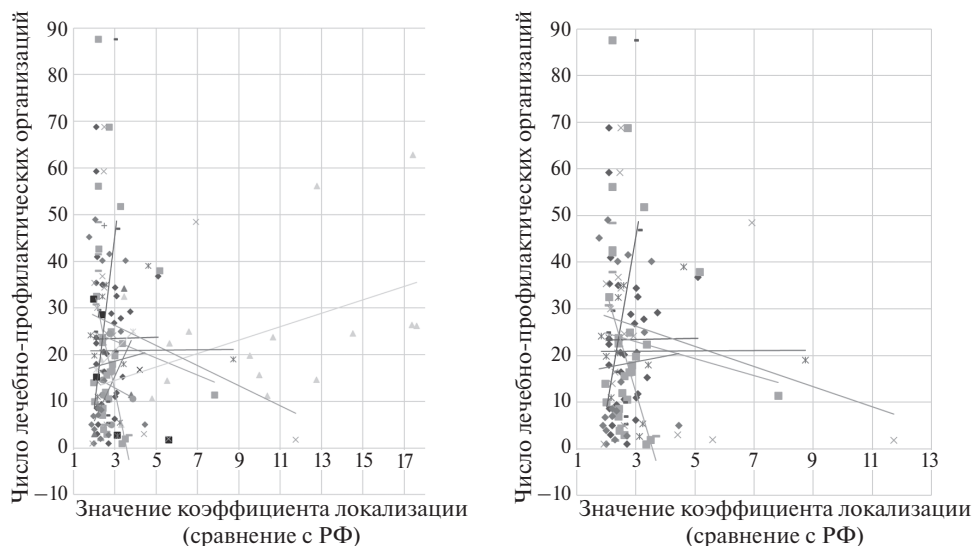
Необходимо учитывать ограничения, связанные с интерпретацией последнего показателя, т.к. ЛПО могут быть разного размера и поэтому их сложно соотнести с другими характеристиками города.



- ◆ Раздел С. Обрабатывающие производства
- Раздел D. Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха
- ▲ Раздел F. Строительство
- × Раздел G. Торговля оптовая и розничная; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов
- × Раздел I. Деятельность гостиниц и предприятий общественного питания
- Раздел M. Деятельность профессиональная, научная и техническая
- + Раздел N. Деятельность административная и сопутствующие дополнительные услуги
- Раздел O. Государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное обеспечение
- Раздел P. Образование
- ◆ Раздел Q. Деятельность в области здравоохранения и социальных услуг
- Раздел R. Деятельность в области культуры, спорта; организация досуга и развлечений
- ▲ Раздел В. Добыча полезных ископаемых
- × Раздел E. Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизация отходов; деятельность по ликвидации загрязнений
- × Раздел H. Транспортировка и хранение

Рис. 5. Соотношение значений показателей $LQ_{РФ}$ по отрасли специализации и числа мест в образовательных организациях.

Fig. 5. Correlation between the localization coefficient indicators by industry of specialization and the number of places in educational organizations



- ◆ Раздел С. Обрабатывающие производства
- Раздел D. Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха
- ▲ Раздел F. Строительство
- × Раздел G. Торговля оптовая и розничная; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов
- ✕ Раздел I. Деятельность гостиниц и предприятий общественного питания
- Раздел M. Деятельность профессиональная, научная и техническая
- + Раздел N. Деятельность административная и сопутствующие дополнительные услуги
- Раздел O. Государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное обеспечение
- Раздел P. Образование
- ◆ Раздел Q. Деятельность в области здравоохранения и социальных услуг
- Раздел R. Деятельность в области культуры, спорта; организация досуга и развлечений
- ▲ Раздел В. Добыча полезных ископаемых
- × Раздел E. Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизация отходов; деятельность по ликвидации загрязнений
- ✕ Раздел H. Транспортировка и хранение

Рис. 6. Соотношение значений показателей $LQ_{PФ}$ по отрасли специализации и числа ЛПО.

Fig. 6. Correlation between the values of localization coefficient indicators by industry of specialization and the number of medical and preventive organizations.

Заключение

Проведенное исследование позволило выявить, что наименьшая зависимость условий жизни от степени специализированности выявлена у городов с обрабатывающими производствами. Поэтому нельзя сказать, что повышение концентрированности производства в одном городе будет способствовать улучшению социальных показателей в нем.

Из рассмотренных в работе показателей наиболее зависимыми от степени отраслевой специализированности экономики города являются естественный прирост населения и число мест в организациях дошкольного образования. Наибольшие из значимых линейных коэффициентов при регрессоре естественного прироста были получены для городов, специализирующихся в образовании и здравоохранении. Узкая специализированность в образовании также положительно влияет на миграционный приток населения в город и отрицательно — на количество ЛПО в нем.

Отсюда можно предположить, что в условиях низкой безработицы и нехватки рабочих рук, характерных сегодня для России вследствие демографических циклов и политических процессов, для привлечения трудовых мигрантов стоит обратить внимание на обеспеченность образовательными учреждениями, которая недостаточная сегодня во многих регионах, в том числе и за счет другого демографического процесса (всплеска рождаемости в десятых годах нынешнего столетия, вызванного мерами по ее стимулированию).

Значимость полученного нами вывода подкрепляется тем, что для развития городов России процесс иммиграции всегда важен, т.к. плотность населения в стране довольно низкая, что является тормозом для экономического развития [28]. Выявление факторов, притягивающих мигрантов в города, позволяет дать властям инструментарий для обоснования демографической политики. Процессы миграции, в частности, сильно отличаются для городов разного размера [22].

Сделанное нами предположение нуждается в дополнительных подтверждениях социологическими методами. Эта гипотеза может быть интересна для проверки специалистами, изучающими поведенческие причины миграции людей в Россию. Однако необходимо подчеркнуть, что такие меры не могут стать основными для стимулирования миграционного прироста населения.

На число мест в организациях дошкольного образования значимо положительно влияет высокая степень специализации в государственном управлении и значимо отрицательно — в добывающей промышленности, водоснабжении и обеспечении электроэнергией.

В результате проведенного исследования мы пришли к выводу о действенности представленного в данной статье метода анализа социального неравенства городов. Имеет смысл его опробовать на выборке малых городов, хотя здесь возникнут сложности с большей вариабельностью значений в малых городах и еще меньшим количеством доступных статистических данных, поэтому это надо будет учитывать при разработке алгоритма анализа. Нехватка данных статистики может быть восполнена полевым сбором информации, однако такая трудоемкая работа может выполняться только большим коллективом исследователей.

Благодарности

Публикация подготовлена в ходе проведения исследования (проект № 23-00-017 “Сравнительный анализ сетевого взаимодействия промышленных предприятий в моногородах среднего размера (от 50 до 100 тыс. жителей)”) в рамках Программы “Научный фонд Национального исследовательского университета “Высшая школа экономики” (НИУ ВШЭ)”.

Список литературы

1. Староосвоенные районы в пространстве России: история и современность / Сост. и науч. ред. Т.Г. Нефедова, ред. А.В. Старикова. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2021. 379 с.
2. Анохин А.А., Кузин В.Ю. Подходы к выделению периферии и периферизация в пространстве современной России // Известия Русского географического общества. 2019. Т. 151. № 1. С. 3–16.
<https://doi.org/10.31857/S0869-607115113-16>
3. Бородина Т.Л. Региональные особенности динамики населения России в постсоветский период // Изв. РАН. Сер. геогр. 2017. № 1. С. 47–61.
4. Буфетова А.Н. Динамика распределения размеров нестоличных городов России в постсоветский период // Экономика региона. 2020. Т. 16. Вып. 3. С. 948–961.
5. Буфетова А.Н., Коломак Е.А. Национальная неоднородность в регионах России: оценка, изменение, влияние на экономическое развитие // Вопросы экономики. 2021. № 1. С. 120–142.
<https://doi.org/10.32609/0042-8736-2021-1-120-142>
6. Горячко М.Д. Промышленные функции городских округов Московской области на современном этапе // Геоурбанистика и градостроительство: теоретические и прикладные исследования / Отв. ред. А.Г. Махрова. М.: Изд-во МГУ, 2021. С. 270–292.
7. Гунько М.С., Глезер О.Б. Малые районные центры и окружающие территории в Центральной России в 1970–2010 гг.: динамика и распределение населения // Изв. РАН. Сер. геогр. 2015. № 1. С. 64–76.
8. Дегтярев К.С. Экономико-географическое районирование Республики Калмыкия // Известия Русского географического общества. 2020. Т. 152. № 1. С. 31–46.
<https://doi.org/10.31857/S0869607120010036>
9. Зубаревич Н.В. Регионы России. Неравенство, кризис, модернизация. М.: Независимый институт социальной политики, 2010. 160 с.
10. Зубаревич Н.В., Сафронов С.Г. Территориальное неравенство доходов населения России и других крупных постсоветских стран // Региональные исследования. 2014. Т. 46. № 4. С. 100–110.
11. Зубаревич Н.В. Бедность в российских регионах в 2000–2017 гг.: факторы и динамика // Население и экономика. 2019. № 3 (1). С. 63–74.
12. Коломак Е.А. Развитие городской системы России: тенденции и факторы // Вопросы экономики. 2014. № 10. С. 82–90.
13. Коломак Е.А. Оценка пространственной связности экономической активности российских регионов // Регион: экономика и социология. 2019. № 4 (104). С. 55–72.
<https://doi.org/10.15372/REG20190403>
14. Котляков В.М. Вызовы и политика пространственного развития России в XXI веке / Науч. ред. В.М. Котляков, А.Н. Швецов, О.Б. Глезер. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2020. 365 с.
15. Гетерогенность как фактор социально-экономического развития / Н.А. Кравченко, А.Н. Буфетова, А.А. Горюшкин и др.; под ред. д.э.н. Н.А. Кравченко, А.А. Горюшкина. Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2022.
16. Краснов А.И., Бизюков А.Д. Динамика численности населения Псковской области в постсоветский период в разрезе сельских населенных пунктов // Известия Русского географического общества. 2021. Т. 153. № 5. С. 21–33.
<https://doi.org/10.31857/S0869607121050050>

17. Лаппо Г.М. Разнообразие городов как фактор успешного пространственного развития России // Изв. РАН. Сер. геогр. 2019. №. 4. С. 3–23.
18. Лимонов Л.Э., Несена М.В. Особенности этнокультурного разнообразия российских регионов // Регион: экономика и социология. 2015. № 3 (87). С. 146–170.
<https://doi.org/10.15372/REG20150906>
19. Лола А.М. Основы градovedения и теории города (в российской интерпретации). М.: Комкнига, 2005. 324 с.
20. Манаков А.Г. Трансформация этнического пространства России в XVIII–XIX вв.: историко-географический анализ // Известия Русского географического общества. 2019. Т. 151. № 1. С. 17–28.
<https://doi.org/10.31857/S0869-6071151117-28>
21. Манаков А.Г., Данилкина Н.В. Русское языковое пространство как отражение процессов этнокультурного преобразования территорий в составе единого государства // Известия Русского географического общества. 2020. Т. 152. № 6. С. 3–15.
<https://doi.org/10.31857/S086960712006004X>
22. Мкртчян Н.В. Миграционный баланс российских городов: к вопросу о влиянии размера и положения в системе центрo-периферийных отношений // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. М.: МАКС Пресс, 2011. С. 416–430.
23. Нефедова Т.Г. Контрасты социально-экономического пространства в центре России и их эволюция: два “разреза”-профиля // Региональные исследования. 2020. № 2 (68). С. 18–38.
24. Нефедова Т.Г., Трейвиш А.И. Среднеуральский меридиан: поляризация пространства старопромышленных регионов // Известия Русского географического общества. 2020. Т. 152. № 5. С. 3–25.
<https://doi.org/10.31857/S0869607120050055>
25. Пилясов А.Н., Замятина Н.Ю. Региональная экономика и пространственное развитие // Регион: экономика и социология. 2015. № 4 (88). С. 285–302.
26. Ромашина А.А. Типология муниципальных образований России по специализации экономики и положению в системе расселения // Региональные исследования. 2019. № 3. С. 42–53.
27. Сарычева Т.В. Сравнительный анализ структурных сдвигов в занятости населения региона // Статистика и экономика. 2012. № 2. С. 170–176.
28. Система городов и пространственное развитие России: Монография / Под ред. Л.Э. Лимонова — Международный центр социально-экономических исследований “Леонтьевский центр”. СПб.: МЦСЭИ “Леонтьевский центр”, 2024. 352 с.
29. Сторпер М. Ключи от города: Как устроено развитие? / Пер. с англ. М.: Strelka Press, 2018. 368 с.
30. Чибилев А.А., Петрищев В.П., Косых П.А., Левыкин С.В. Показатели социально-экономического развития муниципальных образований степных регионов европейской России // Известия Русского географического общества. 2018. Т. 150. № 5. С. 1–14.
<https://doi.org/10.7868/S0869607118050018>
31. Фаузер В.В., Лыткина Т.С. Миграционные процессы на российском Севере: угрозы и последствия // Россия: тенденции и перспективы развития. Ежегодник. Вып. 2. М., 2017. Ч. 2. С. 719–725.
32. Alesina A., La Ferrara E. Ethnic Diversity and Economic Performance // J. Economic Literature. 2005. V. XLIII. P. 762–800.
<https://doi.org/10.1257/002205105774431243>
33. Bell D., Jayne M. Small cities? Towards a research agenda // Intern. J. Urban and Regional Research. 2009. № 33 (3). P. 683–699.

34. Kolomak E.A., Sherubneva A.I. Spatial Structure and Factors of Economic Development of Asian Russia // Reg. Res. Russ. 2023. V. 13. P. 375–385.
35. Kühn M. Peripheralization: Theoretical Concepts Explaining Socio-Spatial Inequalities // European Planning Studies. 2015. V. 23. № 2. P. 367–378.
36. Norman J.R. Small Cities USA: growth, diversity, and inequality. New Brunswick, London: Rutgers Univ. Press, 2013. 208 p.
37. Tolsma J., van der Meer T., Gesthuizen M. The impact of neighbourhood and municipality characteristics on social cohesion in the Netherlands // Acta Politica. V. 44. № 3. P. 286–313. <https://doi.org/10.1057/ap.2009.6>
38. Yong E.L. Understanding cultural diversity and economic prosperity in Europe: A literature review and proposal of a culture-economy framework // Asian Journal of German and European Studies. V. 4. P. 1–34.
39. Zemtsov S.P., Baburin V.L. COVID-19: Spatial Dynamics and Diffusion Factors across Russian Regions // Reg. Res. Russ. 2020. V. 10. № 3. P. 273–290. <https://doi.org/10.1134/S2079970520030156>

Production Specializations as a Factor in the Demographic and Social Development of Medium-Sized Cities in Russia

A.I. Gataullina¹, E.E. Kolchinskaya^{1, 2, *}, L.E. Limonov^{1, 2}

¹ *National Research University Higher School of Economics, Saint Petersburg, Russia*

² *ANO ICSE Leontief Center, Saint Petersburg, Russia*

^{*} *E-mail: ekolchinskaya@hse.ru*

Received 22.11.2023

Revised 10.06.2025

Accepted 15.06.2025

The article is devoted to the study of the connection between the specialization of medium-sized cities in Russia and individual socio-demographic parameters. The purpose of the study is to identify the presence of this relationship and determine its characteristics. A group of medium-sized cities in Russia (from 50 to 100 thousand people) homogeneous in number of inhabitants was chosen as an object, which made it possible to minimize the distortion of the results due to the influence of factors determined by the size of the settlement on the studied indicators. Data for calculation behavior were taken from the Rosstat municipal statistics database. Localization coefficients were calculated for 18 types of economic activity in cities, based on these calculations, the sample cities were divided into specialization groups, and for each group, the influence of the degree of specialization on individual socio-demographic indicators of these cities was determined using econometric methods. The result of the study was the conclusion that certain groups of cities are characterized by statistical dependencies between the degree of specialization of their economies and other development parameters.

Keywords: medium-sized cities in Russia, localization coefficient, socio-demographic parameters of city development, specialization of city economics, spatial inequality of city's development

References

1. Staroosvoennye rajony v prostranstve Rossii: istoriya i sovremennost' / Sost. A.V. Starikov. M.: Tovarišhestvo nauchnyh izdanij KMK, 2021. 379 s.
2. Anokhin A.A., Kuzin V.Yu. Podhody k vydeleniju periferii i periferizacija v prostranstve sovremennoj Rossii // Izvestija Russkogo geograficheskogo obshhestva. 2019. T. 151. № 1. S. 3–16. <https://doi.org/10.31857/S0869-607115113-16>

3. Borodina T.L. Regional'nye osobennosti dinamiki naselenija Rossii v postsovet'skij period // *Izv. RAN. Ser. geogr.* 2017. № 1. S. 47–61.
4. Bufetova A.N. Dinamika raspredelenija razmerov nestolichnyh gorodov Rossii v postsovet'skij period // *Ekonomika regiona*. 2020. T. 16. Vyp. 3. S. 948–961.
5. Bufetova A.N., Kolomak E.A. Nacional'naja neodnorodnost' v regionah Rossii: ocenka, izmenenie, vlijanie na ekonomicheskoe razvitie // *Voprosy Ekonomiki*. 2021. № 1. S. 120–142. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2021-1-120-142>
6. Goryachko M.D. Promyshlennye funkcii gorodskih okrugov Moskovskoj oblasti na sovremennom etape // *Geourbanistika i gradostroitel'stvo: teoreticheskie i prikladnye issledovanija* / *Otv. red. A.G. Makhrova. M.: Izd-vo MGU, 2021. S. 270–292.*
7. Gunko M.S., Glezer O.B. Malye rajonnye centry i okružhajushhie territorii v Central'noj Rossii v 1970–2010 gg.: dinamika i raspredelenie naselenija // *Izv. RAN. Ser. geogr.* 2015. № 1. S. 64–76.
8. Degtyarev K.S. Ekonomiko-geograficheskoe rajonirovanie Respubliki Kalmykija // *Izvestija Russkogo geograficheskogo obshhestva*. 2020. T. 152. № 1. S. 31–46. <https://doi.org/10.31857/S0869607120010036>
9. Zubarevich N.V. Regiony Rossii: Neravenstvo, krizis, modernizacija. M.: Nezavisimyj institut social'noj politiki, 2010. 160 s.
10. Zubarevich N.V., Safronov S.G. Territorial'noe neravenstvo dohodov naselenija Rossii i drugih krupnyh postsovet'skikh stran // *Regional'nye issledovanija*. 2014. № 4. S. 100–110.
11. Zubarevich N.V. Bednost' v rossijskikh regionah v 2000–2017 gg.: faktory i dinamika // *Naselenie i ekonomika*. 2019. № 3 (1). S. 63–74.
12. Kolomak E.A. Razvitie gorodskoj sistemy Rossii: tendencii i faktory // *Voprosy Ekonomiki*. 2014. № 10. S. 82–90.
13. Kolomak E.A. Ocenka prostranstvennoj svjaznosti ekonomicheskoy aktivnosti rossijskikh regionov // *Region: ekonomika i sociologija*. 2019. № 4 (104). S. 55–72. <https://doi.org/10.15372/REG20190403/>
14. Kotlyakov V.M. Vyzovy i politika prostranstvennogo razvitija Rossii v XXI veke / *Nauch. red. V.M. Kotlyakov, A.N. Shvetsov, O.B. Glaser. M.: Tovarišhestvo nauchnyh izdanij KMK, 2020. 365 s.*
15. Geterogenost' kak faktor social'no-ekonomicheskogo razvitija / N.A. Kravchenko, A.N. Bufetova, A.A. Goryushkin i dr.; pod red. d.e.n. N.A. Kravchenko, A.A. Goryushkina. Novosibirsk: IEOPP SB RAS, 2022. 236 s.
16. Krasnov A.I., Bizyukov A.D. Dinamika chislennosti naselenija Pskovskoj oblasti v postsovet'skij period v razreze sel'skikh naselennyh punktov // *Izvestija Russkogo geograficheskogo obshhestva*. 2021. T. 153. № 5. S. 21–33. <https://doi.org/10.31857/S0869607121050050>
17. Lappo G.M. Raznoobrazie gorodov kak faktor uspešnogo prostranstvennogo razvitija Rossii // *Izv. RAN. Ser. geogr.* 2019. № 4. S. 3–23.
18. Limonov L.E., Nesena M.V. Osobennosti etnokul'turnogo raznoobrazija rossijskikh regionov // *Region: ekonomika i sociologija*. 2015. № 3 (87). S. 146–170. <https://doi.org/10.15372/REG20150906>
19. Lola A.M. Osnovy gradovedenija i teorii goroda (v rossijskoj interpretacii). M.: Komkniga, 2005. 324 s.
20. Manakov A.G. Transformacija etnicheskogo prostranstva Rossii v XVIII–XIX vv.: istoriko-geograficheskij analiz // *Izvestija Russkogo geograficheskogo obshhestva*. 2019. T. 151. № 1. S. 17–28. <https://doi.org/10.31857/S0869-6071151117-28>

21. Manakov A.G., Danilkina N.V. Russkoe jazykovoe prostranstvo kak otrazhenie processov etnokul'turnogo preobrazovaniya territorij v sostave yedinogo gosudarstva // *Izvestija Russkogo geograficheskogo obshhestva*. 2020. T. 152. № 6. S. 3–15.
<https://doi.org/10.31857/S086960712006004X>
22. Mkrtchyan N.V. Migracionnyj balans rossijskih gorodov: k voprosu o vlijanii razmera i polozhenija v sisteme centro-periferijnyh otnoshenij // *Nauchnye trudy: Institut narodnohozjajstvennogo prognozirovaniya Rossijskoj Akademii Nauk M.: MAKSS Press*, 2011. S. 416–430.
23. Nefedova T.G. Kontrasty social'no-ekonomicheskogo prostranstva v centre Rossii i ih evoljucija: dva "razreza"-profilja // *Regional'nye issledovanija*. 2020. № 2 (68). S. 18–38.
24. Nefedova T.G., Treivish A.I. Sredneural'skij meridian: poljarizacija prostranstva staropromyslennyh regionov // *Izvestija Russkogo geograficheskogo obshhestva*. 2020. T. 152. № 5. S. 3–25.
<https://doi.org/10.31857/S0869607120050055>
25. Pilyasov A.N., Zamyatina N.Yu. Regional'naja ekonomika i prostranstvennoe razvitie // *Region: ekonomika i sociologija*. 2015. № 4 (88). S. 285–302.
26. Romashina A.A. Tipologija municipal'nyh obrazovanij Rossii po specializacii ekonomiki i polozheniju v sisteme rasselenija // *Regional'nye issledovanija*. 2019. № 3. S. 42–53.
27. Sarycheva T.V. Sravnitel'nyj analiz strukturnyh sdvigov v zanjatosti naselenija regiona // *Statistika i ekonomika*. 2012. № 2. S. 170–176.
28. Sistema gorodov i prostranstvennoe razvitie Rossii / Pod. red. L.E. Limonova – *Mezhdunarodnyj centr social'no-ekonomicheskikh issledovanij "Leont'evskij centr"*. SPb.: MCSel "Leont'evskij centr", 2024. 352 s.
29. Storper M. Kljuchi ot goroda: Kak ustroeno razvitie? / Per. s angl. M.: Strelka Press, 2018. 368 s.
30. Chibilev A.A., Petrishchev V.P., Kosykh P.A., Levykin S.V. Pokazateli social'no-ekonomicheskogo razvitija municipal'nyh obrazovanij stepnyh regionov yevropejskoj Rossii // *Izvestija Russkogo geograficheskogo obshhestva*. 2018. T. 150. № 5. S. 1–14.
<https://doi.org/10.7868/S0869607118050018>
31. Fauser V.V., Lytkina T.S. Migracionnye processy na rossijskom Severe: ugrozy i posledstvija // *Rossija: tendencii i perspektivy razvitija. Ezhegodnik. Vyp. 2. M., 2017. Ch. 2. S. 719–725*.
32. Alesina A., La Ferrara E. Ethnic Diversity and Economic Performance // *J. Economic Literature*. 2005. V. XLIII. P. 762–800.
<https://doi.org/10.1257/002205105774431243>
33. Bell D., Jayne M. Small cities? Towards a research agenda // *Intern. J. Urban and Regional Research*. 2009. № 33 (3). P. 683–699.
34. Kolomak E.A., Sherubneva A.I. Spatial Structure and Factors of Economic Development of Asian Russia // *Reg. Res. Russ.* 2023. V. 13. P. 375–385.
35. Kühn M. Peripheralization: Theoretical Concepts Explaining Socio-Spatial Inequalities // *European Planning Studies*. 2015. V. 23. № 2. P. 367–378.
36. Norman J.R. Small cities USA: growth, diversity, and inequality. New Brunswick, London: Rutgers Univ. Press, 2013. 208 p.
37. Tolsma J., van der Meer T., Gesthuizen M. The impact of neighbourhood and municipality characteristics on social cohesion in the Netherlands // *Acta Politica*. 2009. V. 44. № 3. P. 286–313.
<https://doi.org/10.1057/ap.2009.6>
38. Yong E.L. Understanding cultural diversity and economic prosperity in Europe: A literature review and proposal of a culture-economy framework // *Asian Journal of German and European Studies*. 2019. V. 4. P. 1–34.
39. Zemtsov S.P., Baburin V.L. COVID-19: Spatial Dynamics and Diffusion Factors across Russian Regions // *Reg. Res. Russ.* 2020. V. 10. № 3. P. 273–290.
<https://doi.org/10.1134/S2079970520030156>

Приложение. Таблица 1. Данные о специализации и показателях социально-экономического развития средних городов России за 2017–2021 гг.
Table 1. Data on specialization and indicators of socio-economic development of medium-sized Russian cities in 2017–2021

Название города	$LQ_{РФ}$	$LQ_{Рг}$	Специализация	Оценка численности населения на 1 января текущего года, человек	Естественный прирост (убыль), человек	Миграционный прирост (убыль), человек	Общая площадь жилых помещений, кв. м на 1 жителя	Число мест в организациях, осуществляющих деятельность по образовательным программам дошкольного образования, присмотр и уход за детьми, шт.	Число лечебно-профилактических организаций, шт.
Берёзовский	3.5	3.8		58222	85	452	40	102	23
Бор	2.8	2.5	Водоснабжение; водотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений	77694	–828	–300	48	83	35
Гуково	7	4.7		64531	–622	–295	23	38	2
Дубна	3.5	3.3		75037	–86	–44	24	56	5
Клин	3.2	2.2		93350	–827	929	46	72	57
Наро-Фоминск	2.9	2.7	Деятельность в области здравоохранения и социальных услуг	133906	672	4105	46	69	30
Павловский Посад	3.2	3.1		68911	–539	–388	34	61	23
Феодосия	3.6	3.3		100521	–754	765	27	41	40
Анапа	5.7	4.8		80392	49	6652	89	97	40
Буйнакск	6.8	6.7		65427	714	–157	18	43	6
Геленджик	5.1	4.3		76428	–65	–34	61	70	25
Горно-Алтайск	3.1	2.2		63705	256	47	24	65	45
Егорьевск	2.6	2.9		74101	–673	987	27	80	3
Канск	3.4	2.9		89442	–428	–40	23	54	7

Приложение. Таблица 1. Продолжение

Название города	$LQ_{РФ}$	$LQ_{Рег}$	Специализация	Оценка численности населения на 1 января текущего года, человек	Естественный прирост (убыль), человек	Миграционный прирост (убыль), человек	Общая площадь жилых помещений, кв. м на 1 жителя	Число мест в организациях, осуществляющих образовательную деятельность по образовательным программам дошкольного образования, присмотр и уход за детьми, шт.	Число лечебно-профилактических организаций, шт.
Кинешма	2.8	2.3	Деятельность в области здравоохранения и социальных услуг	82451	-682	-301	25	58	5
Клины	3.1	2.9		62953	-456	291	27	47	1
Магадан	2.5	1.9		99223	-19	-209	25	59	86
Минусинск	4.2	3.5		70992	-382	72	30	56	42
Прохладный	2.9	2.8		57961	-180	398	67	113	8
Черемхово	3.8	3.3		50697	-178	-147	29	64	15
Чехов	3.1	3.4		76879	-241	977	58	83	46
Шадринск	2.7	2		75138	-445	141	23	56	45
Шuya	3.7	3		57861	-493	-176	19	60	44
Ялта	5	3.7		139073	-723	822	19	34	62
Салехард	4.1	4.9	Деятельность в области информации и связи	49690	423	249	25	76	13
Белово	13.6	2.2	Добыча полезных ископаемых	125181	-727	-34	25	56	20
Воркута	15.2	3.6		75861	-26	-1882	33	73	24
Губкин	26.4	11.8		86608	-685	14	36	67	62

Приложение. Таблица 1. Продолжение

Название города	$LQ_{\text{рф}}$	$LQ_{\text{рег}}$	Специализация	Оценка численности населения на 1 января текущего года, человек	Естественный прирост (убыль), человек	Миграционный прирост (убыль), человек	Общая площадь жилых помещений, кв. м на 1 жителя	Число мест в организациях, осуществляющих образовательную деятельность по образовательным программам дошкольного образования, присмотр и уход за детьми, шт.	Число лечебно-профилактических организаций, шт.
Киселёвск	18.8	3.1	Добыча полезных ископаемых	88903	−656	−769	28	51	56
Когалым	17.2	1.3		66346	565	435	16	65	—
Краснотурьинск	8.5	10.1		56849	−351	−128	26	68	21
Междуреченск	22	3.6		96853	−428	−39	24	59	25
Ниягань	8.8	0.7		58217	297	−54	23	70	24
Сибай	8	5.7		61111	−90	−167	23	59	9
Ухта	4.8	1.2	Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	114101	−219	−1455	24	76	33
Анжиро-Судженск	3.6	2.3		73547	−632	−666	26	51	4
Апатиты	4.4	2		55484	−347	−277	27	80	11
Асбест	2.2	2		63748	−474	−144	27	68	13
Биробиджан	3.2	1.9		73173	−768	−768	23	67	46
Дзержинский	4.1	4.5		55773	−383	−292	22	40	3
Дмитров	2.6	2.8		105131	−887	−485	45	86	27
Донской	4.5	4		63277	−497	−94	23	45	1
Жигулёвск	6.1	5.5		52962	−500	−495	32	46	1

Приложение. Таблица 1. Продолжение

Название города	$LQ_{\text{рф}}$	$LQ_{\text{рег}}$	Специализация	Оценка численности населения на 1 января текущего года, человек	Естественный прирост (убыль), человек	Миграционный прирост (убыль), человек	Общая площадь жилых помещений, кв. м на 1 жителя	Число мест в организациях, осуществляющих образовательную деятельность по образовательным программам дошкольного образования, присмотр и уход за детьми, шт.	Число лечебно-профилактических организаций, шт.
Каменск-Шахтинский	4.1	4.7	Обеспечение электрической энергии, газом и паром; кондиционирование воздуха	88683	-607	-25	23	48	18
Кузнецк	4.1	5.4		81800	-465	-434	28	57	16
Кумертау	5	5		60053	-284	-186	28	70	21
Кунгур	2.8	2.6		65507	-258	-216	19	54	10
Ленинск-Кузнецкий	2.6	1.6		95684	-613	-298	26	52	14
Лесосибирск	3.7	2.5		64177	-170	-54	24	61	12
Сосновый бор	11.1	8.5		68031	-168	-75	22	-	11
Троицк	7.3	8.5		73929	-363	-261	21	50	38
Усолье-Сибирское	3.6	2.8		77072	-330	-401	23	62	9
Усть-Илимск	3.5	2.8		81483	-299	-378	24	73	7
Чайковский	3.1	2.9		82519	-423	-161	32	96	40
Чапаевск	4.1	3.7		72417	-539	38	22	50	16
Азов	4	4.5		80693	-330	-31	25	55	67

Приложение. Таблица 1. Продолжение

Название города	$LQ_{\text{РФ}}$	$LQ_{\text{Рег}}$	Специализация	Оценка численности населения на 1 января текущего года, человек	Естественный прирост (убыль), человек	Миграционный прирост (убыль), человек	Общая площадь жилых помещений, кв. м на 1 жителя	Число мест в организациях, осуществляющих образовательную деятельность по образовательным программам дошкольного образования, присмотр и уход за детьми, шт.	Число лечебно-профилактических организаций, шт.
Арсеньев	3.7	4.6	Обрабатывающие производства	52416	-303	43	24	69	12
Великие Луки	3.3	2.8		91416	-724	158	26	63	27
Верхняя Пышма	3.4	2.4		70802	93	1195	28	90	34
Волжск	3.3	2.3		53873	-132	-234	29	72	11
Воткинск	3.5	2.4		97551	-293	-8	22	56	6
Выкса	3.8	2.7		69073	-379	119	32	79	32
Глазов	2.3	1.6		92850	-515	90	23	62	24
Гусь-Хрустальный	2.7	2.7		56787	-483	-418	27	75	20
Краснокамск	2.7	1.9		63647	-208	-300	27	72	31
Лыткарино	2.9	2.4		58317	-260	853	22	50	7
Новоалтайск	2.2	2.4		73869	-298	518	23	43	8
Полевской	3.3	2.3		61606	-242	-448	32	81	20
Ревда	3	2.1		62295	-286	-200	22	60	19
Ржев	2	1.9		58834	-568	-283	25	52	25
Сарапул	3.3	2.3		96733	-425	-414	21	55	6
Соликамск	3.6	2.6		93554	-302	-421	25	80	26

Приложение. Таблица 1. Окончание

Название города	$LQ_{\text{рф}}$	$LQ_{\text{рег}}$	Специализация	Оценка численности населения на 1 января текущего года, человек	Естественный прирост (убыль), человек	Миграционный прирост (убыль), человек	Общая площадь жилых помещений, кв. м на 1 жителя	Число мест в организациях, осуществляющих образовательную деятельность по образовательным программам дошкольного образования, присмотр и уход за детьми, шт.	Число лечебно-профилактических организаций, шт.
Ступино	2.5	2.1	Обрабатывающие производства	83412	-677	70	44	75	9
Фрязино	4.1	3.4		60092	-246	-121	24	42	28
Борисоглебск	3.1	3.3	Образование	72551	-547	-597	27	47	31
Ивантеевка	2.1	2.5		77927	14	2057	25	49	1
Изобруш	5.2	3.9		59546	588	200	20	37	3
Михайловка	7.1	7.4		62903	-484	-245	38	-	52
Серов	10.1	9.3		96901	-415	-384	23	64	41
Черногорск	2.6	2	Строительство	77425	-138	282	23	67	5
Юрга	2.4	2.1		81351	-422	84	23	62	30
Свободный	4.2	2.5		53814	-337	28	26	54	18
Тобольск	2.7	2		98918	92	-178	32	77	33
Белогорск	3.3	2.6		65938	-228	-258	22	49	5
Ишим	3	2.2	Транспортировка и хранение	64867	-263	-49	23	53	1
Котлас	3.3	2.8		74430	-211	206	26	73	18
Лобня	8.8	7.6		88786	-269	813	30	53	16
Минеральные Воды	4.6	5.2		80837	-274	-780	37	78	39
Мичуринск	2.4	3.3		92341	-638	-315	24	49	21

УДК 911.375

ОСВОЕНИЕ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА КАК СПОСОБ ОПТИМИЗАЦИИ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ г. КАЗАНИ)

© 2025 г. В.А. Федорова*, Г.Р. Сафина

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

**E-mail: fva_14@mail.ru*

Поступила в редакцию 29.11.2023 г.

После доработки 14.01.2025 г.

Принята к публикации 29.03.2025 г.

Неограниченное периметральное расползание города на определенном этапе приводит к возникновению социальных, экономических и экологических проблем, которые в негативном ключе отражаются на качестве городской среды. Предотвратить подобный путь экстенсивного городского развития позволяет обращение к концепции “компактный город”, основанной на максимально эффективном использовании внутренних территориальных ресурсов. Одним из процессов, позволяющих оптимизировать процессы в городе и остановить его территориальный рост, является освоение городского подземного пространства. В работе исследуется освоение подземного пространства г. Казани, представленного транспортной инфраструктурой, как способ оптимизации городских территорий. Использование актуальных данных о количестве и пространственных особенностях подземной транспортной инфраструктуры Казани позволило оценить масштабы освоения подземного пространства. На момент исследования в городе насчитывалось 344 объекта подземной транспортной инфраструктуры (подземные паркинги под жилыми домами и социальными объектами, пешеходные переходы, станции метрополитена, тоннели). Наибольшее количество подземных транспортных сооружений находится в центре, в Вахитовском районе (47% всех объектов города). Затем следуют районы, примыкающие к центру: Приволжский, Кировский, частично Советский — на их долю приходится соответственно 15, 14 и 9% подземных транспортных объектов города. Производственная направленность Авиастроительного и Московского районов и сложные гидрогеологические условия Ново-Савиновского района обусловили наименьшее количество объектов подземной инфраструктуры на их территории. Рациональное использование подземного пространства возможно лишь при наличии нормативно-правовой базы, относящейся к градостроительному проектированию и отражающей аспекты подземной урбанистики. Освоение подземного пространства по единому градостроительному плану, увязанному с Генеральным планом города, будет способствовать его комплексному освоению и использованию.

Ключевые слова: город, территориальные ресурсы, подземная транспортная инфраструктура, подземное пространство города, урбанизация

DOI: 10.31857/S0869607125020028, EDN: KXHCQG

Введение

Интенсивная урбанизация в современном мире является причиной активизации различных процессов в городах (строительство, развитие транспортных сетей,

инженерной инфраструктуры и т.д.), что в конечном итоге зачастую приводит к расширению городских границ и “разрастанию городов”. Подобный путь экстенсивного городского развития сопряжен с негативными последствиями экономического и социального характера, а также с обострением экологических проблем. Предотвращение разрастания может быть достигнуто внедрением концепции “компактного города”, которая предполагает максимально эффективное использование внутреннего территориального потенциала [31, 32]. Компактность города может быть достигнута через такие процессы как уплотнительная застройка, реновация, редевелопмент, включение в городское хозяйство неудобных земель, создание искусственных земельных участков в пределах городских акваторий. Кроме того, дефицит городских территорий может быть преодолен посредством интенсивного развития вертикальной составляющей города, реализуемого в процессе активного использования подземного пространства и увеличения этажности зданий [25].

Целью данной работы является исследование освоения подземного пространства города Казани, представленного транспортной инфраструктурой, как способа оптимизации городских территорий. Объектом исследования выступает подземное пространство города Казани, используемое для транспортной инфраструктуры. Предметом исследования является оптимизация и эффективность использования городской территории при освоении подземного пространства.

В настоящее время вопросы освоения подземного пространства в крупных городах привлекают внимание градостроителей, экологов, проектировщиков. Масштабы подземной урбанистики и виды размещения в подземном пространстве объектов строительства зависят от размеров города и обуславливаются характерными для конкретных условий социальными, экономическими и градостроительными предпосылками, обеспечивающими совершенствование систем обслуживания населения, рациональное использование городских территорий и повышение эффективности капитальных вложений [23].

Основные тенденции и направления современной подземной урбанистики заключаются в комплексном освоении подземного пространства, предполагающим учет взаимосвязи всех структурных элементов, определяющих функционирование крупного города:

- наземной части, включающей здания, инженерные сооружения, наземные транспортные коммуникации, водную и воздушную среду;
- подземной части, к которой относят подвалы зданий, транспортные системы, объекты различного назначения, инженерные сети;
- геологической и гидрогеологической среды [20].

Подземное строительство успешно реализуется во многих странах мира в силу исполнения ими “Руководящих международных принципов устойчивого пространственного развития Европейского континента” [18], направленных в том числе на создание компактных городов и сохранение исторического наследия. Важной особенностью вертикальной составляющей развития современных городов является не просто точечное (локальное) строительство подземных сооружений, а создание и реализация концепций градостроительного проектирования экологически чистых подземных городов, представляющих собой многофункциональные подземные комплексы (Монреаль, Токио, Осака, Хельсинки) [1, 33, 34].

Показателен в этом отношении город Торонто, в подземном пространстве которого находится крупный город-комплекс PATH, построенный в 1997 году. На протяжении 28 километров он соединяет между собой на 12 уровнях пешеходные переходы,

железнодорожные терминалы, станции городского метрополитена и достопримечательности.

В России проблема освоения подземного пространства наиболее актуальна для мегаполисов, прежде всего Москвы и Санкт-Петербурга. Так, например, перенимая опыт планирования подземных общественных пространств зарубежных городов, в генеральный план Москвы включили зоны многофункционального общественного подземного пространства. Первым комплексом, расположенным под землей, стал ТРК “Охотный ряд”, который был построен в 1997 году, где на площади 70 тыс. м² были размещены такие объекты, как магазины, рестораны, кафе, автомобильные парковки. Некоторые города-миллионники решают проблему освоения подземного пространства путем строительства и эксплуатации метрополитена (Екатеринбург, Казань, Нижний Новгород, Самара).

В целом мировой опыт функционирования мегаполисов показывает, что оптимальные условия для устойчивого развития территорий достигаются при доле подземных сооружений от общего числа построенных объектов на уровне не менее 20–25%. В Москве этот показатель составляет около 8%, причем подземные здания и сооружения в большинстве случаев не являются комплексными сооружениями [2].

Многообразие аспектов изучения направления “вертикального урбанизма” обуславливает необходимость обращения к типологии и классификации объектов подземной городской инфраструктуры. Классификация городских подземных сооружений в зависимости от их функционального назначения предполагает выделение следующих типов объектов: инженерно-транспортных, зрелищных, административных и спортивных сооружений; объектов коммунально-бытового обслуживания и складского хозяйства; предприятий торговли и общественного питания; промышленных объектов и инженерного оборудования.

Глубина заложения разных типов городских подземных сооружений во многом определяется таким фактором, как время пребывания населения и персонала, обслуживающего эти объекты. Так, в пределах первого уровня располагаются объекты, которые посещаются всеми горожанами и эксплуатируются в постоянном режиме (пешеходные тоннели, объекты торговли и бытового обслуживания населения, культурно-досуговые учреждения). На втором уровне размещаются объекты, посещение которых происходит кратковременно всеми категориями горожан (транспортные тоннели, гаражи, автостоянки, складские помещения, коммуникации). Третий уровень характеризуется допуском ограниченного количества квалифицированных специалистов, размещением здесь промышленных предприятий и объектов энергетической городской инфраструктуры. Четвертый уровень максимально удален от земной поверхности и содержит различные инженерные коммуникации, обслуживание которых не предполагает постоянного присутствия персонала [13].

В данной работе мы ограничиваемся рассмотрением подземных объектов инженерно-транспортной городской инфраструктуры, к которым относятся пешеходные, автодорожные и железнодорожные тоннели, метрополитен, автостоянки и парковки, располагающиеся в пределах первых двух уровней глубины.

Целесообразность формирования подземного пространства следует определять исходя из следующего:

- возможности освобождения наземных территорий под новое строительство, создания озелененных и рекреационных территорий;
- требований сохранения исторической среды;

— увеличения пассажирооборота станций метрополитена, железных и автомобильных дорог;

— наличия крупных объектов концентрации населения (офисных, торгово-развлекательных, спортивных и концертных центров, парков) [22].

Кроме того, следует обратить внимание на следующие проблемы, возникающие в период создания подземных объектов и последующей их эксплуатации:

1. Дороговизна и долгая окупаемость возводимых объектов, которая формируется за счет:

— сложностей инженерных, геологических, гидрогеологических изысканий, которые позволяют определить участок размещения объекта подземной инфраструктуры (обеспечение водонепроницаемости объекта, исключение просадок грунтов и др.) и технологию его создания;

— обеспечения безопасности в период строительства и последующей эксплуатации подземных объектов;

— нестандартных проектировочных решений подземных сооружений;

— более высоких, по сравнению с наземными объектами, эксплуатационных затрат на их содержание (освещение, кондиционирование и вентилирование помещений; в районах высокого уровня грунтовых вод — на их откачку).

2. Необходимость учета характера сложившейся застройки, наличие существующей подземной инфраструктуры (канализация, водопровод, электрические кабели, транспортные объекты и др.) и функционального назначения наземного пространства.

3. Психологический аспект для населения в процессе пребывания в подземном пространстве (до сих пор нет однозначных выводов о том, как влияет нахождение под землей на психическое здоровье человека) [13].

Таким образом, использование подземных сооружений сопряжено с рядом трудностей, которые ограничивают их широкое распространение в городской среде.

Материалы и методы

Подземная транспортная система города Казани, рассмотренная в данной статье, представлена следующими основными типами объектов:

— подземными парковками и гаражами в жилых комплексах;

— подземными автостоянками и парковочными пространствами при различных учреждениях социального назначения (вокзалы, торговые центры, рынки, учреждения культуры и спорта и т.д.);

— подземной улично-дорожной и транспортной сетью (переходы и тоннели);

— метрополитеном.

В качестве исходного материала была использована статистическая информация порталов “Дом.МинЖКХ” [17], Фонда развития территорий [26] и Единой информационной системы жилищного строительства Минстроя РФ [6], на основе которых авторами создан реестр объектов жилищного фонда г. Казани, насчитывающий более 5 тыс. многоквартирных жилых домов и позволяющий оценить масштабы и виды подземной инфраструктуры.

Особенности подземной инфраструктуры определялись на основе таких онлайн-ресурсов как База недвижимости в Казани [27], Карта Казани: улицы, дома и организации города — 2ГИС [12], Казанский паркинг [11], а также был использован инструмент “Панорамы” в сервисе Яндекс Карты [30]. Пространственные особенности вертикальной составляющей, представленной подземной транспортной

инфраструктурой, были выполнены в программе QGIS, в качестве подложки использовалась картографическая основа публичной кадастровой карты [19].

Результаты и обсуждение

В столице Республики Татарстан — г. Казани — на момент исследования насчитывается 344 объекта подземной инфраструктуры, представленных парковками/стоянками в жилых многоквартирных домах и при объектах социального обслуживания, подземными пешеходными переходами, автотранспортными тоннелями и метрополитеном (см. табл. 1).

В большинстве своем — это объекты, созданные в постсоветский период, поскольку развитие подземной урбанистики в стране, в том числе и подземной транспортной инфраструктуры, четко следует за изменением экономической системы, важнейшей составляющей которой стала Земельная реформа 1990 г. [9]. В ходе Земельной реформы была ликвидирована монополия государства на землю и осуществлен переход к многообразию форм собственности. Земля, являясь объектом социально-экономических отношений, стала рассматриваться как недвижимое имущество, как товар и объект хозяйственной деятельности, что в условиях ограниченного городского пространства существенно повысило ее ценность.

Если рассматривать особенности развития подземного строительства в Казани, то активное возведение подземных сооружений транспортного назначения было связано с подготовкой города к спортивным событиям международного значения (Универсиада студентов в 2013 г., Чемпионат мира по футболу в 2018 г.) и строительством Большого Казанского кольца (БКК) — магистрали непрерывного движения в городе. При подготовке к данным мероприятиям были проведены масштабные работы по улучшению дорожно-транспортной системы — устройство развязок, пешеходных переходов, стоянок.

Таблица 1. Подземная транспортная инфраструктура в г. Казани

Table 1. Underground transport infrastructure in the city of Kazan

Объекты подземной транспортной инфраструктуры / Район	Авиастроительный	Вахитовский	Кировский	Московский	Ново-Савиновский	Приволжский	Советский	Казань
Автотранспортные тоннели, ед.	—	1	1	1	2	1	1	7
Метро, количество станций	1	3	—	3	—	3	1	11
Парковки при объектах соц. обслуживания, ед.	2	11	3	1	1	3	2	23
Подземные пешеходные переходы (отдельные, не совмещенные с метрополитеном), ед.	1	6	11	3	8	4	2	35
Парковки в жилых многоквартирных домах, ед.	5	142	33	4	18	41	25	268
Общее количество всех подземных объектов, ед.	9	163	48	12	29	53	30	344

Территория города Казани разделена на 7 административных районов: Авиастроительный, Московский, Ново-Савиновский, Кировский, Советский, Приволжский и Вахитовский. Следует отметить, что ни численность населения района, ни его площадь не определяют количество объектов подземной инфраструктуры (см. табл. 2). Так, площадь Вахитовского района в 4,5 раза меньше территории Приволжского района, однако количество подземных объектов в нем в 3 раза больше (см. рис. 1).

Районы сильно различаются историей, социально-экономическими показателями (экономическая специализация района, развитость социальной инфраструктуры, структура проживающего в районе населения и др.), физико-географическими факторами (географическое положение, гидрологические и геологические особенности) и экологическими условиями. Как следствие — неравномерное распределение объектов подземной транспортной инфраструктуры по административным районам (см. рис. 2).

Как и следовало ожидать, максимальное количество подземных транспортных сооружений расположено в центре, в Вахитовском районе (на долю которого приходится 47% всех объектов подземной транспортной инфраструктуры города). Затем следуют районы, примыкающие к центру: Приволжский, Кировский, частично Советский — на их долю приходится соответственно 15, 14 и 9% подземных транспортных объектов города.

Производственная направленность Авиастроительного и Московского районов и сложные гидрогеологические условия Ново-Савиновского района обусловили наименьшее количество объектов подземной инфраструктуры на их территории.

Центральное положение Вахитовского района и его историческая привлекательность, обусловленная максимальной концентрацией на данной территории большого количества объектов культурного наследия, административных, культурных,

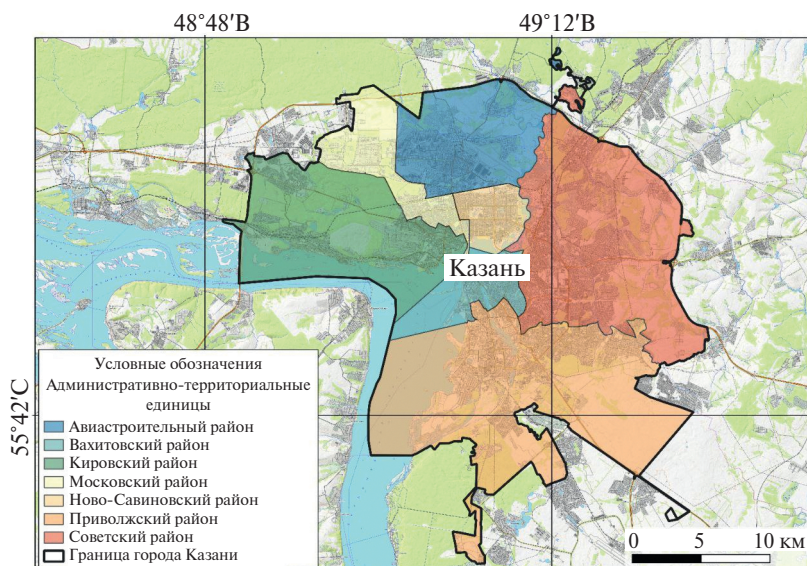


Рис. 1. Административное деление г. Казани.

Fig. 1. Administrative division of the city of Kazan.

Таблица 2. Сведения о численности, площади, плотности населения и количестве подземных объектов по районам г. Казани [29]

Table 2. Information on the number, area, population density and number of underground facilities by districts of the city of Kazan

Наименование	Население, тыс. человек	Площадь, км ²	Плотность населения, чел./км ²	Число подземных объектов
Авиастроительный	118.1	71.8	1645	9
Вахитовский	85.0	25.8	3292	163
Кировский	140.0	108.8	1287	48
Московский	133.2	38.8	3431	12
Ново-Савиновский	222.9	20.7	10790	29
Приволжский	272.5	115.2	2366	53
Советский	336.9	167.0	2018	30
Казань	1308.6	548.0	2388	344

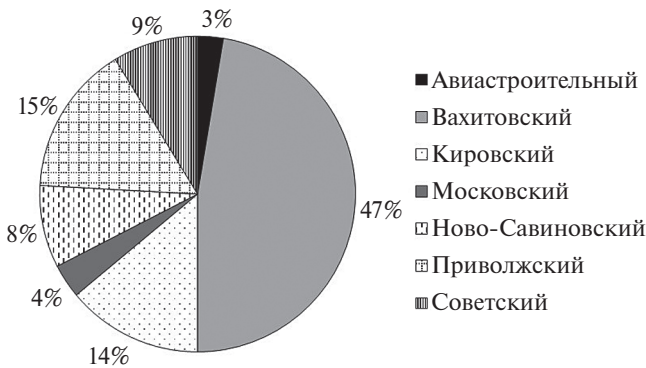


Рис. 2. Объекты подземной транспортной инфраструктуры по районам.

Fig. 2. Underground transport infrastructure facilities by region.

образовательных, спортивных сооружений, гостиниц, множества кафе и ресторанов, обострили проблему парковок для туристов (в местах туристического паломничества) и жителей города (в местах проживания и труда) (см. рис. 3).

Плотная застройка района и система градостроительных ограничений в центре города делает традиционные подходы (создание наземного паркинга) сложно реализуемыми [16] и заставляет девелоперов активнее использовать подземное пространство для обустройства парковок как при объектах социального обслуживания (48% от их общего числа в городе), так и в жилых многоквартирных домах (53% от их общего городского числа).

Решению транспортных проблем в исторической части города способствует работа метрополитена (3 первые открытые станции находились именно в Вахитовском районе), а также подземные переходы в местах максимальной концентрации пешеходов. Характеризуя подземные транспортные сооружения в целом, можно констатировать, что парковки в жилых многоквартирных домах являются в городе самыми распространенными и многочисленными объектами подземной инфра-

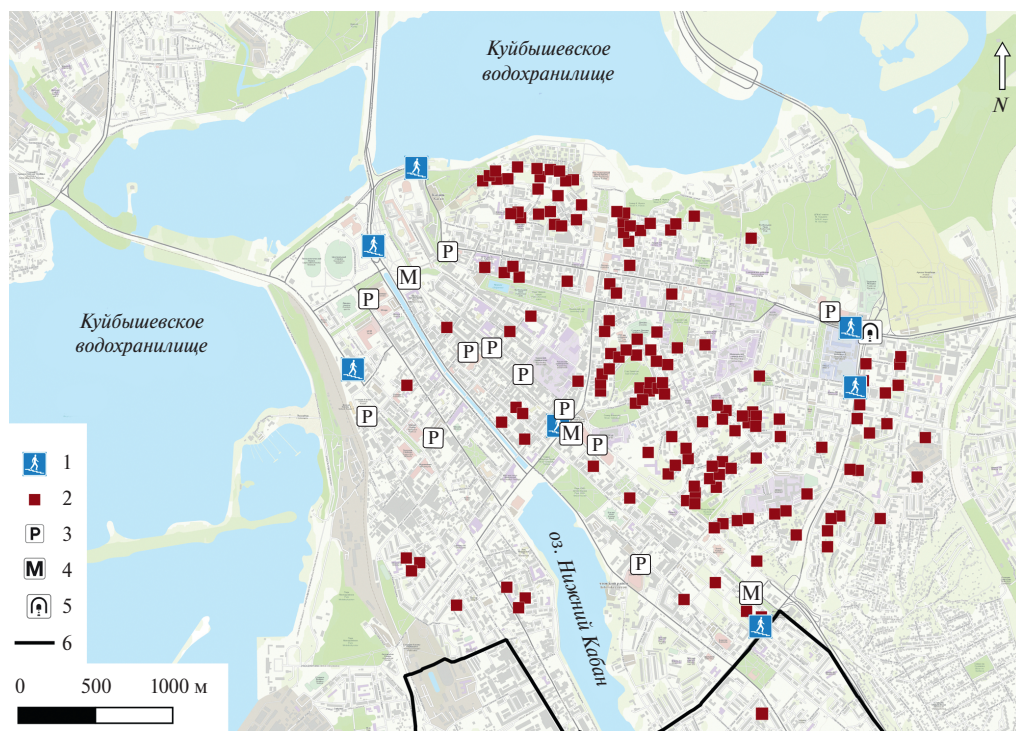


Рис. 3. Объекты подземной инфраструктуры Вахитовского района: 1 — подземные пешеходные переходы; 2 — подземные парковки в жилых многоквартирных домах; 3 — подземные парковки при объектах социального обслуживания; 4 — станции метрополитена; 5 — тоннели; 6 — граница района.

Fig. 3. Underground infrastructure facilities of the Vakhitovskiy district: 1 — underground pedestrian crossings; 2 — underground parking in residential apartment buildings; 3 — underground parking at social service facilities; 4 — metro stations; 5 — tunnels; 6 — district border.

структуры (см. табл. 1), что обусловлено, в основном, возрастающим уровнем автомобилизации населения, проживающего на территории г. Казани (см. рис. 4).

По данным информационного агентства “Татар-информ” в 2022 г. абсолютное количество автомобилей у физических лиц составляло 452 тыс., количество автомобилей, приходящееся на 1000 жителей, — 359 единиц [10]. Растущий парк автотранспорта и возрастающий уровень автомобилизации приводят к увеличению нагрузки на дорожную сеть и обострению проблемы поиска территорий для строительства парковок.

По административным районам распределение подземных парковок при жилых домах неравномерное: как и следовало ожидать, максимальное количество подобных объектов находится в центре, в Вахитовском районе, который является исторической частью, в которой возник город. В настоящее время именно здесь располагаются основные достопримечательности. Район имеет развитую инфраструктуру, хорошую транспортную доступность, характеризуется отсутствием крупных промышленных предприятий и является наиболее комфортным и благоприятным для проживания. Свободные незастроенные территории здесь практически отсутствуют, но данный район остается привлекательным для застройщиков (стоимость квартир здесь в среднем в 1.5 раза выше, чем в других районах). Эти обстоятельства

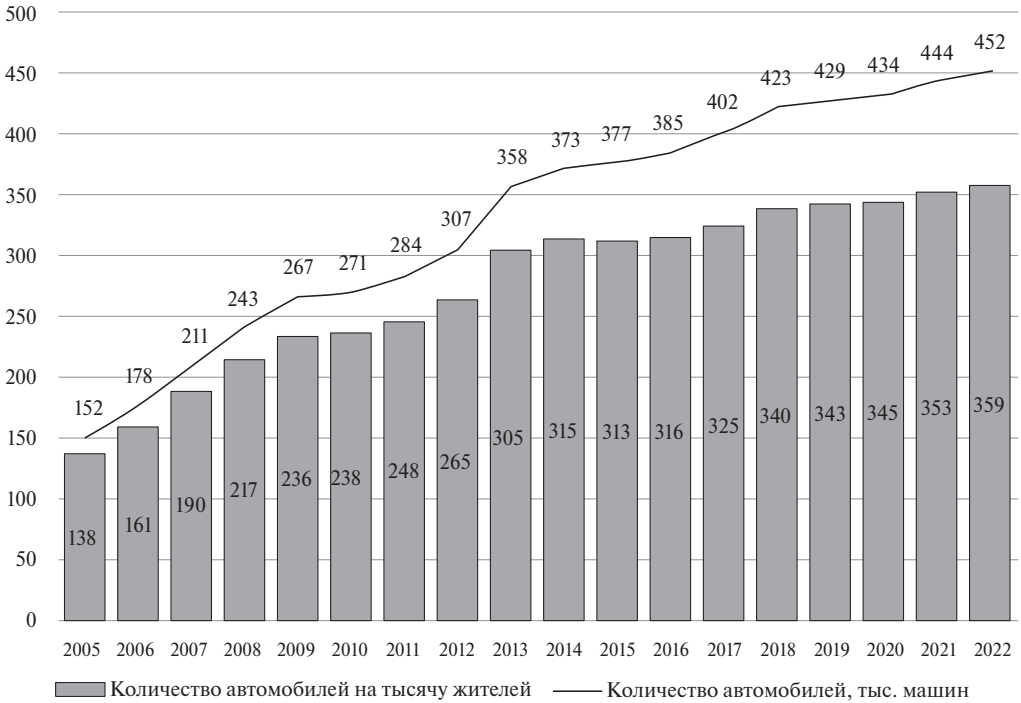


Рис. 4. Уровень автомобилизации в городе Казани за период 2005–2022 гг.

Fig. 4. Number of cars in the city of Kazan for the period of 2005–2022.

приводят к тому, что в Вахитовском районе отмечается наибольшее количество эпизодов точечной застройки [24]. При точечной застройке в условиях ограниченного пространства невозможно обеспечить необходимое количество наземных парковочных мест (в том числе и многоуровневых), поэтому остается вариант с подземным паркингом.

Следует отметить, что на географию жилой застройки, имеющей подземный паркинг (как и на другие объекты подземной инфраструктуры), влияют природные и техногенные факторы. Так, территория Ново-Савиновского района изначально была подтоплена из-за особенностей своего геоморфологического положения — она расположена в низовьях правого аккумулятивного берега долины реки Казанки, что обусловило высокий уровень грунтовых вод. Создание Куйбышевского водохранилища (1955–1957 гг.) привело к техногенному (гидротехнический тип) подтоплению исследуемой территории. Подъем уровня воды в р. Волге в среднем на 11,3 м от меженного уровня увеличил его влияние в устьевой части Казанки вглубь до 5 км [3].

Помимо подтопления, обусловленного созданием водохранилища, наблюдается также и градостроительное подтопление, которое формируется за счет попадания в грунты воды, циркулирующей по подземным городским коммуникациям (подземные теплотрассы, водопроводные и канализационные системы) [8]. В результате совокупности указанных типов подтопления происходит формирование грунтовых вод на глубине от 2 до 3 метров от поверхности [3].

Подтопление территории на протяжении длительного времени препятствовало вовлечению Ново-Савиновского района в активное городское строительство. Район начал интенсивно застраиваться лишь во второй половине XX в. — после работ, связанных с увеличением абсолютных отметок поверхности методом намыва и насыпки грунта [20]. Намывные грунты представлены песками различного гранулометрического состава, преимущественно водонасыщенными, которые изначально относились к аллювиальным отложениям. Мощность намывных грунтов в среднем колеблется от 2 до 4 м, в некоторых случаях достигая 8–11 м. Песчаные насыпные грунты представлены преимущественно кварцевыми песками от пылеватых до среднезернистых, различной степени водонасыщения. Изначально они являлись аллювиальными отложениями, добытыми карьерным способом в окрестностях г. Казани. Мощность насыпных песчаных грунтов редко достигает 5 м [8]. По данным А.И. Латыпова с соавт. [15], песчаные насыпные и намывные грунты данной территории при определенных условиях характеризуются динамической неустойчивостью (разуплотнение, доуплотнение, разжижение и накопление сдвиговых деформаций).

В настоящее время данные искусственные грунты являются основанием для жилых и промышленных сооружений, но, как правило, ограничивают строительство подземных объектов, поскольку на грунтах по инженерно-геологическим условиям, относящимся к средним и сложным, возможно возводить подземные сооружения, в основном 1-й и 2-й геотехнических категорий. К ним относятся небольшие и относительно простые сооружения глубиной не более 2 м, устраиваемые выше уровня подземных вод, а также подземные сооружения, возводимые в условиях отсутствия неблагоприятных природных и техногенных процессов, а также специфических и структурно-неустойчивых грунтов [21]. Этим в основном объясняется тот факт, что, несмотря на высокую плотность населения и современную многоярусную застройку, в данном районе в настоящее время обустроено незначительное количество подземных парковок (18 ед.).

Незначительное количество жилых домов с подземным паркингом в Авиастроительном и Московском районах обусловлено их промышленной направленностью (в Авиастроительном районе расположены вертолетный, авиастроительный и моторостроительный заводы) и, как следствие, неблагоприятной экологической обстановкой. Наличие территориальных резервов, удаленность от центра, недостаточно развитая инфраструктура делает их малопривлекательными для застройщиков жилья бизнес- и премиум-классов. Следует отметить, что кроме решения территориальных проблем подземные паркинги обеспечивают быстрый и удобный доступ, лучшую сохранность транспортного средства (поскольку имеют постоянный температурный режим) и экологичность (за счет централизованного выброса выхлопных газов через вентиляционные шахты, с устройством систем фильтрации), что существенно повышает уровень жизни жителей и качество городской среды [28].

Подземные пешеходные переходы — это практически единственные объекты подземной инфраструктуры, сооруженные еще во времена СССР. Так, на территории Казани существовало 2 таких объекта (один — в центре города на ул. Пушкина, второй — на ул. Декабристов). В настоящее время насчитывается 35 подземных переходов, и столь значительное увеличение их количества обусловлено реорганизацией транспортной системы города. Современные подземные пешеходные переходы имеются во всех частях города (больше всего их в Кировском, Вахитовском и Ново-Савиновском районах); приурочены они к местам тяготения пешеходных

потоков (около железнодорожных станций, торговых центров, парков и др.), а также к магистралям с непрерывным движением транспорта и перекресткам.

Общее количество парковок и автостоянок при объектах социального обслуживания в Казани составляет 23 единицы (7% от общего количества транспортных подземных объектов города), большинство из них возведены в постсоветский период (см. табл. 1). Парковки при объектах социального обслуживания (торговые и бизнес-центры, спортивные сооружения, набережные и др.) можно разделить на спроектированные изначально (ТЦ “Мега”, “Южный”, “Kazan Mall”, Федосеевская набережная и др.) и сооруженные на прилегающих территориях уже в период эксплуатации объекта (Отель “Korston Club”, парковка у железнодорожного вокзала Казань-1, у Центрального рынка и др.). Максимальная концентрация (47% от общего количества в городе) парковок данного вида отмечается в центре города (Вахитовский район) под торговыми центрами, у здания Национальной библиотеки, Домом правительства РТ и др. Незначительное количество подземного паркинга в других районах обусловлено наличием в этих частях города территориальных резервов для обустройства наземных (ТЦ “Тандем”) и многоуровневых парковок (Ледовый дворец спорта “Татнефть Арена”, ТЦ “Савиново”). Кроме того, ограничение распространения подземного паркинга связано со сложностями его сооружения, обусловленными специфическими гидрогеологическими условиями.

Важнейшим элементом подземной транспортной инфраструктуры многих городов-миллионников является метрополитен. В Казани он функционирует с 2005 года, является единственным метрополитеном, построенным в постсоветское время в стране, его открытие было приурочено к празднованию 1000-летия Казани. Метрополитен состоит из одной линии (проходит с севера через центр на юго-восток города), имеет протяженность 16,8 км и включает 11 станций (некоторые станции мелкого заложения, 1 станция надземная) (см. табл. 1). Целью создания данной линии было соединение спальных районов на юго-востоке (Приволжский район) с центром (Вахитовский район) и промышленным севером (Авиастроительный и Московский районы). В настоящее время ведется строительство второй ветки казанского метрополитена, состоящей из 4 станций глубиной заложения 14–17 м: “Тулпар”, “Зилант”, “Академическая”, “100-летие ТАССР”.

Необходимость возведения автотранспортных тоннелей возникла в основном при реконструкции существующих магистралей, организации движения транспорта в разных уровнях на пересечениях автомагистралей. Автотранспортные тоннели в городе имеют неглубокое заложение и небольшую протяженность, по районам города они распределены почти равномерно (см. табл. 1).

Рациональное использование подземного пространства сложно реализовать без наличия разработанной соответствующей нормативно-правовой базы (стратегий социально-экономического развития, программ, регламентов и др.) для конкретных городов. Так, в Москве обустройство подземного пространства максимально реализовано в рамках “Концепции освоения подземного пространства и основных направлений развития подземной урбанистики Москвы”, “Городской программы комплексного градостроительного освоения подземного пространства города Москвы на период 2009–2011 гг.” (Постановление Правительства Москвы от 18.11.2008 № 1049-ПП), а также Генерального плана до 2025 г. [7]. Реализация указанных программ позволяет решить планировочные задачи сохранения как открытых пространств, так и исторической застройки, обеспечивает доступность объектов обслуживания, мест приложения труда и хранения автотранспорта, приводит

к интенсификации использования производственных территорий, развитию инженерной и транспортной инфраструктуры [2].

Заключение

Генеральный план г. Казани (2020) [4] не имеет сформированного комплексного плана развития подземной инфраструктуры, хотя в его отдельных разделах представлены перспективы строительства новых линий метрополитена и подземных пешеходных переходов. Возможно, этим обусловлено то, что существующая подземная транспортная инфраструктура в городе — это, как правило, изолированные, не связанные между собой и наземными объектами сооружения (только 3 из 11 станций метро имеют подземные торговые галереи; 1 станция обеспечивает переход на железнодорожный вокзал и автостанцию, и 1 станция имеет переход к пригородным поездом). Однако связь подземных сооружений между собой (там, где это возможно), а также с объектами наземной инфраструктуры (остановки транспорта, пункты универсально-бытового обслуживания, торговые точки, места общественного питания и прочее) в единую систему обеспечивает эффективное использование не только подземного, но и наземного пространства города [5, 14].

Расширение и конкретизация нормативно-правовых положений в части подземной урбанистики будет способствовать дальнейшему развитию не только подземной транспортной инфраструктуры, но и других направлений (по функциям) эксплуатации подземного пространства, что в перспективе приведет к комплексному их использованию. В результате градостроительная деятельность будет соответствовать принципам рационального использования городских территорий, особенно в центральной части городов, где запрос на жилую и общественную застройку достаточно высок.

Список литературы

1. Беляев В.Л. Основы подземного градоустройства. М.: МГСУ, 2012. 198 с.
2. Беляев В.Л. Планирование градостроительного освоения подземного пространства г. Москвы // Вестник МГСУ. 2013. № 1. С. 35–46.
3. Бубнов Ю.П., Давыдов Р.Н., Захарова Л.Н., Полякова Н.В. Подземные воды г. Казани // Экология города Казани. Казань: Изд-во “Фэн” Академии наук РТ, 2005. С. 70–80.
4. Генеральный план МО г. Казань, утвержденный решением Казанской городской Думы от 28.02.2020, № 5-38. URL: <https://kzn.ru/content/upravlenie-arkhitektury/GenPlan/Приложение%20к%20решению%20№%205-38.pdf> (дата обращения: 01.12.2023).
5. Голицынский Д.М. Комплексное освоение подземного пространства больших городов // Транспорт Российской Федерации. 2006. № 5. С. 92–94.
6. Единая информационная система жилищного строительства Минстроя РФ. URL: <https://наш.дом.рф> (дата обращения: 07.10.2023).
7. Генеральный план города Москвы. Положения о территориальном планировании города Москвы. Кн. 1. М., 2010. 609 с. URL: https://www.mos.ru/upload/content/files/kniga_1.pdf (дата обращения: 10.12.2023).
8. Жаркова Н.И., Черныйчук Г.А., Жарков И.Я., Галеев Р.К. Техногенные грунты г. Казани: особенности формирования состава, строения и свойств // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2013. Т. 155. № 4. С. 130–143.
9. Закон РСФСР от 23 ноября 1990 г. “О земельной реформе” (с изменениями и дополнениями). URL: <https://base.garant.ru/10107009> (дата обращения: 10.12.2023).

10. Кузнецова Э. Казань за 2023 год получила 400 млн рублей от работы городских парковок [Электронный ресурс] // Информационное агентство “Татар-информ”. URL: <https://www.tatar-inform.ru/news/kazan-za-2023-god-polucila-400-mln-rublei-ot-raboty-gorodskix-parkovok-5930709> (дата обращения: 10.01.2024).
11. Казанский паркинг. URL: <https://parkingkzn.ru> (дата обращения: 01.12.2023).
12. Карта Казани: улицы, дома и организации города — ГИС. URL: <https://2gis.ru/kazan> (дата обращения: 15.12.2023).
13. Конюхов Д.С. Систематизация подходов к освоению подземного пространства городов // Вестник МГСУ. 2010. № 4. С. 63–67.
14. Коростелева Н.В., Ганиев Э.Р., Насиров Р.К. Проблемы организации мест для хранения автомобилей на жилой территории на примере города Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 3 (76). С. 63–72.
15. Латыпов А.И., Жаркова Н.И., Черныйчук Г.А. Районирование территории города Казани по устойчивости грунтовых оснований к динамическому воздействию // Геотехника. 2013. № 1. С. 42–48.
16. Львова О.М., Тулин П.К. Подземные автоматизированные паркинги в центре города // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 4 (6). С. 11–15.
17. Общественный проект “Дом.МинЖКХ.РУ”. URL: dom.mingkh.ru (дата обращения: 05.11.2023).
18. Основополагающие принципы устойчивого пространственного развития Европейского континента / Пер. К.А. Анаичева. 2002. 31 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://rm.coe.int/168070018c> (дата обращения: 05.12.2024).
19. Публичная кадастровая карта РФ. URL: публичная-кадастровая-карта.рф (дата обращения: 5.12.2023).
20. Сафина Г.Р., Федорова В.А., Демина Л.С. Вовлечение подтопленных территорий в городское строительство // Естественнонаучные исследования в Чувашии и сопредельных регионах. Чебоксары: Рекламно-полиграфическое бюро “Плакат”, 2022. Вып. 8. С. 144–153.
21. СП 248.1325800.2016. Сооружения подземные. Правила проектирования // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума “Кодекс” [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200137144?marker=7D20K3§ion=text> (дата обращения: 26.11.2024).
22. СП 473.1325800.2019. Сооружения подземные. Здания, сооружения и комплексы подземные. Правила градостроительного проектирования правила проектирования // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума “Кодекс” [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564543320> (дата обращения: 26.11.2024).
23. Умнов В.А., Харченко А.В. Проблемы развития городской подземной транспортной инфраструктуры. М.: Издательство МГГУ, 2004. 126 с.
24. Федорова В.А., Сафина Г.Р., Зарипова С.Н. Точечная застройка объектов жилого назначения как способ решения территориальных проблем (на примере города Казань) // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Географический ф-т МГУ, 2021. Т. 27. Ч. 4. С. 244–259.
25. Федорова В.А., Сафина Г.Р. Увеличение этажности зданий как элемент концепции “компактный город” (на примере Казани) // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Географический ф-т МГУ, 2023. Т. 29. № 2. С. 437–452.
26. Фонд развития территорий. URL: <https://фрт.рф> (дата обращения: 05.12.2023).

27. Циан — база недвижимости в Казани. URL: <https://kazan.cian.ru> (дата обращения: 10.12.2023).
28. Чернышев С.А., Петров А.В. К вопросу о применении многоэтажных механизированных автомобильных стоянок // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. 2009. № 2. С. 32–36.
29. Численность и размещение населения Республики Татарстан: Статистический сборник по итогам Всероссийской переписи населения 2020 года. Т. 1. Казань: Издательский центр Татарстат, 2022. 43с.
30. Яндекс Карты. URL: <https://yandex.ru/maps> (дата обращения: 15.11.2023).
31. Breheny M. The Contradictions of the Compact City, a Review // Sustainable Development and Urban Form / Ed. M. Breheny. London: Pion Limited, 1992. P. 138–159.
32. Newton P. Urban Form and Environmental Performance // Achieving Sustainable Urban Form / Eds. K. Williams, E. Burton, M. Jenks. London: Spon Press, 2000. P. 46–52.
33. Nishioka S., Tannaka Y., Minemura T. Deep Underground Usage for Effective Executing of City Facility Construction // 11th ACUUS Conference: Underground Space: Expanding the Frontiers, Athens, Greece, September 10–13. 2007. P. 291–295.
34. Vähäaho I. Underground space planning in Helsinki // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2014. V. 6. P. 387–398.

The Development of Underground Space as a Way to Optimize Urban Territory: a Case Study of the City of Kazan, Russia

V.A. Fedorova*, G.R. Safina

Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia

**E-mail: fva_14@mail.ru*

Received 29.11.2023

Revised 14.01.2025

Accepted 29.03.2025

Unlimited perimeter sprawl of a city at a certain stage leads to the emergence of social, economic, and environmental problems, which negatively affect the quality of the urban environment. Such a way of extensive urban development can be prevented by turning to the “compact city” concept, based on the most efficient use of internal territorial resources. One of the approaches to optimize processes in the city and stop its territorial extension is the development of urban underground space. This work examines the development of the underground space of the city of Kazan (European Russia), represented by transport infrastructure, as a way to optimize urban areas. The use of current data on the quantity and spatial characteristics of Kazan’s underground transport infrastructure made it possible to assess the scale of development of underground space. At the time of this study, there were 344 underground transport infrastructure objects in the city (underground car parks under residential buildings and social facilities, as well as pedestrian crossings, metro stations, and tunnels). The largest number of underground transport structures is located in the city center, in the Vakhitovsky district (47% of all city facilities). Then the districts adjacent to the city center follow: Privolzhsky, Kirovsky, and partly Sovetsky; they account for 15, 14 and 9% of the city’s underground transport facilities, respectively. The industrial specialization of the Aviastroitel’ny and Moskovsky districts of the city and the complex hydro-geological conditions of the Novo-Savinovsky district determined the smallest number of underground infrastructure facilities on their territory. Rational use of underground space is possible only if there is a regulatory framework related for urban planning that reflects the aspects of underground urbanism. The development of underground space

according to a single urban development plan, linked to the General Plan of the city, will contribute to its comprehensive development and use.

Keywords: city, territorial resources, underground transport infrastructure, urban underground space, urbanization

References

1. Belyayev V.L. *Osnovy podzemnogo gradoustroystva*. M.: MGSU, 2012. 198 s.
2. Belyayev V.L. *Planirovaniye gradostroitel'nogo osvoyeniya podzemnogo prostranstva g. Moskvy* // *Vestnik MGSU*. 2013. № 1. S. 35–46.
3. Bubnov Yu.P., Davydov R.N., Zakharova L.N., Polyakova N.V. *Pozdemnyye vody g. Kazani* // *Ekologiya goroda Kazani*. Kazan': Izd-vo "Fen" Akademii nauk RT, 2005. S. 70–80.
4. General'nyy plan MO g. Kazan', utverzhdenyy resheniyem Kazanskoy gorodskoy Dumy ot 28.02.2020, № 5-38. URL: <https://kzn.ru/content/upravlenie-arkhitektury/GenPlan/Prilozheniye%20k%20resheniyu%20№5-38.pdf> (data obrashcheniya: 01.12.2023).
5. Golitsynskiy D.M. *Kompleksnoye osvoyeniye podzemnogo prostranstva bol'shikh gorodov* // *Transport Rossiyskoy Federatsii*. 2006. № 5. S. 92–94.
6. Yedinaya informatsionnaya sistema zhilishchnogo stroitel'stva Ministroya RF. URL: <https://наш.дом.рф> (data obrashcheniya: 07.10.2023).
7. General'nyy plan goroda Moskvy. *Polozheniye o territorial'nom planirovanii goroda Moskva*. Kn. 1. M., 2010. 609 s. URL: https://www.mos.ru/upload/content/files/kniga_1.pdf (data obrashcheniya: 10.12.2023).
8. Zharkova N.I., Cherniyuchuk G.A., Zharkov I.Ya., Galeyev R.K. *Tekhnogennyye grunty g. Kazani: osobennosti formirovaniya sostava, stroyeniya i svoystv* // *Uchen. zap. Kazan. univer.. Ser. Yestestvennyye nauki*. 2013. T. 155. № 4. S. 130–143.
9. Zakon RSFSR ot 23 noyabrya 1990 g. "O zemel'noy reforme" (s izmeneniyami i dopolneniyami). URL: <https://base.garant.ru/10107009> (data obrashcheniya: 10.12.2023).
10. Kuznetsova E. Kazan' za 2023 god poluchila 400 mln rublej ot raboty gorodskikh parkovok // *Informatsionnoye agentstvo "Tatar-Inform"*. URL: <https://www.tatar-inform.ru/news/kazan-za-2023-god-polucila-400-mln-rublei-ot-raboty-gorodskix-parkovok-5930709> (data obrashcheniya: 10.01.2024).
11. Kazanskiy parking. URL: <https://parkingkzn.ru> (data obrashcheniya: 01.12.2023).
12. Karta Kazani: ulitsy, doma i organizatsii goroda — 2GIS. URL: <https://2gis.ru/kazan> (data obrashcheniya: 15.12.2023).
13. Konyukhov D.S. *Sistematizatsiya podkhodov k osvoyeniyu podzemnogo prostranstva gorodov* // *Vestnik MGSU*. 2010. № 4. S. 63–72.
14. Korosteleva N.V., Ganiyev E.R., Nasirov R.K. *Problemy organizatsii mest dlya khraneniya avtomobiley na zhiloy territorii na primere goroda Volgograda* // *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: stroitel'stvo i arkhitektura*. 2019. Vyp. 3 (76). S. 63–72.
15. Latypov A.I., Zharkova N.I., Cherniyuchuk G.A. *Rayonirovaniye territorii goroda Kazani po ustoychivosti gruntovykh osnovaniy k dinamicheskomu vozdeystviyu* // *Geotekhnika*. 2013. № 1. S. 42–48.
16. L'vova O.M., Tulin P.K. *Podzemnyye avtomatizirovannyye parkingi v tsentre goroda* // *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal*. 2009. № 4 (6). S. 11–15.
17. Obshchestvennyy proekt "Dom.MinGKH.RU". URL: dom.mingkh.ru (data obrashcheniya: 05.11.2023).

18. Osnovopolagayushchiye printsiipy ustoychivogo prostranstvennogo razvitiya Yevropeyskogo kontinenta / Per. K.A. Anaicheva. 2002. 31 s. URL: <https://rm.coe.int/168070018c> (data obrashcheniya: 05.12.2024).
19. Publichnaya kadaстровaya karta RF. URL: [публичная-кадастровая-карта.рф](#) (data obrashcheniya: 05.12.2023).
20. Safina G.R., Fedorova V.A., Demina L.S. Vovlecheniye podtoplennykh territoriy v gorodskoye stroitel'stvo // Yestestvennonauchnyye issledovaniya v Chuvashii i sopredel'nyh regionah. Cheboksary: Reklamno-poligraficheskoye byuro "Plakat", 2022. Vyp. 8. S. 144–153.
21. SP 248.1325800.2016. Sooruzheniya podzemnyye pravila proyektirovaniya // Elektronnyy fond normativno-tekhnicheskoy i normativno-pravovoy informatsii Konsortsiума "Kodeks" [Elektronnyy resurs]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200137144?marker=7D20K3§ion=text> (data obrashcheniya 26.11.2024).
22. SP 473.1325800.2019. Sooruzheniya podzemnyye Zdaniya, sooruzheniya i kompleksy podzemnyye. Pravila gradostroitel'nogo proyektirovaniya pravila proyektirovaniya // Elektronnyy fond normativno-tekhnicheskoy i normativno-pravovoy informatsii Konsortsiума "Kodeks" [Elektronnyy resurs]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564543320> (data obrashcheniya: 26.11.2024).
23. Umnov V.A., Kharchenko A.V. Problemy razvitiya gorodskoy podzemnoy transportnoy infrastruktury. M.: Izdatel'stvo MGGU, 2004. 126 s.
24. Fedorova V.A., Safina G.R., Zaripova S.N. Tochehnaya zastroyka ob'yektov zhilogo naznacheniya kak sposob resheniya territorial'nykh problem (na primere goroda Kazan') // InterCarto. InterGIS. Geoinformacionnoye obespecheniye ustojchivogo razvitiya territorij: Materialy Mezhdunar. konf. M.: Geograficheskij f-t MGU, 2021. T. 27. Ch. 4. S. 244–259.
25. Fedorova V.A., Safina G.R. Uvelicheniye etazhnosti zdaniy kak element kontseptsii "kompaktnyy gorod" (na primere Kazani) // InterCarto. InterGIS. Geoinformacionnoye obespecheniye ustojchivogo razvitiya territorij: Materialy Mezhdunar. konf. M.: Geograficheskij f-t MGU, 2023. T. 29. № 2. S. 437–452.
26. Fond razvitiya territoriy. URL: <https://фпр.рф> (data obrashcheniya: 05.12.2023).
27. Tsian — baza nedvizhimosti v Kazani. URL: <https://kazan.cian.ru> (data obrashcheniya: 10.12.2023).
28. Chernyshev S.A., Petrov A.V. K voprosu o primenenii mnogoetazhnykh mekhanizirovannykh avtomobil'nykh stoyanok // Vestnik Donetskoy akademii avtomobil'nogo transporta. 2009. № 2. S. 32–36.
29. Chislennost' i razmeshcheniye naseleniya Respubliki Tatarstan: Statisticheskij sbornik po itogam Vserossiyskoy perepisi naseleniya 2020 goda. T. 1. Kazan': Izdatel'skiy tsentr Tatarstatstat, 2022. 43 s.
30. Yandeks Karty. URL: <https://yandex.ru/maps> (data obrashcheniya: 15.11.2023).
31. Breheny M. The contradictions of the compact city, a review // Sustainable Development and Urban Form / Ed. M. Breheny. London: Pion Limited, 1992. P. 138–159.
32. Newton P. Urban form and environmental performance // Achieving Sustainable Urban Form / Eds. K. Williams, E. Burton, M. Jenks. London: Spon Press, 2000. P. 46–52.
33. Nishioka S., Tannaka Y., Minemura T. Deep Underground Usage for Effective Executing of City Facility Construction // 11th ACUUS Conference: Underground Space: Expanding the Frontiers, Athens, Greece, September 10–13. 2007. P. 291–295.
34. Vähäaho I. Underground space planning in Helsinki // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2014. V. 6. P. 387–398.

УДК 911.375

ПЛОТНОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ РАЙОНОВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА КАК ИНДИКАТОР КАЧЕСТВА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

© 2025 г. Т.А. Андреева^{1,2}, Ю.В. Дворников^{2,*}, С.Д. Полякова²¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия² Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: dvo-juri@yandex.ru

Поступила в редакцию 31.01.2024 г.

После доработки 01.12.2024 г.

Принята к публикации 29.03.2025 г.

Показана неполнота существующего набора индикаторов качества городской среды. Микро- и мезо-геоурбанистические исследования позволяют более корректно оценивать текущее состояние городской среды. Интегральный показатель “Индекс качества городской среды” может быть улучшен и дополнен путем включения дополнительных индикаторов (плотности населения селитебной зоны, этажности застройки), которые оказывают непосредственное влияние на комфорт и качество жизни населения. Особенно важное значение в этом ряду имеет показатель плотности населения, который может быть рассчитан на разных уровнях административно-территориального деления. Приводятся конкретные примеры картографического отображения этого показателя. В частности, создана и апробирована для некоторых районов Санкт-Петербурга методика расчета и картографического отображения показателя плотности населения селитебной зоны с исключением из этих расчетов площадей без жилой застройки. Введение показателя плотности населения в оценку качества жизни горожан позволит ее уточнить и обогатить, а расчет плотности населения по предложенной методике позволит получить наиболее релевантные данные.

Ключевые слова: городская среда, плотность населения, качество жизни, индикаторы качества городской среды, жилая застройка

DOI: 10.31857/S0869607125020037, EDN: KXHHBE

Введение

Увеличение концентрации населения в крупных городах зачастую ведет к принятию решений по повышению плотности застройки (уплотнительная или точечная застройка), увеличению этажности жилых зданий или расширению административных границ города. Упрощенно говоря, рост города возможен либо вширь, либо ввысь. Компактная многоэтажная застройка — популярное и широко применявшееся и применяемое решение проблем развития города, удобное прежде всего для городских властей и девелоперов. Обратной стороной этих решений является ухудшение качества жизни горожан. Неблагоприятный эффект провоцирует многочисленные проблемы — недостаточность инсоляции [8], повышение различных загрязнений среды [3], возрастание психологического дискомфорта [5], трудности с транспортной доступностью. Чрезвычайно высокая плотность населения также негативно сказывается на формировании архитектурно-планировочных решений городского жилья. Плотность населения всегда была и остается одной из базовых экономико-географических характеристик

региона и района любого уровня. Так, например, при составлении Атласа Ленинградской области (выполнен по гранту РГО в 2022 году) в социально-экономическом блоке, с учетом важности этого показателя в экономико-географическом анализе, авторами было принято решение отобразить плотность населения не на одной, а на двух картах — в традиционном [1, с. 50] и в дазиметрическом [1, с. 51] отображении.

Материалы и методы

Для расчета плотности населения жилых зон в геоинформационной системе QGIS нами были выполнены уточненные карты районов Санкт-Петербурга, с их делением по муниципальным образованиям. Для получения площади, на которую будет делиться население муниципального образования, была выявлена площадь только жилой застройки с исключением акваторий, промышленных территорий, зон зеленых насаждений, площадей, занятых под городскую инфраструктуру. Численность же населения в муниципальном образовании получена из базы данных показателей муниципальных образований [2].

Результаты и обсуждение

Для определения качества жизни в районе или городе в целом привлекаются различные показатели. Широко известен набор показателей, входящий в интегральный индекс “6 пространств — 6 критериев”, на основе которого составляется ежегодное ранжирование российских городов в десяти размерно-климатических группах, исходя из размера, численности населения и схожих климатических условий. Разработку критериев осуществляли ООО “КБ Стрелка” и ООО “ДОМ.РФ”, в результате чего Минстроем России 31 октября 2017 года был утвержден первый нормативный акт, регламентирующий подготовку ежегодного рейтинга субъектов Российской Федерации по качеству городской среды — приказ “Об утверждении Методики определения индекса качества городской среды муниципальных образований Российской Федерации” № 1494/пр [9]. Сегодня ежегодное ранжирование российских городов составляется на основании Распоряжения Правительства РФ от 23.03.2019 № 510-р (ред. от 20.09.2023) [10]. Это, в свою очередь, стимулирует городские власти к шагам по улучшению этих критериев, поскольку достижение определенных показателей дает возможность претендовать на федеральные субсидии. Приоритетный проект “Формирование комфортной городской среды” использует индекс как один из критериев, на основании которого города получают финансирование. Такой подход можно только приветствовать, но выбор показателей вызывает определенные вопросы.

Никто не будет спорить с тем, что доля твердых коммунальных отходов, направленных на обработку и утилизацию, или обеспеченность спортивной инфраструктурой крайне важны для горожан. Но, очевидно, упущены некоторые не менее важные и при этом относительно несложно рассчитываемые показатели.

Одним из главных упущений нам видится отсутствие показателя плотности населения. Даже не будучи специалистом в геоурбанистике, обычный горожанин при выборе места жительства или оценке качества своей жизни интуитивно будет учитывать показатель количества людей, проживающих в рамках района, муниципального образования, квартала. Специалисту же, опираясь на вполне доступные данные, учитывать плотность населения при оценке качества городской среды просто необходимо. (Оговоримся при этом, что здесь не должно быть прямой пропорциональности в оценке по принципу “чем меньше плотность населения, тем выше уровень комфорта”, поскольку очень низкая плотность населения формирует сре-

ду с ограниченным набором досуговых и культурно-бытовых объектов, так же как и не может быть качественно обслужена транспортом общего пользования).

При подсчете плотности населения в городе можно пойти упрощенным путем и взять плотность просто как частное от деления всего населения города на всю площадь города, что уже даст определенную картину для сравнения с другими городами. При необходимости более углубленного исследования можно “дробить” плотность по все более мелким локациям, получая, соответственно, все более подробную картину.

Так, нами составлена карта плотности населения Санкт-Петербурга по муниципальным образованиям (рис. 1).

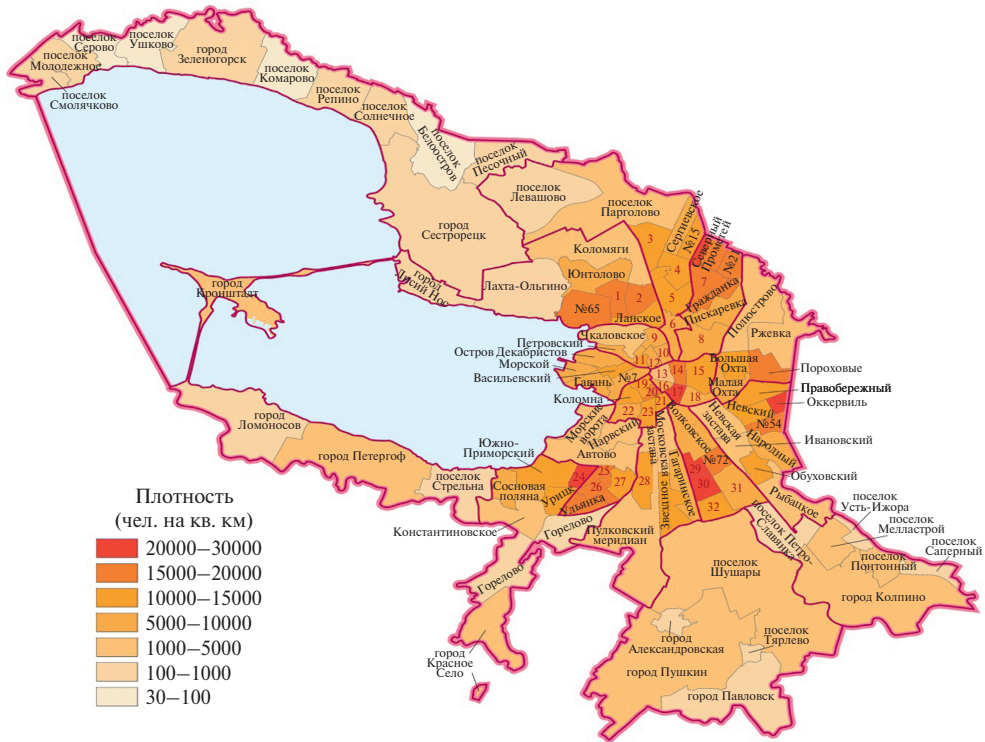


Рис. 1. Плотность населения Санкт-Петербурга по муниципальным образованиям (составлено по данным [2]). Цифрами на карте обозначены муниципальные округа: 1 — Озеро Долгое, 2 — Комендантский аэродром, 3 — Шувалово-Озерки, 4 — Сосновское, 5 — Светлановское, 6 — Сампсониевское, 7 — Академическое, 8 — Финляндский, 9 — Аптекарский остров, 10 — Посадский, 11 — Введенский, 12 — Кронверкское, 13 — Дворцовый, 14 — Литейный, 15 — Смольнинское, 16 — № 78, 17 — Владимирский, 18 — Лиговка-Ямская, 19 — Адмиралтейский, 20 — Сенной, 21 — Семёновский, 22 — Екатерингофский, 23 — Измайловское, 24 — Юго-Запад, 25 — Красненькая речка, 26 — Дачное, 27 — Княжево, 28 — Новоизмайловское, 29 — Купchino, 30 — Георгиевский, 31 — Александровский, 32 — Балканский.

Fig. 1. Population density of St. Petersburg by municipality (compiled according to [2]). Numbers on the map indicate municipal districts: 1 — Lake Dolgoye, 2 — Komendantsky Aerodrome, 3 — Shuvalovo-Ozerki, 4 — Sosnovskoye, 5 — Svetlanovskoye, 6 — Sampsoniyevskoye, 7 — Akademicheskoye, 8 — Finlyandsky Island, 9 — Aptekarsky Island, 10 — Posadsky, 11 — Vvedensky, 12 — Kronverkskoye, 13 — Dvortsovy, 14 — Liteiny, 15 — Smolninskoye, 16 — № 78, 17 — Vladimirovsky, 18 — Ligovka-Yamskaya, 19 — Admiralteysky, 20 — Sennoy, 21 — Semyonovsky, 22 — Yekaterinhofsky, 23 — Izmaylovskoye, 24 — Yugo-Zapad, 25 — Krasnenskaya Rechka, 26 — Dachnoye, 27 — Knyazhevo, 28 — Novoizmailovskoye, 29 — Kupchino, 30 — Georgiyevsky, 31 — Aleksandrovsky, 32 — Balkansky.

Напомним, что административно-территориальное деление Санкт-Петербурга имеет двухуровневую систему. Верхний уровень административно-территориальных единиц — 18 районов, в их границах свою деятельность осуществляют исполнительные органы государственной власти. Второй уровень — внутригородские муниципальные образования (МО), их насчитывается 111 (из них: 81 муниципальный округ, 9 городов, 21 поселок). Выделение муниципальных образований служит целям обеспечения местного самоуправления и эффективности государственной власти [7]. Последние существенные преобразования границ районов произошли в 1994 г. (образование Адмиралтейского и Центрального районов) и в 2005 г. (территория ранее существовавшего Ломоносовского района включена в Петродворцовый, а Павловского — в Пушкинский район). Кроме преобразований, отмеченных выше, происходит увеличение площади районов за счет узаконивания и включения в состав города намывных территорий. Приращение площади Санкт-Петербурга — процесс, который начался с момента основания города и интенсивность которого лишь усилилась в наши дни. С середины 60-х годов XX века в городе за счет намыва образовалось более 3 тыс. га новых территорий (улицы Кораблестроителей, Наличная, Савушкина и другие — это бывшая акватория Финского залива). И в наши дни расширение городской территории происходит за счет намыва земли в акватории Финского залива.

Муниципальные образования Санкт-Петербурга имеют существенную дифференциацию по социально-экономическим показателям и территориальные диспропорции. Самый большой муниципальный округ по численности населения — МО № 65 (Приморский район), в нем проживает 190 тыс. человек, а самый маленький — поселок Серово (Курортный район) с численностью чуть более 300 человек [2]. По площади крупнейшим является МО Поселок Шушары (Пушкинский район) — 106 км², а самыми маленькими — МО Введенский и Сенной округ, оба занимающие площадь примерно 1 км². Плотность населения крайне неравномерна, средний показатель для Санкт-Петербурга составляет 3860 чел./км², наименьшая плотность наблюдается в основном у МО, расположенных на периферии города (например, в Курортном районе — до 1000 чел./км²) (см. рис. 1). Наибольшая плотность населения выявлена в шести МО: Владимирский, Оккервиль, Северный, Георгиевский, Купчино — и достигает в них 20–26 тыс. чел./км².

Но и такой подход в определении плотности населения будет страдать неполнотой. Понятно, что при наличии, например, больших парков в Пушкине, присутствие в знаменателе показателя плотности всей площади муниципального образования приведет к не вполне верному отображению объективной действительности. Или, например, известно, что большая часть муниципального образования Поселок Шушары — это свободные от застройки земли, и экстраполяция плотности населения на всю площадь не вполне корректна. Также на показатель плотности будет влиять наличие водных объектов: озер, прудов, рек. Естественно, не имеет смысла учитывать в такого рода расчетах как законсервированные, так и действующие промышленные и инфраструктурные объекты.

Наиболее адекватное отображение даст расчет и картографическое отображение плотности по скорректированной методике, с учетом площади только жилой застройки, с исключением остальных площадей (зеленых зон, промышленных зон, водных объектов).

Итогом проделанной работы стали карты, приведенные на рис. 2–6. Данные карты мы публикуем, с одной стороны, как отправную точку для анализа, а с другой

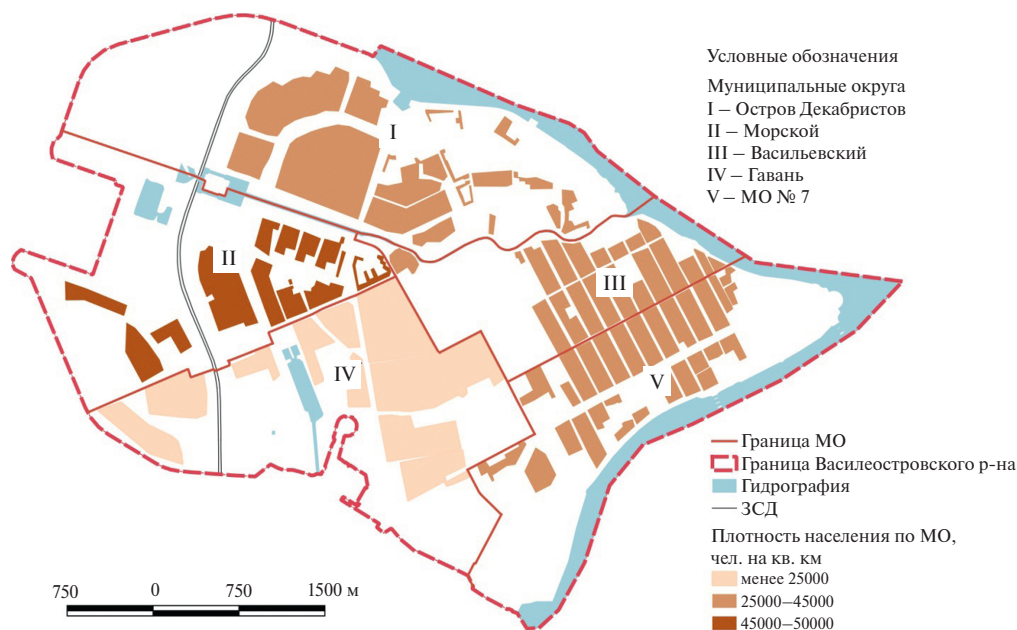


Рис. 2. Плотность населения селитебной зоны Василеостровского района (составлено по данным [2]).

Fig. 2. Population density of the residential area of Vasileostrovsky district (compiled according to [2]).

стороны, как пример того, что подобные расчеты вполне возможны и реализуемы как в численном, так и в картографическом отображении. А раз это так, то одно из главных наших предложений — использовать их для создания более полноценной картины качества городской среды.

При анализе полученных карт обращает на себя внимание высокая степень неравномерности показателя плотности населения селитебных зон, как по районам, так и по муниципальным образованиям. Причем если при создании карты, приведенной на рис. 1, с усредненной плотностью по муниципальному образованию в целом, было достаточно максимальной градации в 20000–30000 чел./км² (реальное максимальное значение у Владимирского округа Центрального района — 26 063 чел./км²), то для создания уточненных карт плотности населения селитебной застройки понадобились градации (в зависимости от выбранного шага в каждой конкретной карте) “более 30000” для МО Оккервиль в Приморском районе (см. рис. 5), “32000–35000” для МО Сосновское и Шувалово-Озерки в Выборгском районе и даже “45000–50000” для заселенных муниципальных округов южной части Кировского района (см. рис. 4) и МО Морской в восточной части Василеостровского района (рис. 2). Это притом, что и остальная часть Васильевского острова заселена весьма плотно.

Такая неравномерность с выделением зон с повышенной плотностью застройки и населения является серьезной как внутрирайонной, так и общегородской проблемой. Понятно, что сфера жилищного строительства является одним из локомотивов экономики города. Помимо прямых поступлений в бюджет, эта сфера тесно связана с многими отраслями сферы обслуживания. Но нельзя не увидеть зависимость между ускоренными темпами жилищного строительства и стремительным ухудшением качества жизни горожанина, попадающего в зоны с высокой плотностью населения.

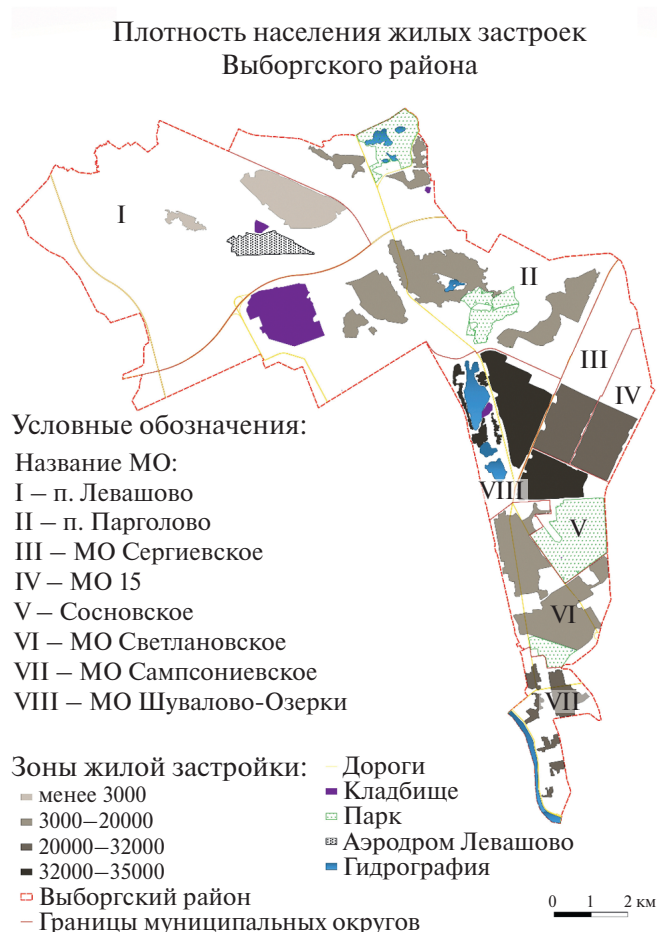


Рис. 3. Плотность населения селитебной зоны Выборгского района (составлено по данным [2]).

Fig. 3. The population density of the residential area of the Vyborgsky district (compiled according to [2]).

Напомним, что, согласно пункту 7.6 СП 42.13330.2011, расчетная плотность населения микрорайона при многоэтажной комплексной застройке и средней жилищной обеспеченности 20 м^2 на 1 чел. не должна превышать 450 чел./га [11, с. 14], что равно 45000 чел./км^2 . А именно этот показатель, как мы видим на рис. 2, 4 и 6, уже достигнут и превышен в некоторых жилых зонах Санкт-Петербурга.

В результате возникает вопрос о том, насколько продумана городская политика в сфере жилищного строительства, насколько учитывается фактор реальной плотности населения в уже имеющихся селитебных зонах и насколько учитываются прогнозные значения. Понятно, что при массовом многоэтажном жилищном строительстве девелоперы, стремясь увеличить норму прибыли, подходят к выполнению санитарных и прочих градостроительных норм зачастую формально, выполняя их по минимально возможному уровню. Но хотелось бы, чтобы руководство страны, в первую очередь — Правительство РФ, разрабатывая и утверждая стратегии развития строительной отрасли, разумно ограничивало устремления предпринимателей

в пользу качества жизни горожан. Погоня за “дешевыми квадратными метрами” еще никогда в мировой практике не приводила к долговременным положительным социальным и экономическим результатам. Кратковременная выгода оборачивается долговременными сложноразрешимыми последствиями, приводящими к необ-

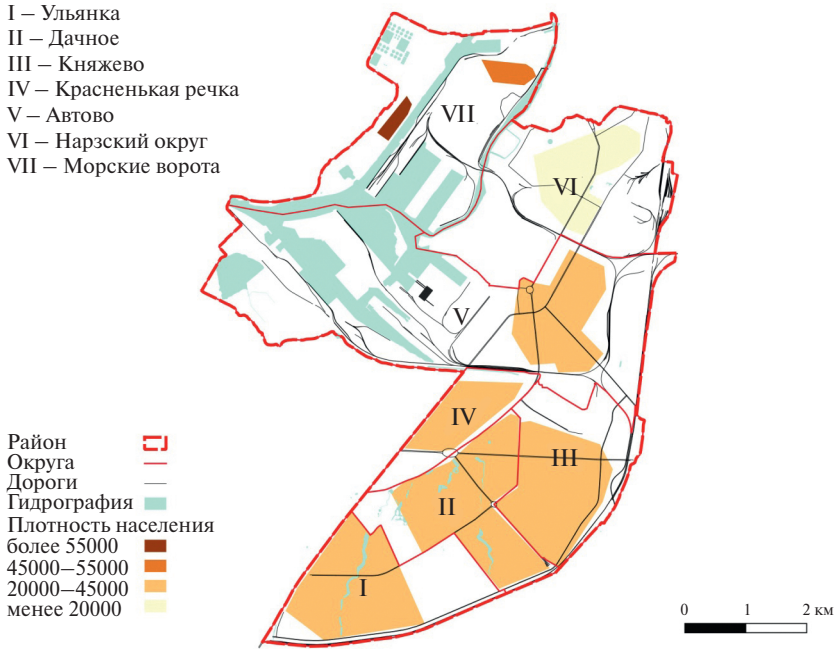


Рис. 4. Плотность населения селитебной зоны Кировского района (составлено по данным [2]).

Fig. 4. Population density of the residential area of the Kirovsky district (compiled according to [2]).

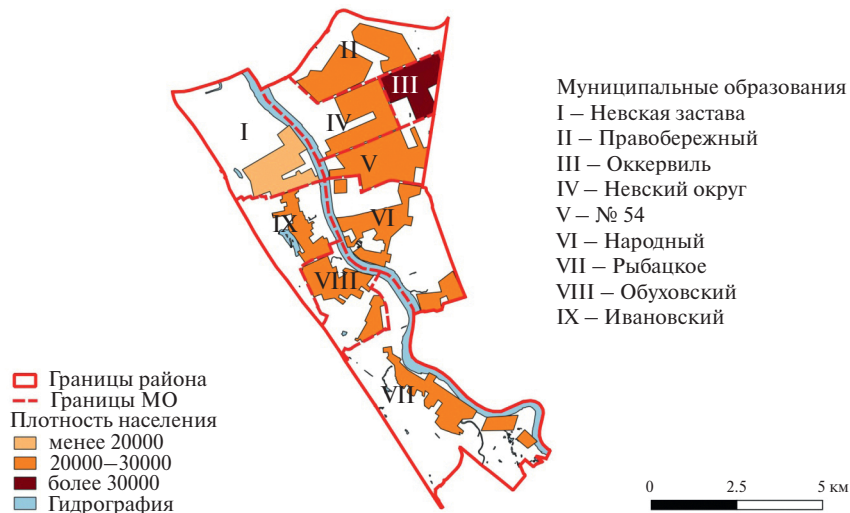


Рис. 5. Плотность населения селитебной зоны Невского района (составлено по данным [2]).

Fig. 5. Population density of the residential area of the Nevsky district (compiled according to [2]).

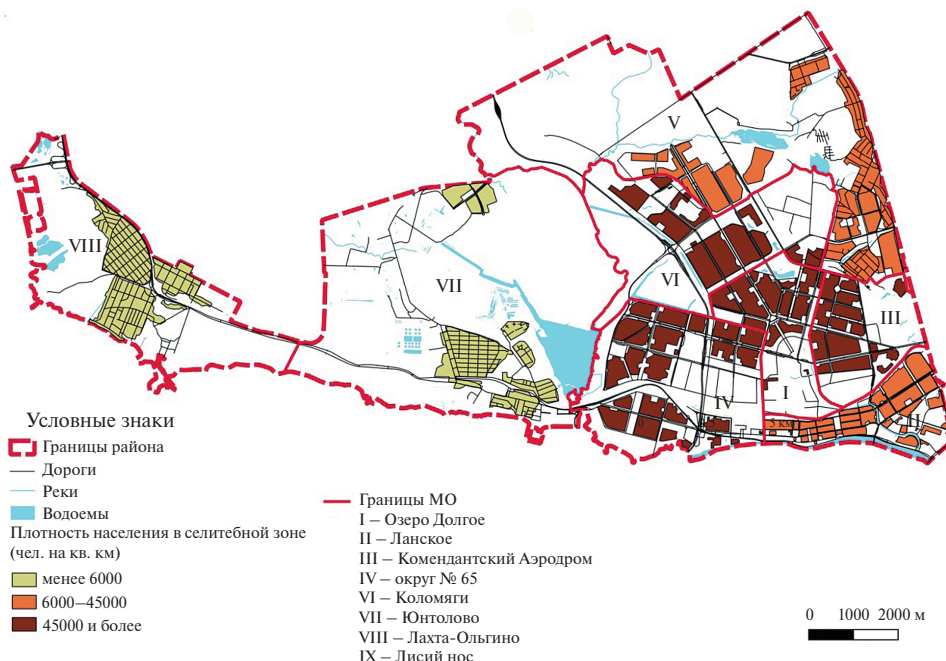


Рис. 6. Плотность населения селитебной зоны Приморского района (составлено по данным [2]).

Fig. 6. Population density of the residential area of the Primorsky district (compiled according to [2]).

ходимости дополнительных расходов [6], а в предельных случаях даже к сносу жилых кварталов.

Например, наличие в лидерах по вводу в действие жилых домов за последние годы муниципального округа № 65 Приморского района (см. рис. 7) вызывает недоумение, поскольку это привело в результате непродуманной застройки к близким к максимальным показателям плотности населения (см. рис. 6) и уже повлекло за собой каскад вполне заранее очевидных последствий (транспортных, экологических, социальных). Кроме того, и соседние с ним муниципальные образования имеют зоны с максимальными показателями плотности, что еще более усиливает проблему. При этом стандартный усредненный расчет (со всей площадью муниципального образования в знаменателе) дает вполне “успокоительные” 16 308 чел./км².

С другой стороны, и более низкие показатели не должны вносить ложного оптимизма. Возьмем, к примеру, муниципальный округ Южно-Приморский Красносельского района, являющийся с большим отрывом лидером по вводу в действие жилых домов за период 2013–2021 гг. (см. рис. 6). Казалось бы, плотность населения в целом здесь относительно невелика (12 608 чел./км²), но наличие парка и акваторий, с одной стороны, и ускоренные темпы строительства и ввода в эксплуатацию жилых комплексов с многоэтажной застройкой, с другой, а также соседство с уже переуплотненными муниципальными образованиями — Ульяновкой и Юго-Западом приводят к необходимости признать разрешение здесь такой скорости и размеров жилищного строительства в лучшем случае ошибкой городских властей, а возможно, и наглядным проявлением действия коррупционных и лоббистских механизмов.

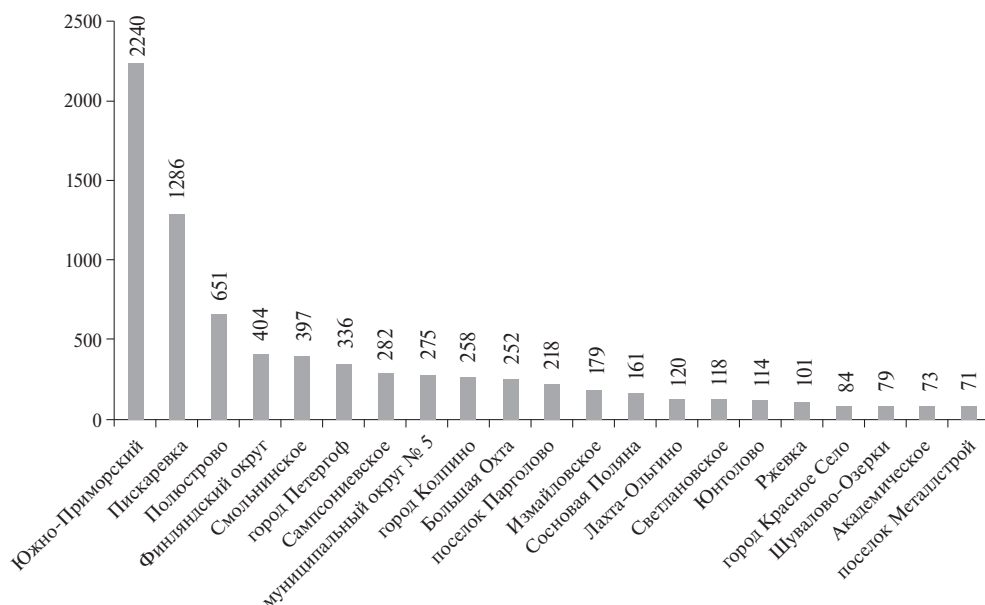


Рис. 7. Муниципальные образования-лидеры по вводу в действие жилых домов за период 2013–2021 гг., тыс. м² общей площади (составлено по данным [2]).

Fig. 7. Municipalities leading in commissioning residential buildings for the period of 2013–2021, thousand square meters of total area (compiled according to [2]).

Заключение

Факт того, что государственная власть обратила внимание на качество городской среды можно только приветствовать. И существующий Индекс качества городской среды — неплохой инструмент для фиксирования и отслеживания изменений качества жизни российских горожан, шаг в правильном направлении. Но в нем упущены важные параметры, одним из которых является плотность населения.

Анализируя плотность населения Санкт-Петербурга, можно констатировать, что превышений в разрезе муниципальных образований не выявлено, но в данном случае требуются дополнительные исследования, оценивающие плотность населения по микрорайонам, исключая промышленные площади и иные не занятые жилой застройкой зоны. Также желательно уточнять и числитель дроби, определяющей плотность, то есть численность населения. Более точных результатов можно достигнуть, применяя методики определения реального количества людей, проживающих в каждом конкретном микрорайоне путем анализа типа застройки, а не учитываемых статистически зарегистрированных жителей.

При расчете Индекса качества городской среды желательно ввести показатели средней этажности, плотности населения жилой (селитебной) зоны, поскольку они объективны, измеряемы, при необходимости несложно визуализируемы и прямо влияют на комфорт горожанина.

Плотность населения в ряде муниципальных образований Санкт-Петербурга (№ 65, Озеро Долгое, Коломяги, Юнтолово, Оккервиль, Морской) составляет повышенные значения (более 45 000 чел./км²) относительно предусмотренных

пунктом 7.6. Свода правил по градостроительству [10] и прямо негативно влияет на качество жизни горожанина в жилых комплексах этих муниципальных образований. Это, как минимум, указывает на недоработки в требованиях регионального норматива градостроительного проектирования, что приводит к просчетам в градостроительной политике.

Констатация таких ошибок и применение принципа “лучше предотвратить, чем исправлять” приводят к мысли о необходимости внесения изменений дополнений не только в региональные градостроительные нормативы и критерии оценки качества городской среды, но и в Законодательство РФ, где должна быть предусмотрена ответственность для государственных служащих, допустивших такие просчеты, и в Налоговый Кодекс РФ, который может ограничить норму прибыли в строительном бизнесе.

Список литературы

1. Атлас Ленинградской области / Гл. ред. Д.А. Субетто. СПб.: Изд-во РГГУ им. А.И. Герцена, 2022. 112 с.
2. База данных показателей муниципальных образований [Электронный ресурс] // Петростат. URL: <https://rosstat.gov.ru/dbscripts/munst/> (дата обращения: 20.09.2023).
3. Гиясов Б.И., Гурович Б.М. Влияние архитектуры и планировочной структуры современной городской застройки на экологию окружающей среды // Строительство и реконструкция. 2022. № 5 (103). С. 94–103.
<https://doi.org/10.33979/2073-7416-2022-103-5-94-103>
4. Глозман О.С., Крашенинников И.А. Плотность городской ткани и население жилых кварталов // Академия. Архитектура и строительство. 2018. № 4. С. 84–87.
<https://doi.org/10.22337/2077-9038-2018-4-84-87>
5. Даутов Д.Ф. Высокая плотность населения как основной источник психологической опасности в городе // Психология безопасности городского пространства. Материалы II Международного симпозиума. 2019. С. 36–40.
6. Дворников Ю.В., Полякова С.Д., Станиславская О.И. Редевелопмент как пример решения проблем городской среды // Природное и культурное наследие: междисциплинарные исследования, сохранение и развитие. Коллективная монография по материалам VIII Международной научно-практической конференции 24–25 октября 2018 г. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2019. С. 389–390.
7. Закон Санкт-Петербурга “О территориальном устройстве Санкт-Петербурга” (с изменениями на 30 января 2023 года) [Электронный ресурс] // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума “Кодекс”. URL: <https://docs.cntd.ru/document/8414528> (дата обращения: 20.09.2023).
8. Мусинова Н.Н. Проблемы урбанизации в контексте формирования комфортной городской среды // Вестник университета. 2019. № 6. С. 27–31.
<https://doi.org/10.26425/1816-4277-2019-6-27-31>
9. Приказ “Об утверждении Методики определения индекса качества городской среды муниципальных образований Российской Федерации” от 31.10.2017 № 1494/пр // Минстрой России. 2017. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/15538/> (дата обращения: 20.09.2023).
10. Распоряжение Правительства РФ от 23.03.2019 № 510-р (ред. от 20.09.2023) “Об утверждении Методики формирования индекса качества городской среды” [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. URL: <https://www.consultant.ru/> (дата обращения: 25.09.2023).
11. СП 42.13330.2011. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89*. М.: Минрегион РФ, 2010.

Population Density of Residential Areas of St. Petersburg as an Indicator of the Urban Environment Quality

T.A. Andreeva^{1, 2}, T.A. Yu.V. Dvornikov^{2, *}, S.D. Poliakova²

¹*Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

²*Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg, Russia*

**E-mail: dvo-juri@yandex.ru*

Received 31.01.2024

Revised 01.12.2024

Accepted 29.03.2025

The incompleteness of the existing list of indicators of the quality of the urban environment is shown. Micro- and meso-urban geographical studies will allow for a more correct assessment of the current state of the urban environment. The integral indicator “Urban Environment Quality Index” requires the inclusion of additional indicators (population density, density and number of floors of buildings), which have a direct impact on the comfort and quality of life of the population. The population density indicator is important, which can be calculated at different levels of administrative division. Specific examples of the cartographic display of this indicator are given. In particular, for some districts of St. Petersburg, a methodology for calculating and mapping the population density indicator of a residential area has been created and tested, with the exception of areas without residential development from these calculations. The introduction of population density into the assessment of the quality of life of citizens will allow it to be clarified and enriched, and the calculation of population density using the proposed methodology allows you to obtain the most accurate data.

Keywords: urban environment, population density, quality of life, indicators of the quality of the urban environment, residential development

References

1. Atlas Leningradskoy oblasti / Gl. red. D.A. Subetto. SPb.: Izd-vo Rossiyskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A.I. Gertsena, 2022. 112 s.
2. Baza dannykh pokazateley munitsipal'nykh obrazovaniy [Elektronnyy resurs] // Petrostat. URL: <https://rosstat.gov.ru/dbscripts/munst/> (data obrashcheniya: 20.09.2023).
3. Giyasov B.I., Gurovich B.M. Vliyaniye arkhitektury i planirovochnoy struktury sovremennoy gorodskoy zastroyki na ekologiyu okruzhayushchey sredy // Stroitel'stvo irekonstruktsiya. 2022. № 5 (103). S. 94–103.
<https://doi.org/10.33979/2073-7416-2022-103-5-94-103>
4. Glozman O.S., Krashenninnikov I.A. Plotnost' gorodskoy tkani i naseleniye zhilykh kvartalov // Akademiya. Arkhitektura i stroitel'stvo. 2018. № 4. S. 84–87.
<https://doi.org/10.22337/2077-9038-2018-4-84-87>
5. Dautov D.F. Vysokaya plotnost' naseleniya kak osnovnoy istochnik psikhologicheskoy opasnosti v gorode // Psikhologiya bezopasnosti gorodskogo prostranstva. Materialy II Mezhdunarodnogo simpoziuma. 2019. S. 36–40.
6. Dvornikov Yu.V., Polyakova S.D., Stanislavskaya O.I. Redevelopment kak primer resheniya problem gorodskoy sredy // Prirodnoye i kulturnoye naslediye: mezhdistsiplinarnyye issledovaniya. sokhraneniye i razvitiye. Kollektivnaya monografiya po materialam VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii 24–25 oktyabrya 2018 g. SPb.: Izd-vo RGPU im. A.I. Gertsena, 2019. S. 389–390.
7. Zakon Sankt-Peterburga “O territorial'nom ustroystve Sankt-Peterburga” (s izmeneniyami na 30 yanvarya 2023 goda) [Elektronnyy resurs] // Elektronnyy fond normativno-tekhnicheskoy i norma-

tivno-pravovoy informatsii Konsortsiuma “Kodeks”. URL: <https://docs.cntd.ru/document/8414528> (data obrashcheniya: 20.09.2023).

8. Musinova N.N. Problemy urbanizatsii v kontekste formirovaniya komfortnoy gorodskoy sredy // Vestnik universiteta. 2019. № 6. S. 27–31. <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2019-6-27-31>

9. Prikaz “Ob utverzhdenii Metodiki opredeleniya indeksa kachestva gorodskoy sredy munitsipalnykh obrazovaniy Rossiyskoy Federatsii” ot 31.10.2017 № 1494/pr // Minstroy Rossii. 2017. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/15538/> (data obrashcheniya: 20.09.2023).

10. Rasporyazheniye Pravitel'stva RF ot 23.03.2019 № 510-r (red. ot 20.09.2023) “Ob utverzhdenii Metodiki formirovaniya indeksa kachestva gorodskoy sredy” [Elektronnyy resurs] // Konsul'tant-Plyus. URL: <https://www.consultant.ru/> (data obrashcheniya: 25.09.2023).

11. SP 42.13330.2011. Gradostroitel'stvo. Planirovka i zastroyka gorodskikh i sel'skikh poseleniy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.07.01-89*. M.: Minregion RF, 2010.

УДК 712.7 (470.54-25)

ЛАНДШАФТНАЯ ОЦЕНКА РЕКРЕАЦИОННО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА “ШАРТАШСКИЙ ЛЕСНОЙ ПАРК”

© 2025 г. О.Ю. Гурьевских*, Н.В. Скок

Уральский государственный педагогический университет, Екатеринбург, Россия

**E-mail: gurevskikh@mail.ru*

Поступила в редакцию 01.02.2024 г.

После доработки 22.06.2025 г.

Принята к публикации 23.06.2025 г.

Ландшафтная структура современного Екатеринбурга складывается под влиянием комплекса разномасштабных факторов формирования, ареалы преобладающего воздействия которых определяют набор и пространственное соотношение выделов, характер границ и скорость развития геосистем. Пространственно-временная ландшафтная структура определяет качество городской среды через комплекс устойчивых средообразующих связей и аттрактивных параметров восприятия. Одним из специфичных элементов ландшафтной структуры Екатеринбурга служат особо охраняемые природные территории областного значения — лесные парки, выполняющие природоохранную, средоформирующую и рекреационную функции. Статья посвящена результатам инвентаризационных и оценочных ландшафтных исследований территории рекреационно-оздоровительного кластера “Шарташский лесной парк”, расположенного в северо-восточной части Екатеринбурга. За многовековую историю освоения в пределах участка сложилась ландшафтная структура, представленная природными территориальными комплексами, их производными модификациями, антропогенными комплексами и техносистемами. Ландшафтная структура рассмотрена с позиций структурно-генетического и функционально-динамического подхода, как смена динамических и эволюционных состояний геосистем. Изучены разномасштабные ландшафтообразующие процессы, выявлена ландшафтная структура территории, рассмотрена методика и результаты впервые выполненного крупномасштабного ландшафтного картографирования, которое положено в основу оценки режимов использования территории для планирования мероприятий по благоустройству кластера с анализом проектных предложений по развитию. Установленная сложная мозаичность геосистем, формируемая природными и антропогенно-обусловленными процессами и связями, структурными взаимообусловленностями и эмерджентными эффектами, положена в основу ландшафтного планирования территории. Выполненные исследования служат реализованным элементом разработки мастер-плана развития и основой предложенных авторами направлений оптимизации территории для эффективного выполнения средообразующих и рекреационных функций.

Ключевые слова: ландшафтная структура, полимасштабность, ландшафтная карта, динамические и эволюционные состояния, ландшафтная оценка, рекреационно-оздоровительный кластер, Шарташский лесной парк, Екатеринбург

DOI: 10.31857/S0869607125020041, EDN: KXMMCG

Введение

Территория регионального рекреационно-оздоровительного кластера “Шарташский лесной парк” представляет собой полифункциональный полигон, расположенный в черте города Екатеринбурга, включающий участки, имеющие разное назначение, статус и формы землепользования. Объединяющими факторами данного участка служат географическое положение и генетическое происхождение территории, сформировавшейся под влиянием сложного сочетания природных и антропогенных факторов.

С позиций ландшафтно-динамического подхода состояние геосистем рассматривается как пространственно-временная однородность, выделяемая по критериям сохранения состава и соотношения системообразующих элементов и ведущих процессов [7, 8, 22]. Значимость познания динамических состояний геосистем привела к дополнению традиционного структурно-генетического подхода исследования природы функционально-динамическим, позволяющим выявлять закономерности и прогнозировать развитие геосистем [15, 16].

Пространственно-временная ландшафтная структура мегаполиса определяет качество городской среды через комплекс устойчивых средообразующих связей. Основой исследования динамических и эволюционных изменений служит ландшафтное картографирование. Ландшафтная карта рассматривается при этом как инвариантная основа для прикладных исследований различной направленности [9, 18, 20, 21, 23, 24]. Особенности методики картографирования и содержание ландшафтной карты определяют возможности ее практического применения [13].

Ландшафтная карта традиционно применяется в практике природоохранной деятельности как основа функционального зонирования крупноплощадных особо охраняемых природных территорий [4, 17]. Однако задачи, решаемые на основе ландшафтного картографирования, расширяются, а запросы практики требуют адаптации ландшафтных подходов под конкретные направления развития территории. До недавнего времени учет ландшафтных принципов при планировании территориальных структур в Екатеринбурге не проводился.

Целью настоящего исследования служит изучение и оценка ландшафтной структуры рекреационно-оздоровительного кластера “Шарташский лесной парк” для оптимизации природоохранных мероприятий и благоустройства территории, имеющей природоохранное, средоформирующее и рекреационное значение. Для достижения поставленной цели на территории кластера реализованы 3 этапа ландшафтных исследований: инвентаризационный, оценочный и целевой. *Инвентаризационный этап*: 1) изучение ландшафтной структуры, включая структуру антропогенных модификаций; 2) крупномасштабное ландшафтное картографирование; 3) изучение особо охраняемых природных территорий (ООПТ) с целью выявления особенностей структурной и пространственной организации. *Оценочный этап*: 1) пространственный анализ и ландшафтная оценка территории кластера; 2) анализ современного состояния и прогноз развития сети ООПТ-кластера. *Целевой этап*: 1) подготовка основы для функционального зонирования территории: установление участков с разными функциональными назначениями; 2) разработка направлений оптимизации сложившейся ландшафтной структуры для выполнения природоохранной и рекреационной функции.

Основу кластера составляет лесной парк — особо охраняемая природная территория областного значения. Границы и режим лесных парков учитываются при разработке территориальных комплексных схем, схем землеустройства, проек-

тов районной планировки и генеральных планов развития территорий. Уникальное лесопарковое кольцо Екатеринбурга, которое включает 15 лесных парков общей площадью 12,2 тыс. га, представляет собой исключительно мощный и технически незаменимый биологический фильтр мегаполиса, который усиливают также внутренние “зеленые территории” — 10 городских парков [6].

Материалы и методы

Территория рекреационно-оздоровительного кластера “Шарташский лесной парк” относится к низким восточным предгорьям Среднего Урала [14, 19], расположена на Шарташском гранитном массиве площадью 25 км², возраст которого составляет 340 млн лет. С геологическим строением земной поверхности связан рельеф этой местности. Здесь преобладают абсолютные высоты 260–305 м с амплитудой 30–50 м. В результате неотектонических движений по линии разлома образовалась впадина Шарташа, заполненная водой. Шарташ расположен на водоразделе рек Пышма и Исеть [1, 12]. Большая часть территории парка занята сосновыми лесами с незначительной примесью лиственницы. Мелколиственные породы представлены осиной, березой пушистой и бородавчатой. Из широколиственных пород во втором ярусе леса встречается липа мелколистная. Под пологом леса растет обильный кустарниковый подлесок из рябины обыкновенной, шиповника иглистого, жимолости голубой и можжевельника обыкновенного. На вершинах увалов в сосняках произрастает брусника. Значительную площадь занимают сосновые леса с черничниками, зарослями папоротника-орляка и другими травянистыми растениями. Межгорные понижения часто заболочены и заняты сосново-березовыми мшистыми и осоковыми лесами [10].

Во второй половине XX века на территории Шарташского лесного парка Зеленостроеном Свердловска были произведены посадки деревьев с целью улучшения структуры лесных насаждений. Вследствие этого видовое разнообразие парка увеличилось на 12 видов древесно-кустарниковых интродуцентов: черемуха Маака, яблоня ягодная, груша уссурийская, клен Гиннала, клен татарский, клен ясенелистный, клен остролистный, тополь бальзамический, тополь пирамидальный серебристый, сирень венгерская, вяз гладкий, кизильник черноплодный. Интродуценты в настоящее время отмечаются как в аллеиных посадках, так и в составе древостоев леса. Большинство из них произрастают под пологом древостоев аборигенных видов. Возраст интродуцентов варьирует от 25 до 50 лет [1, 5].

Рекреационно-оздоровительный кластер “Шарташский лесной парк” включает три особо охраняемых природных территории (ООПТ) областного значения: памятники природы “Шарташские каменные палатки” и “Озеро Шарташ”, а также лесной парк “Шарташский” (см. рис. 1). Все особо охраняемые природные территории относятся к рекреационно-туристским аттракциям, активно посещаются жителями Екатеринбурга и требуют сохранения особого режима использования при включении в кластер.

Наименование рекреационно-оздоровительного кластера дано по основной аттракции — в соответствии с названием ООПТ “Шарташский лесной парк”, что вряд ли можно считать удачным. Это связано, во-первых, с ассоциативной составляющей, так как лесной парк является ООПТ и имеет режим особой охраны; рекреационный кластер имеет площадь намного больше лесного парка, включает селитебные территории, а режимы использования в северной, северо-западной и северо-восточной частях кластера не имеют отношения к ООПТ,

имеют больше разрешенных видов деятельности. Во-вторых, название кластера “лесной парк” предполагает преобладание лесных сообществ на территории, что не соответствует действительности, учитывая площадь озера и антропогенных геосистем.

Согласно теории и практике заповедного дела, лесные парки — это особо охраняемые природные территории регионального статуса, расположенные вблизи населенных пунктов, занятые лесами первой группы государственного лесного фонда, предназначенные для отдыха населения и выполняющие средозащитные и санитарно-гигиенические функции. “Шарташский лесной парк” расположен в восточной части города в прибрежной полосе к югу, юго-западу и юго-востоку от озера Шарташ и служит элементом геокультурного пространства города Екатеринбурга. Сосновые леса сохранились в окрестностях города благодаря дальновидности В.Н. Татищева, который еще в 1722 году составил инструкции по охране леса и недр в связи с резким увеличением объема потребляемых ресурсов для развития металлургического производства.

ООПТ РЕКРЕАЦИОННО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА “ШАРТАШСКИЙ ЛЕСНОЙ ПАРК”



Рис. 1. ООПТ рекреационно-оздоровительного кластера “Шарташский лесной парк”.

Fig. 1. Protected areas of the recreational and health cluster “Shartash Forest Park”.

Методологическая основа выполненного исследования базируется на ландшафтном подходе. Первичная структура составляет непрерывный ландшафтный фон, антропогенные воздействия дискретны и по-разному накладываются на него. Степень проявления антропогенного влияния зависит от природного инварианта — структуры и динамики ландшафта и его устойчивости к воздействиям, эффект которых выражается в изменениях первоначальных свойств [13, 15].

Одним из основополагающих этапов ландшафтного картографирования, определяющих возможность практического применения результатов исследования и кондиционность ландшафтной карты, служит типологическая классификация ландшафтов. Система классификационных единиц включает следующие таксоны: класс, подкласс, род, группу и вид фаций.

Высшая единица классификации — класс фаций — объединяет фации одной подпровинции, однородные в зональном и секторном отношениях, характеризующиеся значительным неотектоническо-орографическим единством. Классы и подклассы фаций выделяются по зональным, секторным и наиболее общим геолого-геоморфологическим признакам. Род фаций объединяет сходные группы фаций, приуроченные к однотипным положительным или отрицательным формам мезорельефа. Род фаций индицируется преобладанием видов леса, относящихся к двум, реже трем соседним его типам по режиму увлажнения. Группа фаций — основная единица картографирования — объединяет сходные виды фаций, близкие по своему местоположению и ландшафтообразующим свойствам горных пород, и индицируется преобладанием видов леса, относящихся к одному типу по режиму увлажнения.

В качестве теоретической основы картографирования антропогенных модификаций использованы принципы построения классификации коренных и условно-коренных фаций [14]. В зависимости от глубины и степени антропогенной трансформации все геосистемы подразделяются на три типа: коренные, производные и антропогенные. К типу коренных относятся единицы, которые не испытывали воздействия хозяйственной деятельности либо испытывали его косвенно. Тип производных образуют комплексы, испытывавшие изменения ведомых компонентов, но сохранившие характер ведущих. В пределах данного типа преобладают антропогенные модификации, производные от природного инварианта, которые характеризуются изменением ведомых компонентов. Антропогенные комплексы — это наиболее глубоко трансформированные образования, в которых наблюдаются изменения рельефа и геологического строения. Они делятся на регулируемые и саморазвивающиеся, находящиеся на разных стадиях развития [14].

В ходе предполевого этапа ландшафтного картографирования составлена предварительная карта-гипотеза типов фаций, были выявлены “ключевые” участки и трансекты для маршрутной съемки. Главным объектом картографирования являлись группы фаций, но в полевых условиях снимались и виды фаций, которые позволили выделить группы. Через участки, где представлены виды фаций, отсутствовавшие на “ключевых” участках, прокладывались малые профили; использовалась карта-гипотеза, дистанционные материалы, топографические и тематические карты.

На послеполевым этапе была уточнена классификация фаций и их антропогенных модификаций, доработана легенда карты, ее цветовое оформление и индексация. Ландшафтная карта рекреационно-оздоровительного кластера “Шарташский лесной парк” выполнена с применением ГИС-технологий с программным обеспечением QGIS.

Структура антропогенных модификаций исследована путем сплошного дешифрирования космических снимков на основе визуальной интерпретации пространственных структур ландшафтно-индикационным и контрастно-аналоговым методом [2, 3]. В качестве физиономичного компонента-индикатора антропогенной трансформации при выделении коренных и производных геокмплексов использована растительность. Индикатором антропогенных комплексов служит изменение геолого-геоморфологической основы.

Специфика картографирования территории заключалась в одновременном учете природных и антропогенных факторов дифференциации ландшафтной структуры. Содержание карты, представленное системой контуров групп фаций, отображалось приемом “светофора”, когда значение цвета (красный, желтый, зеленый) служит основой передачи степени антропогенной трансформации коренных единиц. Содержание и цветовое оформление карты отражено в ее легенде, являющейся генерализованным вариантом классификации. Легенда имеет традиционный текстовый вид и состоит из условных знаков и наименований родов, повторяющих названия данных единиц в классификации.

Ландшафтная оценка рекреационно-оздоровительного кластера выполнена методом визуального и картометрического анализа ландшафтной карты с применением следующих качественных и количественных показателей:

1. Набор типологических объединений производных и антропогенных комплексов для установления ландшафтного разнообразия. Выявлялось качественное и количественное соотношение геосистем разного типа и степени антропогенного преобразования, для чего: а) устанавливалось наличие слабо измененных комплексов, являющихся эталонами природных инвариантов; б) выявлялись антропогенные комплексы, представляющие экологическую опасность для ландшафтной структуры, через межкомпонентные связи; в) оценивалось окружение слабо измененных геосистем с позиции воздействия на функционирование с целью прогнозирования дальнейшего развития.

2. Пространственное соотношение типологических объединений производных и антропогенных комплексов посредством визуальной и картометрической обработки через расчет площадей в пределах выделов ландшафтной карты. Наибольшее значение имеет выявление соотношения слабоизмененных комплексов с сильно преобразованными, что позволяет оценить тенденции функционального развития. Визуальный анализ параметров слабоизмененных участков выявляет относительно хорошо сохранившиеся эталонные выделы, перспективные для природоохранной деятельности, долгосрочного мониторинга состояний природных комплексов и анализа их динамического и эволюционного развития.

Результаты

Территория рекреационно-оздоровительного кластера “Шарташский лесной парк” расположена в пределах Верх-Исетского грядово-сопочного с суховатыми и свежими сосняками ландшафтного района. Положение на подветренном макросклоне Урала, в барьерной тени от горной полосы, и меньшие абсолютные высоты определяют климатические особенности района. Уменьшается количество осадков: их годовая сумма составляет 430–500 мм. Увлажнение летом недостаточное, реже — близкое к оптимальному: коэффициент увлажнения — 0.7–1.0. В Верх-Исетском районе заболоченности способствуют геолого-геоморфологические особенности территории (водонепроницаемость коренных горных пород — гранитов, наличие

обширных полузамкнутых, слабо-дренируемых понижений) и антропогенные изменения.

Барьерно-климатические и петрографические особенности района обусловили преобладание здесь свежих и суховатых сосняков. Наибольшие площади в естественном состоянии занимают сосняки черничниковые на буроземовидных средне-мощных среднещелебнистых почвах, расположенные в средневерхних частях пологих и покатых склонов увалов и сопок. Более крутые склоны и выпуклые вершины заняты сосняком брусничниковым на буроземовидных маломощных сильнощелебнистых почвах и сосняком нагорным. В нижних частях склонов обычно растут сосняки травяные на буроземовидных мощных слабощелебнистых почвах. Для заболоченных обширных депрессий характерны сырые низкорослые березняки кустарничково-сфагновые на мощных торфяно-болотных почвах, слой торфа в которых больше 50 см, а местами достигает нескольких метров.

Ландшафтные особенности района, обусловленные наличием природных достопримечательностей и близостью к Екатеринбургу, определили его рекреационную уникальность, поэтому природные комплексы в течение двух столетий выдерживают значительную рекреационную нагрузку. Здесь расположены многочисленные коллективные сады, коттеджные поселки и турбазы. Регулярно проводятся прогулки горожан, пикники, любительская рыбалка, сбор грибов и ягод.

В результате сложного взаимодействия природных и антропогенных факторов на территории рекреационно-оздоровительного кластера “Шарташский лесной парк” сформировалась ландшафтная структура, представленная 4-мя родами природных фаций (см. рис. 2). Природные ландшафты объединены в два рода наземных и два рода аквальных фаций. Аквальные фации представлены озерной котловиной озера Шарташ и долинами мелких речек, роды образуются сочетаниями групп фаций. На территории кластера выделено 20 групп природных фаций и 15 антропогенных.

Исследованная территория относится к одному классу — Южнотаежным континентальным светлохвойным фациям восточных предгорий Среднего Урала, в пределах которого выделены производные модификации и антропогенные фации. На обследованной территории существуют 4 рода фаций, которые соответствуют положительным или отрицательным формам мезорельефа, сложенным одним ландшафтообразующим видом горных пород:

1) слабо расчлененные пологосклонные увалы и сопки (абсолютные высоты — 290–300 м, относительные высоты — 20–25 м), сложенные гранитоидами позднего палеозоя, устойчивыми к разрушению (8 групп);

2) межуалистые и межсочные депрессии, сложенные относительно легко разрушаемыми гранитоидами, перекрытыми аллювиально-озерными и болотными отложениями (4 группы);

3) долины мелких речек и временных водотоков, выработанные в межуалистых и межсочных депрессиях (2 группы);

4) озерные котловины, выработанные в гранитном массиве, поймы рек (5 групп).

Роды объединяют группы фаций. Анализ структуры родов отображает ландшафтное разнообразие. Наибольшим разнообразием характеризуется род 1 пологосклонных увалов и сопок, который объединяет 8 групп фаций. В других родах ландшафтное разнообразие меньше — 2–5 групп фаций. Наименьшим разнообразием характеризуются интразональные пойменные комплексы. Результаты проведенного анализа в целом подтверждают известное положение о том, что ландшафтная

структура горных (предгорных) территорий с пересеченным рельефом более разнообразна, нежели структура равнинных.

Интенсивное преобразование территории, обусловленное близостью города и нерациональными формами землепользования, привело к тому, что в кластере не сохранились коренные и условно-коренные комплексы. Все фации прямо или косвенно испытали влияние деятельности человека за счет нарушения естественных дренажных систем при изменении уровня озера Шарташ и уровня грунтовых вод.

К числу наиболее сохранившихся относятся слабоизмененные производные типы модификаций, которые характеризуются изменением ведомых компонентов и сохранением геологического строения, рельефа и климата. Производные комплексы представляют собой временные модификации, которые могут рассматриваться как динамические состояния.

Напротив, эволюционной стадией развития служат антропогенные комплексы, сформировавшиеся на территории под влиянием различных форм землепользования с нарушением геолого-геоморфологической основы. Существенно различается структурный состав антропогенных комплексов. Наибольшим распространением в пределах кластера пользуются селитебные комплексы городского и сельского типа. Максимальная степень антропогенного изменения характерна для индустриально-промышленных систем, прежде всего для карьеров. Типы карьеров различаются временем разработки и степенью современного использования в рекреационных целях.

Выявленная мозаичность ландшафтной структуры связана с неоднородностью географического контекста, выраженного сложными сочетаниями различных типов природных и антропогенно-модифицированных комплексов, представленных различными состояниями, принадлежащими к одной или нескольким динамическим траекториям. Элементы ландшафтной структуры характеризуются качественными свойствами и количественными параметрами, изменяющимися с различной периодичностью в зависимости от состояния геосистем.

Картометрический анализ позволил определить соотношение площадей картографируемых единиц. В результате на территории кластера выявлено преобладание производных среднеизмененных природных комплексов, на долю которых приходится 44% от общей площади. Коренные и условно-коренные фации не сохранились. Типичны антропогенные комплексы, их суммарная доля — 30%. На долю сильноизмененных производных комплексов приходится 3%. К числу наиболее сохранившихся относятся слабоизмененные производные природные комплексы, занимающие всего 24% от площади рекреационно-оздоровительного кластера, в том числе 6% от этого числа приходится на болотные комплексы.

Установленные особенности ландшафтной структуры и соотношение производных модификаций и антропогенных комплексов показывает, что лишь 18% площади территории на 2024 год характеризуется слабой степенью антропогенного изменения и комфортными условиями для рекреационной деятельности в условиях природной среды (см. табл. 1).

Обсуждение

Ландшафтная структура территории кластера определяется разномасштабными факторами и физико-географическими закономерностями: зональностью, секторностью, тектогенной и барьерной дифференциацией. Указанные закономерности обуславливают неоднородность ландшафтного строения и пространственную изменчивость ландшафтной структуры внутри исследуемой территории

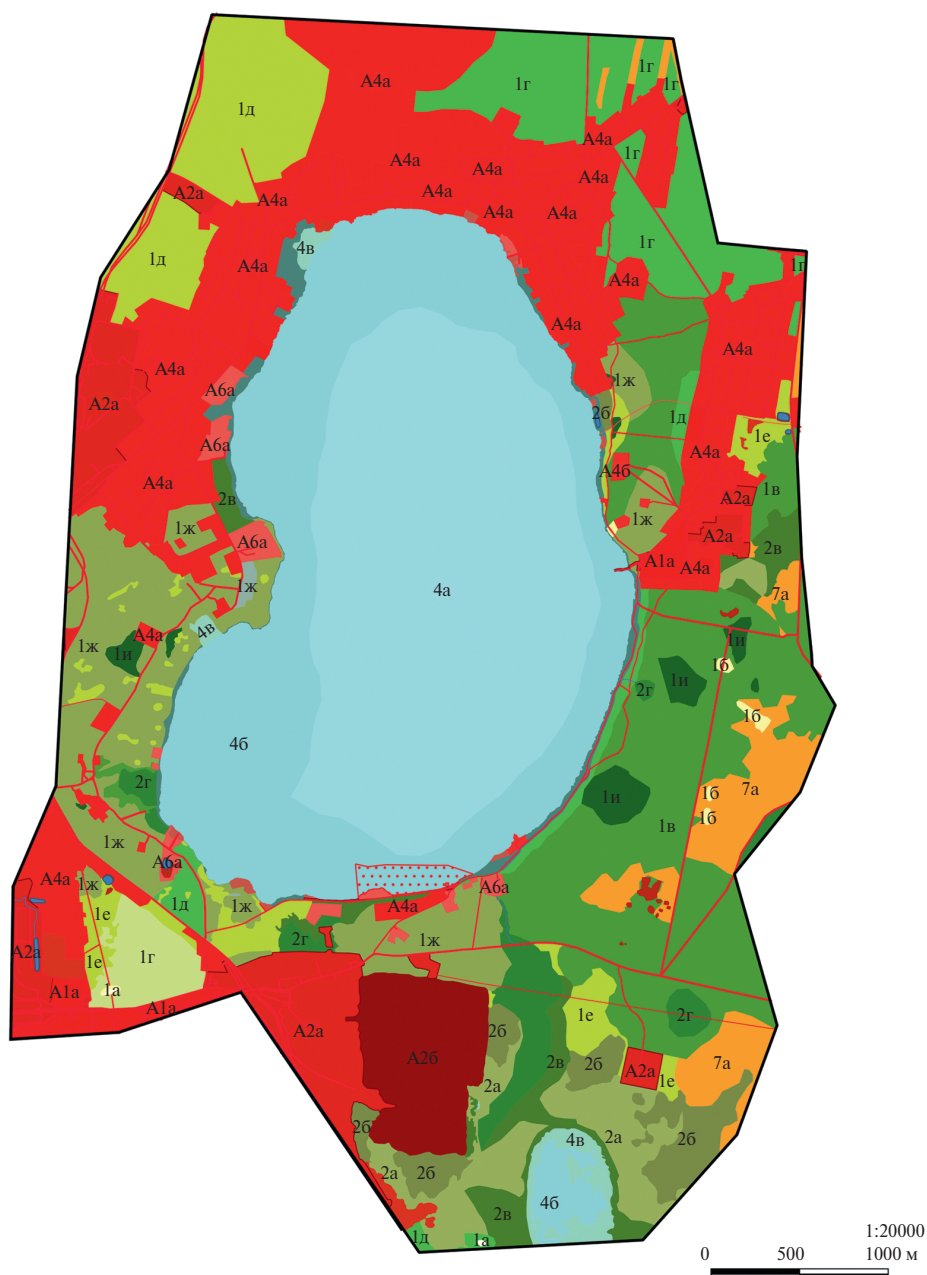


Рис. 2. Ландшафтная карта регионального рекреационно-оздоровительного кластера “Шарташский лесной парк”.

Fig. 2. Landscape map of the regional recreational and health cluster “Shartash Forest Park”.

Легенда к ландшафтной карте регионального рекреационно-оздоровительного кластера “ШАРТАШСКИЙ ЛЕСНОЙ ПАРК”

— Границы регионального рекреационно-оздоровительного кластера “ШАРТАШСКИЙ ЛЕСНОЙ ПАРК”

Ландшафтные комплексы

Южнотасжские континентальные светлехвойные фации восточных предгорий Среднего Урала

1 — слабо расчлененные пологосклонные увалы и сопки (абсолютные высоты 290—300 м, относительные высоты 20—25 м), сложенные гранитоидами позднего палеозоя, устойчивыми к разрушению

1а — скалы-останцы матрацевидной формы — “каменные палатки” на вершинах сопек высотой 5—18 м мохово-лишайниковой и травянистой растительностью

1б — плоско-выпуклые вершины и преимущественно покатые склоны южных экспозиций в верхних частях сопек и увалов с выходами коренных пород гранитов в виде камней и глыб, с горно-лесными буроземовидными фрагментарными малопродуктивными щебенчатыми почвами, с суховатыми и сухими сосняками, преимущественно редкотравными, мертвopoкpoвными и вейниковыми на месте сосняков брусничниковых и ягодниковых

1в — пологие склоны южных экспозиций или покатые склоны северных экспозиций в средних и нижних частях сопек и увалов, с редкими выходами гранитов, с буроземовидными среднепродуктивными среднечешуйчатыми почвами, со свежими сосняками и березняками-сосняками разнотравно-злаковыми и черничниково-вейниковыми на месте сосняков черничниковых и орляковых

1г — покатые склоны северных экспозиций в средних и нижних частях сопек с буроземовидными среднепродуктивными среднечешуйчатыми почвами со свежими сосняками — сосняком с кизильником мертвopoкpoвным на месте сосняка черничникового

1д — пологие нижние и приподовенные части склонов с дерново-слабоподзолистыми мощными малопродуктивными почвами, со свежими сосняками разнотравно-злаковыми и вейниковыми на месте сосняков травяных

1е — пологие нижние и приподовенные части склонов с дерново-слабоподзолистыми мощными малопродуктивными почвами, со свежими типами леса, преимущественно березняком вейниковым и травяным и лугами на месте сосняков травяных

1ж — пологие нижние части склонов увалов и сопек с дерново-подзолистыми среднепродуктивными слабопродуктивными почвами, с периодически влажными сосняками-березняками мертвopoкpoвными и крапивными с участием инвазивных видов на месте сосняков с липой снытьевых и высокотравных

1з — глыбистые россыпи (диаметр глыб 1—3 м) в приподовенных частях пологих склонов преимущественно с мохово-лишайниковой растительностью

1и — днища слабообрезанных логов и пологие нижние части склонов склонов, с дерново-подзолистыми со следами оглеения мощными слабопродуктивными почвами, с периодически влажными сосняками-березняками крапивными, хвощево-высокотравными и снытьевыми на месте сосняков и ельников-сосняков травяных и высокотравных

2 — междувалистые и межсopочные депрессии, сложенные относительно легко разрушаемыми гранитоидами, перекрытыми аллювиально-озерными и болотными отложениями

2а — очень пологие склоны депрессий с подзолистыми оглеенными почвами с влажными сосняками-березняками и березняками хвощевыми на месте сосняков хвощево-крупнотравных

2б — окраинные плоские участки днищ депрессий, слабоогнутые понижения в нижних частях склонов с глеево-подзолистыми и торфянисто-болотными оподзоленными почвами, с периодически сырыми ельниками-сосняками и сосняками-березняками — преимущественно ельником-сосняком мшистохвощевым

2в — слабо вогнутые участки днищ депрессий, с торфяно-болотными почвами, с ивняками, березняками осоковыми, камышово-осоковыми и высокотравными

2г — значительно обводненные участки днищ депрессий со слабо проточным режимом увлажнения, с торфяно-болотными мощными слабопродуктивными почвами, с ольшаником тростниковым, осоково-высокотравным и низинными болотами осоково-тростниковыми

3 — долины мелких рек и временных водотоков, выработанные в междувалистых и межсopочных депрессиях

3а-б — днища долин: 3а — заиленные русла (1-2 м) мелких рек и временных водотоков с водной растительностью; 3б — участки низких пойм с аллювиальными мощными слабопродуктивными почвами, с осоковой и высокотравной растительностью

4 — озерные котловины, выработанные в гранитном массиве

4а — центральные части озерных котловин с глубинами более 3 м с илистым аллювием

4б — окраинные мелководные части озерных котловин с песчано-илистым аллювием и водной растительностью

4в — мелководные заливы и прибрежные участки с илистым аллювием с рогозово-тростниковой растительностью

4г-д — поймы и озерные террасы: 4г — низкие поймы с аллювиально-луговыми среднепродуктивными среднечешуйчатыми почвами с луговой растительностью на месте ольшаника высокотравного; слабоогнутые понижения на пойме, местами обводненные, с березняком-ивняком осоковым и водной растительностью; береговой вал (высотой 1—2 м), сложенный гранитными окатанными глыбами; 4д — площадки I и II надпойменных террас с дерново-подзолистыми среднепродуктивными среднечешуйчатыми почвами с парковыми редколесьями из березы и участками луговой растительности и сосняками-березняками травяными; крутой уступ II террасы с сосняком брусничниковым

Антропогенные комплексы

A1 — селитебные комплексы городского типа

A1a — населенные пункты городского типа: крупные и малые; промышленные центры, поселки городского типа с городской инфраструктурой (объекты социальной инфраструктуры, торговые центры и магазины, спортивные и игровые сооружения, транспортные коммуникации, линии электропередач, объекты культуры и искусства, церкви)

A2 — индустриально-технологические комплексы

A2a — промышленные объекты: заводы; оптовые склады и промышленные базы, автозаправочные комплексы

A2б — объекты горнодобывающей и перерабатывающей промышленности: действующие карьеры

A2в — заброшенные карьеры, местами обводненные с влаголюбивой и крупноплодотворной растительностью на днище и разреженной травянистой растительностью по склонам

A2г — свалки мусора и мусорные полигоны

A2д — добыча песка

A3 — транспортные комплексы

A3a — зоны шоссеинных автодорог, железнодорожных магистралей, загрязненные свинцом, бензапиреном и другими токсичными веществами

A3б — дороги с улучшенным покрытием, парковочные комплексы

A3в — грунтовые и проселочные дороги

A3г — линии электропередач, трубопроводы и путепроводы

A4 — селитебные комплексы сельского типа

A4a — населенные пункты сельского типа со сплошной и несплошной застройкой, с прилегающими сельскохозяйственными угодьями (огороды, сады, пашни, приусадебные участки, кладбища)

A4б — объекты рекреационной инфраструктуры с сооружениями капитального типа: санатории, детские оздоровительные лагеря водные и гидротехнические комплексы

A5 — водные и гидротехнические комплексы

A5a — гидротехнические сооружения линейного типа — рвы, каналы

A6 — рекреационные комплексы

A6a — кемпинги, глэмпинги, базы отдыха, объекты туристской инфраструктуры с временной застройкой без фундамента, включая коммуникации и инфраструктуру

A6б — пляжи, пристани

A7 — лесохозяйственные комплексы

Таблица 1. Площадь групп фаций и их соотношение по степени антропогенного изменения
Table 1. Area of facies groups and their correlation by degree of anthropogenic change

Род и/или группа фаций	Площадь, м ²
Антропогенные	
A1a	257244.6
A2a	1163653.7
A2 (б + в + г)	33939.6
A4 (а + б)	4098998.5
A6 (а + б)	227151.8
A3, A5	1158238.2
Итого	6939226.3
Производные	
сильноизмененные	
A7a	708704.5
среднеизмененные	
1а	2592.4
1б	33363.2
1г	252417.0
1е	1475371.5
1и	211312.5
1ж	1757430.7
2а	600543.1
Итого	4333030.36
слабоизмененные	
1в	2623972.3
1д	1274096.1
1з	21255.2
2б	442599.4
2в	455734.8
2г	411245.5
Итого	5228903.2
Итого	17209864.4
4 — площадь зеркала озера Шарташ	7400000. 0
Общая площадь	24609864.4

и устанавливаются по физиономичным индикаторам. Из названных закономерностей определяющее влияние на сложность и разнообразие ландшафтной структуры оказывает тектогенная дифференциация, далее идут зональность, солярно-экспозиционная закономерность и относительно менее выраженная секторность через секторный вариант зонального типа растительности. Наибольшее разнообразие ландшафтной структуры в пределах картографируемой территории характерно для участков с пересеченным рельефом — увалов и сопок.

Основной единицей картографирования и изображения на ландшафтной карте рекреационно-оздоровительного кластера “Шарташский лесной парк” являются группы фаций, выделенные в пределах родов и классов фаций.

Существенные, относительно устойчивые изменения первичной ландшафтной структуры произошли на уровне систем локальных рангов фаций и их типологических объединений. Границы антропогенных модификаций выражены более резко, чем естественные рубежи и, как правило, территориально с ними не совпадают. В пределах одного инвариантного выдела на генетически определенном фоне формируется несколько антропогенных вариантов естественных геосистем. Наблюдается либо усложнение морфологической дифференциации за счет присутствия многочисленных измененных внутриландшафтных единиц, либо, напротив, выравнивание морфологических контрастов в случае однообразного направления трансформации значительных по площади участков. Прогнозируемые тренды развития определяются закономерностями динамического либо эволюционного развития.

Изучение трансформации отдельных типологических объединений фаций позволило выявить пространственные закономерности. Структура модификаций складывается под воздействием природных факторов, создающих условия для развития хозяйственной деятельности; величина преобразования определяется режимом охраны, социально-экономическими и историческими факторами. Несмотря на определяющую роль, значение природных факторов в антропогенной дифференциации не абсолютно. Антропогенный фактор воздействует повсеместно, независимо от природных условий.

Анализ ландшафтной карты выявил зависимость степени антропогенной трансформации от “величины демографического давления” — плотности населения и густоты застройки. Значительное влияние на степень антропогенного преобразования оказала история освоения территории. В частности, принятие В.Н. Татищевым Инструкции о сбережении лесных насаждений вокруг Екатеринбургских заводов обеспечило сохранение лесов.

Таким образом, выявленные тенденции увеличения площади антропогенных комплексов и сильно измененных модификаций подтверждают необходимость принятия мер по восстановлению сильно- и среднеизмененных производных модификаций до слабоизмененных. Антропогенные комплексы также требуют рекультивации и регулирования в соответствии с назначением проектируемого рекреационно-оздоровительного кластера.

Современное состояние и тенденции развития ООПТ кластера, памятников природы и лесного парка полностью совпадают с развитием природных комплексов, поскольку служат элементами ландшафтной структуры. На территории Шарташского лесного парка в целом нет значительных естественных нарушений рельефа, кроме юго-западной и восточной частей кластера, где расположены Шарташский и Изоплитовский гранитные карьеры. На северо-западе и северо-востоке — жилая застройка, на севере — вторичные леса на месте сельхозугодий. Поэтому

в пределах ООПТ “Шарташский лесной парк” не установлены антропогенные комплексы. Негативное воздействие на природу заключается в коренном изменении или, местами, в уничтожении разных ярусов растительности, лесной подстилки, в результате чего происходит упрощение растительных сообществ. Наблюдается исчезновение лесных видов травостоя, они уступают место лесолуговым, луговым или же сорным видам. Происходит уплотнение и иссушение почвенного покрова, на восточном берегу развиваются эрозионные процессы. Изменения природной среды под воздействием вытаптывания идут постепенно, без резких скачков. Развитие тропинойной сети и подъездов к берегам ведет к разрыву полосы ивовых зарослей вдоль береговой линии. Загрязнению почв и грунтовых вод также способствует бытовой мусор от рекреантов на пляжах и примыкающих к ним территориях южного, юго-западного и северо-восточного берегов. Нестационарная, особенно пикниковая, рекреация несет целый комплекс факторов беспокойства для животных за счет шумовых и световых воздействий в ночное время.

Памятник природы “Озеро Шарташ” в современных границах имеет площадь 7.4 км², его максимальная глубина — 4.5 м. Водоем имеет округлую форму, с вдающимся на западном берегу мысом Рундук. Длина береговой линии — 12.1 км. В настоящее время озеро бессточное. Результаты термических съемок показали отклонение температуры воды в отдельных точках и наличие 50 выходов подземных вод, приуроченных к зонам разломов.

Эвтрофирование водоема наглядно отражает резонансный эффект сочетания природных и антропогенных факторов, что актуализирует и проблемы потепления климата и сокращения биоразнообразия. В результате хозяйственной деятельности избыточное поступление биогенов и органическое загрязнение вызывают антропогенное эвтрофирование, характеризующееся резким ускорением темпов развития, приводящее к заболачиванию озера.

Донные отложения Шарташа формируются в результате отмирания и разложения растительных и животных организмов. Отсутствие проточности водоема замедляет минерализацию и способствует накоплению органики. Верхний слой донных отложений толщиной 30 см — темный, в сухом состоянии содержит до 60% органики. Нижние слои более уплотненные, включают 40% органики, 2–3% общего азота и около 0.2% общего фосфора. В последние десятилетия наблюдается тенденция к увеличению этих биогенов на 7–10%. Суммарная нагрузка по фосфору в 19 раз превышает предельно допустимые концентрации (по фондовым данным РосНИИВХ).

В настоящее время озеро Шарташ испытывает значительную антропогенную нагрузку, обусловленную географическим положением вблизи селитебных комплексов, техногенных и транспортных коммуникаций. На площади водосбора постоянно проживают около 3-х тысяч человек. На берегах на расстоянии 300–400 м от уреза воды расположены 23 промышленных объекта. Озеро используется как источник хозяйственно-бытового и сельскохозяйственного водоснабжения, а также в рыбохозяйственных и рекреационных целях. Разработка карьеров, взрывные работы и откачка грунтовых вод приводят к загрязнению донных отложений тяжелыми металлами.

Наибольшее влияние на природу озера оказывает микрорайон Комсомольский города Екатеринбурга, в котором проживает более 50 000 человек. Увеличение численности населения, изменение геополитической ситуации в стране и повышение роли внутреннего туризма способствуют увеличению антропогенной нагрузки

на лесной парк. Зимой водоем и лесопарковая зона используются для лыжных прогулок, подледной рыбалки и виндсерфинга.

Процессы естественного развития, антропогенное и рекреационное использование водосборной территории озера Шарташ позволяют констатировать признаки его деградации: ухудшение качества воды (снижение концентрации кислорода, увеличение мутности) и гидрохимического режима, обильное цветение воды в летний период, развитие сине-зеленых водорослей, увеличение площади мелководий.

Результаты исследования современного состояния озера Шарташ свидетельствуют о необходимости разработки и организации специальных мероприятий, направленных на снижение антропогенного эвтрофирования: нейтрализации поверхностного стока с селитебной территории, очистки водосборной площади от мусора, обеспечении санитарного режима и извлечении сапропеля одновременно с очисткой возвратных вод от биогенных веществ. Выполнение данных мероприятий позволит обеспечить длительное существование природного объекта в стабильном состоянии и эффективно использовать его рекреационные ресурсы.

Памятник природы “Шарташские каменные палатки” представляет собой каменную стену в виде матрацевидных отдельностей, образовавшихся в результате избирательной денудации, которые состоят из нескольких скал высотой от 5 до 18 м, вытянутых с запада на восток на 80 м, и относятся к Шарташскому гранитному массиву. С западной стороны на вершине скал расположена круглая каменная чаша, предположительно использовавшаяся для жертвоприношений.

Гранитные останцы находятся среди соснового леса, а поверхность скал покрыта лишайниковой и травянистой растительностью. Встречаются папоротники: пузырник ломкий, голокучник обыкновенный, щитовник шартрский, многоножка обыкновенная. У подножья стали редкими многие лугово- и скально-горно-степные виды. За 80 лет с начала XX века с территории исчезло 20 видов растений, что составляет 5% от всего количества сосудистых растений (по фондовым данным Института экологии животных и растений УрО РАН).

В результате полевых исследований выявлено что для памятника природы характерна III–V степень рекреационной дигрессии: частично уничтожена растительность, уплотнена почва, оголены корни деревьев. У подножья скал развита дорожно-тропиночная сеть, встречаются старые костровища и характерна замусоренность.

Территория кластера активно используется в туристских и рекреационных целях. Основными объектами экологического туризма на территории кластера служат слабоизмененные природные комплексы в южной, восточной и юго-восточной частях, многие из которых расположены в ООПТ. Для повышения рекреационного потенциала данных территорий необходимо, прежде всего, лесовосстановление с целью повышения ценности, комфортности и визуальной привлекательности ландшафтов, для чего можно рекомендовать посадку сосны в фации, где подрост коренной породы нет либо произошла смена пород (см. рис. 2, 1е, 1ж).

Многие фации характеризуются наличием инвазивных видов, которые были посажены здесь в прошлом веке. В результате в них наблюдается густой непроходимый подлесок, они имеют более низкий рекреационный потенциал по сравнению с коренными сосняками травяными или черничниковыми. Чаше всего фации с инвазивными видами (см. рис. 2, 1г, 1ж) — мертвопокровные.

Изменения климата и повышение зимних температур приводят к появлению широколиственных видов в подлеске, что увеличивает опад и затенение, создает условия, неблагоприятные для произрастания сосны и приводит к формированию сплошного напочвенного покрова из крапивы. Кроме этого, быстрое распространение кизильника черноплодного, образующего густые заросли под пологом сосняков, полностью вытесняет коренную травянистую растительность.

Многие фации характеризуются наличием тропинойной сети с зафиксированной V стадий рекреационной дигрессии, с оголением корней деревьев в результате уничтожения растительности, уплотнения почвы. Дыхание сосны в таких условиях нарушается, что приводит к суховершинности и гибели сосняков. Для исключения подобного явления необходима прокладка троп на настилах и навесах.

Суммарная площадь болотных комплексов, относящихся к слабоизмененным фациям, составляет 6% от площади кластера (см. рис. 2, 2в, 2г). Отмечается тенденция к увеличению площади болот. Одна из задач в проекте кластера — создание болотного парка. Однако место и форма его организации должны быть скорректированы. Наиболее информативна — кластерная структура, которая обеспечивает больший охват природных комплексов и более интересную подачу материала при посещении и разведение потоков посетителей. Основная функция болотного парка видится в образовательном и просветительском аспекте. Максимально отвечают этой функции болота вокруг оз. Малый Шарташ (см. рис. 2, 2в, 2а), где можно наблюдать все стадии эволюции зарастания и заболачивания озера.

В перспективе наибольшую опасность для прибрежной рекреационной зоны представляет отчуждение территории под застройку всех видов, что в короткое время приведет к фрагментации природных комплексов и снижению их биологического разнообразия. Несмотря на высокую степень трансформации, в пределах кластера сохранился резерв слабо измененных геосистем. Обеспечение ландшафтного и биологического разнообразия, сохранение природных объектов, их эстетической привлекательности служит важной задачей планирования пространственной структуры кластера. Анализ качества и благоприятности природной среды для разных форм рекреационного и средоформирующего использования — задача последующей геоэкологической экспертизы.

Заключение

В настоящее время урбанизация является одной из доминирующих тенденций развития общества, вызывающей необратимые преобразования природных геосистем. Рост численности городского населения, увеличение площади селитебных территорий, промышленных предприятий и транспортных коммуникаций обуславливает фрагментацию природных комплексов. В результате изучения территории регионального рекреационно-оздоровительного кластера “Шарташский лесной парк” выполнен анализ и оценка ландшафтной структуры для оптимизации мероприятий по благоустройству территории.

В ходе исследования разработана ландшафтная карта территории. Основным объектом картографирования и показа явились группы фаций, каждая из которых характеризуется определенной динамикой и эволюцией, имеет разную степень устойчивости, а также обладает определенным рекреационным и образовательным потенциалом. Ландшафтная карта отражает разнообразие природных комплексов территории и позволяет обосновывать меры по восстановлению сильно- и среднеизмененных производных модификаций до слабоизмененных в соответствии

со сложившимся геокультурным пространством. Антропогенные комплексы также требуют рекультивации и регулируемого развития в соответствии с назначением проектируемого рекреационно-оздоровительного кластера.

Инвентаризационное ландшафтное картографирование территории позволило установить преобладание производных среднеизмененных геосистем. Коренные и условно-коренные фации не сохранились. Типичны антропогенные комплексы. К наиболее сохранившим слабоизмененным производным природным комплексам относятся и болотные. Установленные особенности ландшафтной структуры и соотношение производных модификаций и антропогенных комплексов показывают, что лишь 18% площади территории на сегодняшний день характеризуется слабой степенью антропогенного изменения и комфортными условиями для рекреационной деятельности в условиях природной среды. Основные объекты аттракции — памятники природы “Озеро Шарташ” и “Шарташский лесной парк” — требуют дополнительных мер для поддержания состояния и сохранения природных комплексов.

Городская территория рекреационно-оздоровительного кластера “Шарташский лесной парк” активно развивается с позиций рекреационного освоения. Озеро Шарташ, окружающие его леса и болота, следы древней культуры этих мест имеют природоохранное, научное, культурное, оздоровительное и эстетическое значение для Екатеринбурга. Задача, которую предстоит продолжить решать при ландшафтном планировании, — ведение ответственного бизнеса, готового учитывать базовые принципы сохранения природы для устойчивого развития территории.

Установленная сложная мозаичность геосистем, формируемая природными и антропогенно-обусловленными процессами и связями, структурными взаимообусловленностями и эмерджентными эффектами, положена в основу ландшафтного планирования территории. Выполненные исследования служат реализованным элементом разработки мастер-плана развития и основой предложенных авторами направлений оптимизации территории для эффективного выполнения средообразующих и рекреационных функций.

Развитие природных комплексов и объектов подчиняется закономерностям, обусловленным естественными и антропогенными факторами формирования. Наиболее сложная эволюция характерна для объектов, расположенных на стыке природных и антропогенных систем, функционирование которых определяется не только естественными физико-географическими процессами, но и экологическими факторами. Такие объекты, относящиеся к природным достопримечательностям с чертами типичности и уникальности, находятся в зоне риска исчезновения и перехода в новую стадию развития. Изучение тенденций динамических и эволюционных изменений этих объектов и разработка мероприятий, направленных на поддержание их стабильного существования и рациональное использование ресурсов, будет способствовать сохранению ландшафтного разнообразия и устойчивости в интересах развития региона.

Список литературы

1. Архипов Н.И. Природные достопримечательности Екатеринбурга и его окрестностей. Екатеринбург: АКБА-ПРЕСС, 2001. 226 с.
2. Викторов А.С. Рисунок ландшафта. М.: Мысль, 1986. 179 с.
3. Викторов С.В., Чикишев А.Г. Ландшафтная индикация и ее практическое применение. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 100 с.
4. Гурьевских О.Ю. Методы количественного анализа и моделирование в ландшафтном проектировании региональных систем особо охраняемых природных территорий // Матема-

тическое моделирование в экологии. Материалы Шестой Национальной научной конференции с международным участием. Пушкино, 2019. С. 67–69.

5. Иванова М.А., Яковлева А.А., Микеладзе Ш.Э., Бунькова Н.П. Динамика фитомассы живого напочвенного покрова в условиях Шарташского лесного парка г. Екатеринбурга // Оптимизация лесопользования: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, посвященной 70-летию Почетного работника высшего образования, Заслуженного лесовода России Залесова Сергея Вениаминовича. Екатеринбург: УГЛТУ, 2023. С. 224–229.

6. Зайцев О.Б., Поляков В.Е. Особо охраняемые природные территории города Екатеринбурга. Екатеринбург, 2015. 46 с.

7. Исаченко Г.А. Ландшафт между реальностью и конструкцией (размышления по поводу статьи Е.Ю. Колбовского) // Известия Русского географического общества. 2014. Т. 146. № 2. С. 46–66.

8. Исаченко Г.А. Концепции многолетней динамики ландшафтов и вызовы времени // Вопросы географии. Сб. 138: Горизонты ландшафтоведения / Отв. ред. К.Н. Дьяконов, В.М. Котляков, Т.И. Харитонов. М.: Издательский дом “Кодекс”, 2014. С. 215–232.

9. Коломыц Э.Г. Мониторинг устойчивого развития лесных экосистем в меняющемся климате: монография / Под ред. Б.И. Кочурова. М.: ИНФРА-М, 2024. 540 с. (Научная мысль).

10. Колесников Б.П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области. Практ. руководство / УНЦ АН СССР. Свердловск, 1974. 176 с.

11. Осипов С.В., Гуров А.А. Детальное картографирование техногенных ландшафтов // География и природ. ресурсы. 2016. № 1. С. 156–163.

12. Попов А.Н. К вопросу по экспертизе проектов, направленных на реабилитацию эвтрофирующих водоемов (озера, водохранилища) // Водные ресурсы в условиях глобальных вызовов: экологические проблемы, управление, мониторинг: Сб. тр. Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Ростов-на-Дону, 20–22 сентября 2023 года. В 2-х т. Т. 2. Новочеркасск: ООО “Лик”, 2023. С. 104–107.

13. Пузаченко Ю.Г. Организация ландшафта // Вопросы географии. Сб. 138: Горизонты ландшафтоведения / Отв. ред. К.Н. Дьяконов, В.М. Котляков, Т.И. Харитонов. М.: Издательский дом “Кодекс”, 2014. С. 35–65.

14. Гурьевских О.Ю., Капустин В.Г., Скок Н.В., Янцер О.В. Физико-географическое районирование и ландшафты Свердловской области / Под ред. О.Ю. Гурьевских. Екатеринбург, 2016. 280 с.

15. Хорошев А.В. Полимасштабная организация географического ландшафта. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2016. 416 с.

16. Хорошев А.В. К дискуссии о неоландшафтоведении: детерминированность, полимасштабность, полиструктурность // Известия Русского географического общества. 2014. Т. 146. № 4. С. 58–69.

17. Хорошев А.В. Ландшафтно-экологическое планирование. Учебник для вузов. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2023. 261 с.

18. Черкашин А.К. Полисистемное моделирование. Новосибирск: Наука, 2005. 280 с.

19. Шакиров А.В. Физико-географическое районирование Урала. — Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 617 с.

20. Caspersen O.H., Olafsson A.S. Recreational mapping and planning for enlargement of the green structure in greater Copenhagen // Urban Forestry and Urban Greening. 2010. V. 9. Iss. 2. P. 101–112. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.06.007>

21. Edwards D., Jay M., Jensen F.S., Lucas B., Marzano M., Montagné C., Peace A., Weiss G. Public preferences for structural attributes of forests: towards a pan-European perspective // Forest Policy Econ. V. 19. P. 12–19.

<https://doi.org/10.1016/j.forpol.2011.07.006>

22. Landscape Patterns in a Range of Spatio-Temporal Scales / Eds. A.V. Khoroshev, K.N Dyakonov. Cham: Springer, 2020. 439 p. (Landscape Series; v. 26).
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-31185-8>
23. Nordh H. Park Characteristics: A Tool for Classifying and Designing Urban Green Areas. VDM, 2010. 68 p.
24. Tveit M., Ode Å., Fry G. Key concepts in a framework for analysing visual landscape character // Landscape Res. V. 31. Iss. 3. P. 229–255.
<https://doi.org/10.1080/01426390600783269>

Landscape Assessment of the Recreational and Health Cluster “Shartash Forest Park”

O.Yu. Gurevskikh*, N.V. Skok

Ural State Pedagogical University, Yekaterinburg, Russia

**E-mail: gurevskikh@mail.ru*

Received 01.03.2024

Revised 22.06.2025

Accepted 23.06.2025

The landscape structure of modern Yekaterinburg is formed under the influence of a complex of different-scale factors of formation, the areas of predominant influence of which determine the set and spatial ratio of allotments, the nature of boundaries and the speed of development of geosystems of different ranks. The spatial and temporal landscape structure of a megalopolis determines the quality of the urban environment through a complex of stable environment-forming connections and attractive perception parameters. One of the specific elements of the landscape structure of Yekaterinburg are specially protected natural territories of regional significance — forest parks that perform environmental, environment-forming and recreational functions. The article is devoted to the results of inventory and assessment landscape studies of the territory of the recreation and health cluster “Shartash Forest Park”, located in the northeastern part of Yekaterinburg. Over the centuries-old history of development, a landscape structure has developed within the site, represented by natural territorial complexes, their derivative modifications, anthropogenic complexes and technological systems. The landscape structure is considered from the standpoint of a structural-genetic and functional-dynamic approach, as a change in the dynamic and evolutionary states of geosystems. The multi-scale landscape-forming processes have been studied, the landscape structure of the territory has been identified, the methodology and results of large-scale landscape mapping performed for the first time, which is the basis for assessing the modes of use of the territory for planning measures for the improvement of the cluster with the analysis of project proposals for development, have been considered. The established complex mosaic of geosystems, formed by natural and anthropogenic processes and connections, structural interdependencies and emergent effects, is the basis for landscape planning of the territory. The completed studies serve as an implemented element of the development of a master plan for development and the basis of the directions proposed by the authors for optimizing the territory for the effective performance of environmental and recreational functions.

Keywords: landscape structure, multi-scale, hierarchy of geosystems, landscape map, landscape assessment, dynamic and evolutionary states, recreational and health cluster, Shartash Forest Park, Yekaterinburg

References

1. Arhipova N.I. Prirodnye dostoprimechatel'nosti Yekaterinburga i ego okrestnostej. Yekaterinburg: AKVA-PRESS, 2001. 226 s.
2. Viktorov A.S. Risunok landshafta. M.: Mysl', 1986.
3. Viktorov S.V., Chikishev A.G. Landshaftnaya indikatsiya i ee prakticheskoe primenenie. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1990. 100 s.
4. Gur'evskikh O.Yu. Metody kolichestvennogo analiza i modelirovanie v landshaftnom proektirovanii regional'nykh sistem osobo okhranyaemykh prirodnykh territorij // Matematicheskoe modelirovanie v ehkologii. Materialy Shestoj Nacional'noj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Pushchino, 2019. S. 67–69.
5. Ivanova M.A., Yakovleva A.A., Mikeladze Sh.E., Bun'kova N.P. Dinamika fitomassy zhivogo napochvennogo pokrova v usloviyah Shartashskogo lesnogo parka g. Yekaterinburga // Optimizatsiya lesopol'zovaniya: materialy Vserossijskoj (nacional'noj) nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoj 70-letiyu Pochetnogo rabotnika vysshego obrazovaniya, Zasluzhennogo lesovoda Rossii Zalesova Sergeya Veniaminovicha. Yekaterinburg: UGLTU, 2023. S. 224–229.
6. Zajcev O.B., Polyakov V.E. Osobo okhranyaemye prirodnye territorii goroda Ekaterinburga. Ekaterinburg, 2015. 46 s.
7. Isachenko G.A. Landshaft mezhdru real'nost'yu i konstrukcij (razmyshleniya po povodu stat'i E. Yu. Kolbovskogo) // Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva. 2014. T. 146. № 2. S. 46–66.
8. Isachenko G.A. Konceptii mnogoletnej dinamiki landshaftov i vyzovy vremeni // Voprosy geografii. Sb. 138: Gorizonty landshaftovedeniya / Otv. red. K.N. D'jakonov, V.M. Kotljakov, T.I. Haritonova. M.: Izdatel'skij dom "Kodeks", 2014. S. 215–232.
9. Kolomyc Eh.G. Monitoring ustojchivogo razvitiya lesnykh ehkosisistem v menya- yushchemsya klimate: monografiya / Pod red. B.I. Kochurova. M.: INFRA-M, 2024. 540 s. (Nauchnaya mysl').
10. Kolesnikov B.P. Lesorastitel'nye usloviya i tipy lesov Sverdlovskoj oblasti. Prakt. rukovodstvo / UNC AN SSSR. Sverdlovsk, 1974. 176 s.
11. Osipov S.V., Gurov A.A. Detal'noe kartografirovanie tekhnogennykh landshaftov // Geografiya i prirod. resursy. 2016. № 1. S. 156–163.
12. Popov A.N. K voprosu po ekspertize proektov, napravlennykh na reabilitatsiyu evtrofiruyushchih vodoyomov (ozyora, vodohranilishcha) // Vodnye resursy v usloviyah global'nykh vyzovov: ekologicheskie problemy, upravlenie, monitoring: Sb. tr. Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, Rostov-na-Donu, 20–22 sentyabrya 2023 goda. V 2-h t. T. 2. Novocherkassk: OOO "Lik", 2023. S. 104–107.
13. Puzachenko Yu.G. Organizatsiya landshafta // Voprosy geografii. Sb. 138: Gorizonty landshaftovedeniya / Otv. red. K.N. D'jakonov, V.M. Kotlyakov, T.I. Kharitonova. M.: Izdatel'skij dom "Kodeks", 2014. S. 35–65.
14. Gur'evskikh O.Yu., Kapustin V.G., Skok N.V., Yancer O.V. Fiziko-geograficheskoe rajonirovanie i landshafty Sverdlovskoj oblasti / Pod red. O.Yu. Gur'evskikh. Yekaterinburg, 2016. 280 s.
15. Khoroshev A.V. Polimasshtabnaya organizatsiya geograficheskogo landshafta. — M.: Tovarishestvo nauchnykh izdanij KMK, 2016. 416 s.
16. Khoroshev A.V. K diskussii o neolandshaftovedenii: determinirovannost', polimasshtabnost', polistrukturnost' // Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva. 2014. T. 146. № 4. S. 58–69.
17. Khoroshev A.V. Landshaftno-ehkologicheskoe planirovanie. Uchebnik dlya vuzov. M.: Tovarishestvo nauchnykh izdanij KMK. 2023. 261 s.
18. Cherkashin A.K. Polisistemnoe modelirovanie. Novosibirsk: Nauka, 2005. 280 s.
19. Shakirov A.V. Fiziko-geograficheskoe rajonirovanie Urala. Yekaterinburg: URO RAN, 2011. 617 s.

20. Caspersen O.H., Olafsson A.S. Recreational mapping and planning for enlargement of the green structure in greater Copenhagen. *Urban Forestry and Urban Greening*. 2010. V. 9. Iss. 2. P. 101–112.

<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.06.007>

21. Edwards D., Jay M., Jensen F.S., Lucas B., Marzano M., Montagné C., Peace A., Weiss G. Public preferences for structural attributes of forests: towards a pan-European perspective // *Forest Policy Econ.* 2012. V. 19. P. 12–19.

<https://doi.org/10.1016/j.forpol.2011.07.006>

22. Landscape Patterns in a Range of Spatio-Temporal Scales / Eds. A.V. Khoroshev, K.N. Dyakonov. Cham: Springer, 2020. 439 p. (Landscape Series; v. 26).

<https://doi.org/10.1007/978-3-030-31185-8>

23. Nordh H. Park Characteristics: A Tool for Classifying and Designing Urban Green Areas. VDM, 2010. 68 p.

24. Tveit M., Ode Å., Fry G. Key concepts in a framework for analysing visual landscape character // *Landscape Res.* V. 31. Iss. 3. P. 229–255.

<https://doi.org/10.1080/01426390600783269>

УДК 519.685

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ МОСКОВСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ Р. СЕТУНИ)

© 2025 г. И.С. Денисова^{1, 2, *}, М.В. Болгов¹¹ Институт водных проблем РАН, Москва, Россия² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*E-mail: ira.denisova@icloud.com

Поступила в редакцию 25.06.2024 г.

После доработки 11.02.2025 г.

Принята к публикации 29.03.2025 г.

Московская агломерация характеризуется высокой долей непроницаемых покрытий, объясняющей формирование специфического водного режима с большим количеством кратковременных паводков и быстрой реакцией водосбора на ливневые осадки. Для одного из крупнейших притоков Москвы-реки в черте столицы — бассейна р. Сетуни — с помощью модели SWMM воспроизведено формирование экстремальных паводков в 2020–2023 гг. Модель была откалибрована с учетом 30-минутных мониторинговых данных о расходах воды и 10-минутных интенсивностей осадков, полученных путем интерполяции в центр водосбора. Эффективность модели оценивалась с использованием относительной погрешности (R_E) и коэффициента детерминации (R^2). Результаты калибровки и проверки показали хорошую взаимосвязь между смоделированными и измеренными максимальными расходами воды ($R^2 = 0.77$, относительная погрешность — в диапазоне от 2 до 56%). Наиболее адекватные результаты были получены для паводков, пиковые расходы которых превышали $15 \text{ м}^3/\text{с}$.

Ключевые слова: урбанизированные территории, паводочный сток, Московская агломерация, SWMM, экстремальные осадки

DOI: 10.31857/S0869607125020051, EDN: KXUGLG

Введение

Исследование ливневого стока и смыва загрязняющих веществ с урбанизированных территорий является одной из важнейших задач гидрологии городов. Трансформация водосборов, приводящая к уменьшению времени добегания стока и сокращению продолжительности паводков, организация коллекторов ливневой канализации приводят к росту пиковых расходов на водотоках урбанизированных территорий [20] и затоплению прибрежных участков. Под паводками понимается фаза водного режима, которая может многократно повторяться в различные сезоны года и характеризуется интенсивным, кратковременным увеличением расходов и уровней воды за счет выпадения дождевых осадков или снеготаяния во время зимних оттепелей. С начала XXI века в городах, в частности в Московской агломерации (т.е. в Москве и в Московской области), произошло существенное изменение структуры осадков — был выявлен положительный тренд для интенсивности коротких ливней [5, 7, 10, 12, 25].

В условиях городской территории, характеризующейся специфическим гидрометеорологическим режимом и высокой плотностью населения, наблюдается тен-

денция к увеличению числа чрезвычайных ситуаций (ЧС), сопровождающихся значительными ущербами. Оценка рисков и обоснование систем предотвращения таких событий является сложной задачей, так как гидрологический мониторинг малых рек в пределах Москвы весьма ограничен. В этом контексте приобретает важное значение использование новых форм и способов получения исходной метеорологической информации, а также совершенствование научно-методического и информационно-аналитического аппарата прогнозирования ЧС [2].

Особенности формирования стока на урбанизированных территориях, в частности в Московской агломерации, изучены слабо. С 2019 г. в бассейне р. Сетуни функционирует система гидролого-геохимического мониторинга, осуществляемого географическим факультетом МГУ [10, 11, 22–24]. Проводимый мониторинг является уникальным многолетним экспериментом, так как данные на сети станций получены с помощью автоматизированных датчиков уровня воды с дискретностью записи 30 мин.

Целью настоящего исследования стала разработка моделей, позволяющих осуществлять прогноз опасных гидрологических событий в городских условиях. В работе решались следующие задачи: 1) выявление факторов формирования стока на урбанизированных территориях; 2) разработка методики получения информации об осадках при нехватке данных; 3) определение гидрологических характеристик, влияющих на оценку зон затопления застроенных территорий. В данной статье представлены результаты моделирования паводочного стока р. Сетуни путем реализации системы SWMM, проведена калибровка и проверка модели с использованием данных высокочастотного мониторинга. В дальнейшем результаты этого исследования позволят разработать более эффективные стратегии по снижению ущерба от ЧС на урбанизированных территориях Московской агломерации.

Материалы и методы

Бассейн р. Сетуни

Сетунь является крупнейшим правым притоком Москвы-реки в черте столицы и во всем верхнем и среднем течении. Ее длина составляет 38 км, а площадь водосбора — 190 км². Река протекает через городские районы Солнцево, Ново-Переделкино, частично в Одинцовском районе Московской области, пересекает МКАД в районе Сколковского шоссе, затем Аминьевское шоссе, Минскую улицу и впадает в р. Москву ниже Бережковского моста. Основные притоки Сетуни — реки Сетунька (в верховьях), Навершка и Раменка (в нижнем течении) [22]. Коммунальные и промышленные стоки, а также сброс неочищенных ливневых вод с улично-дорожной сети оказывают сильное влияние на термический и ледовый режим р. Сетуни — они повышают температуру воды на 2°–6°C, из-за чего не формируется ледяной покров даже при устойчивых низких температурах зимой; при этом мутность воды в 3 раза выше, чем в верховьях бассейна р. Москвы, по причине залповых сбросов из дренажно-коллекторной сети [8].

Около 30% от площади водосбора р. Сетуни составляют урбанизированные территории. Оценки характеристик были получены с использованием данных OpenStreetMap¹, представленных в векторном формате в системе координат WGS84

¹ <https://data.nextgis.com/ru/catalog/subdivisions/?country=RU>

(ESPG: 4326). В бассейне Сетуни присутствуют все виды ландшафтов, характерные для застроенных территорий города Москвы. Для анализа функциональных зон водосбора (рис. 1) использованы данные о землепользовании и типах земельного покрова — всего было выделено 4 категории: 1) промышленные зоны, 2) коммерческие зоны, 3) жилые зоны, 4) зеленые зоны. Помимо этого, были проанализированы доли водонепроницаемых поверхностей в бассейне.

Мониторинговые данные

Данные на сети станций были получены с помощью автоматизированных датчиков уровня воды НОВО U20L, Solinst Levelogger 5 Junior и Keller DCX-22-ECO с дискретностью записи 30 мин, начиная с 14 ноября 2019 г. Логгеры фиксируют суммарное давление воды и атмосферы. Для расчета уровня воды над логгером проводилась барометрическая компенсация (1) по данным ближайших метеостанций (для постов выше МКАД — метеостанция Внуково, ниже МКАД — Балчуг):

$$h = (P_{\text{logger}} - P_0) \cdot 0.0101972, \quad (1)$$

где h — уровень воды над логгером (м), P_{logger} — суммарное давление воды и атмосферы (гПа), P_0 — величина атмосферного давления (гПа).

В разные фазы водного режима эпизодически измерялись расходы воды методом “скорость—площадь” при помощи измерителя скорости потока ИСП-1М. Эти измерения позволили получить зависимости $Q = f(H)$ и перейти к расходам воды за весь период мониторинга с шагом 30 мин.

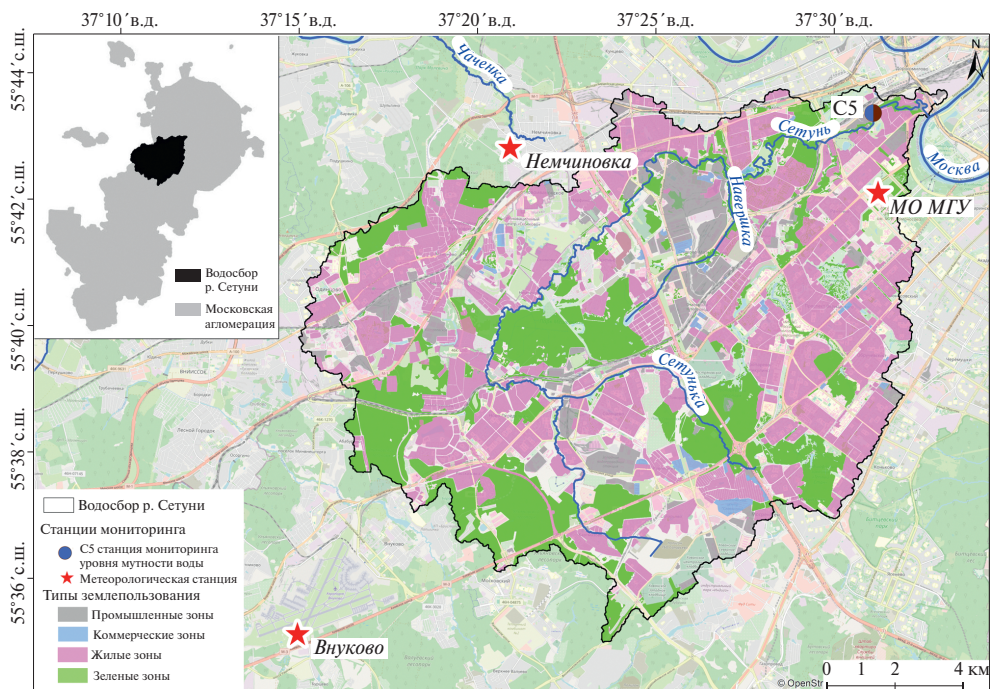


Рис. 1. Станции мониторинга в бассейне р. Сетуни и его функциональные зоны.

Fig. 1. Monitoring stations in the Setun River basin and its functional areas.

Первичная обработка данных

Уровни воды, измеренные с помощью логгера, были пересчитаны в расходы воды. За основу были взяты фактические измерения расходов воды, которые в дальнейшем позволили выявить взаимосвязь между уровнями (H , м) и расходами воды (Q , м³/с) по формуле

$$Q_{C5} = \begin{cases} 8.935 \cdot H^2 - 4.056 \cdot H, & \text{если } H < 1.07 \\ 15 \cdot H - 10.15, & \text{если } H > 1.07 \end{cases}, \quad (2)$$

где Q — расход воды (м³/с), H — уровень воды над 0 графика поста (м).

Для выявления грубых ошибок в данных проведена обработка рядов при помощи фильтра Савицкого—Голея [16, 20], реализованного в пакете *phenofit* языка программирования R. Фильтр Савицкого—Голея является алгоритмом обработки сигналов, который можно применить к набору цифровых точек данных с целью их сглаживания без искажения тенденции сигнала. Он основан на методе наименьших квадратов, позволяя аппроксимировать данные с помощью полинома. Основные параметры фильтра — ширина окна (определяет количество точек, используемых для сглаживания), порядок полинома (указывает степень полинома, который используется для аппроксимации данных в пределах заданного окна) и коэффициенты свертки (коэффициенты, рассчитываемые на основе уравнений наименьших квадратов).

Цель данного метода заключается в удалении выбросов и белого шума (краткосрочных и слабоинтенсивных колебаний). В данной методике использовались весовые коэффициенты, определяющие значимость конкретного значения расхода для дальнейшего сглаживания: веса изменяются от 0 до 1, где 0 — это полное игнорирование значений. Для распределения весов по временным рядам с помощью ПО STATISTICA был определен размах (без выбросов) изменения расходов за единицу времени (30 мин). Сглаживание данных и удаление выбросов производилось исходя из соображения, что расходы воды не могут резко понижаться, а потом снова повышаться за определенную единицу времени. Необходимо было определить отрицательные пики, то есть найти граничные значения между естественным падением расхода и искусственным. Значениям, выходящим за данный диапазон, присваивались веса, равные 0.2. В случае, если встречалось 3 значения расхода с весом 0, это определялось как выброс, и их вес становился равным 0 (см. рис. 2, 3).

Наиболее репрезентативными для моделирования расходов воды являются данные, полученные в замыкающем створе С5, так как они характеризуются непрерывностью ряда и частым измерением фактических расходов воды в различные фазы водного режима, что обуславливает достоверность полученных данных и надежность зависимости $Q = f(H)$. В связи с этим моделирование и калибровка в настоящей статье были проведены с использованием расходов воды на данном гидропосте.

Метеорологические данные

Для характеристики осадков использованы данные об их интенсивности с дискретностью 10 мин, полученные с метеостанции МГУ им. М.В. Ломоносова (МО МГУ), оснащенной плювиографом. Для достоверного результата необходимы подробные сведения о пространственном распределении осадков, так как с использованием данных одной метеостанции невозможно воспроизвести неравномерность их выпадения. В статье была предложена альтернативная методика — использова-

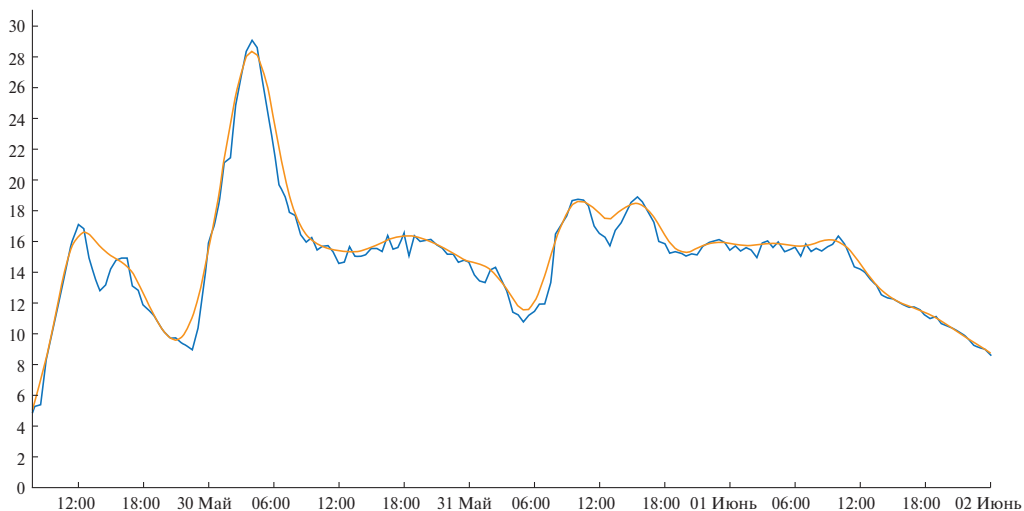


Рис. 2. Результат сглаживания гидрографа.

Fig. 2. Hydrograph smoothing result.

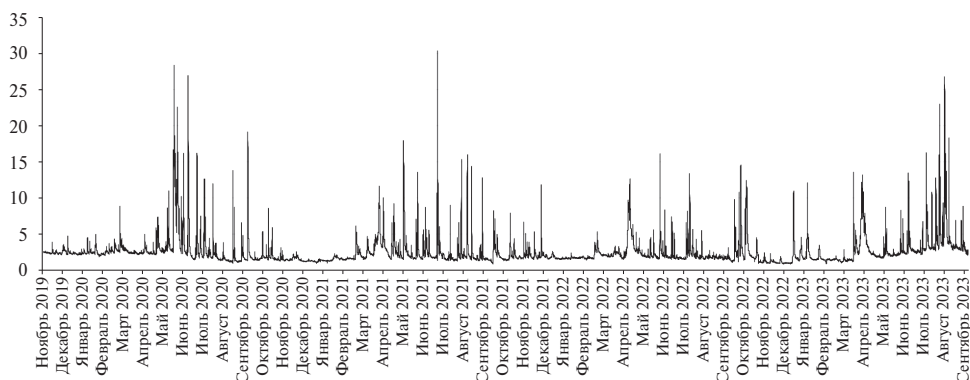


Рис. 3. Гидрограф р. Сетуни после применения фильтра Савицкого—Голея.

Fig. 3. Hydrograph of the Setun River after applying the Savitzky—Golay filter.

ние метода кригинга. Данные, полученные с ближайших метеостанций (МО МГУ, Внуково, Немчиновка), были интерполированы в центр оид водосбора р. Сетуни методом “Универсального кригинга”² [10]. Полученные 3-часовые данные об осадках были приведены к данным плувиограмм, записанных на МО МГУ, с помощью переводного коэффициента (рис. 4, 5).

Моделирующая система SWMM

Формирование паводочного стока Сетуни воспроизводилось с использованием динамической модели формирования дождевого стока Storm Water Management Model (SWMM). Эта модель разработана для изучения работы систем ливневой

² <https://github.com/atsyplenkov/setun-meteo-kriging.git>

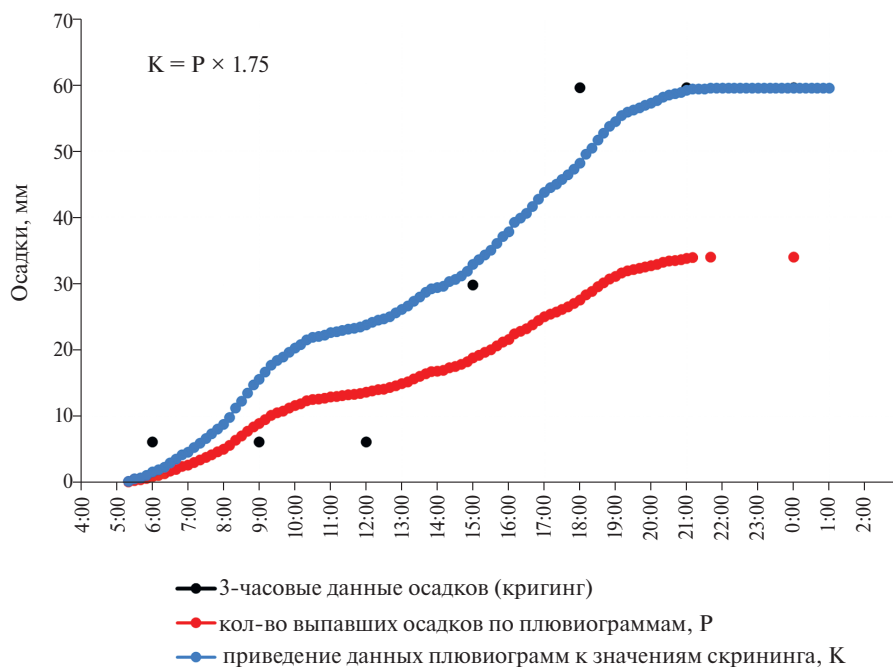


Рис. 4. Приведение данных плувиограмм, записанных на МО МГУ, к значениям кригинга за 08.05.2021 г.

Fig. 4. Reduction of rain gauge chart data recorded at the MSU weather station to kriging values for 05.08.2021.

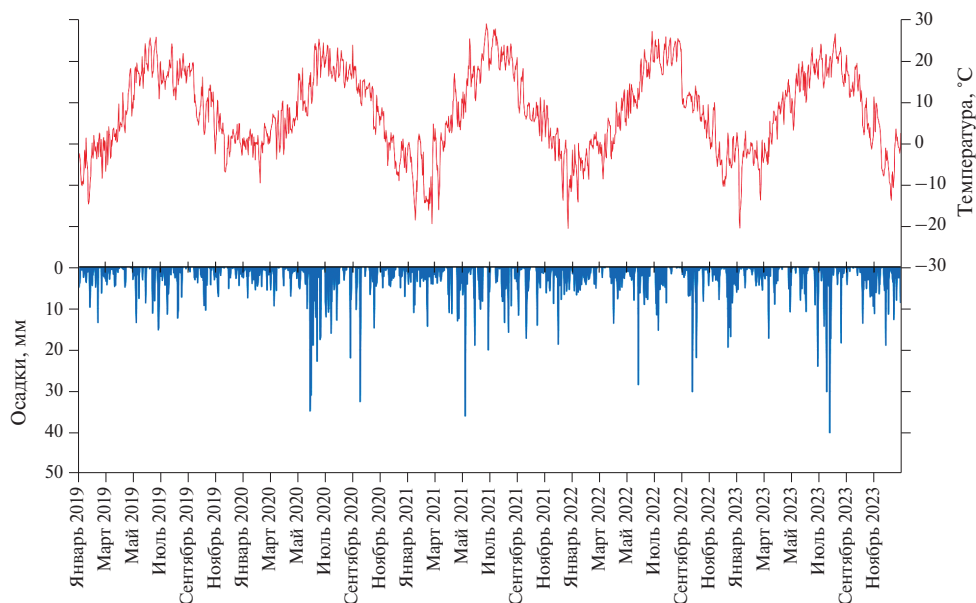


Рис. 5. Среднесуточная сумма осадков (левая ось) и температуры воздуха (правая ось), полученные с метеостанций МГУ, Немчиновка и Внуково методом кригинга, за 2019–2023 гг.

Fig. 5. Daily average sum of precipitation (left axis) and air temperature (right axis) obtained from the weather stations of MSU, Nemchinovka and Vnukovo using the kriging method, in 2019–2023.

канализации на застроенных территориях и предполагает разделение объекта исследования на элементарные водосборы, определение параметров, влияющих на потери в результате инфильтрации, склоновое задержание и склоновое добегание. SWMM широко применяется в инженерных расчетах по всему миру, однако в России ее использование ограничено [2, 3, 15, 17, 18].

SWMM подразделяется на два основных блока, которые позволяют моделировать большинство количественных и качественных характеристик гидрологического цикла на урбанизированной территории: первый блок производит расчет процесса формирования стока с территории каждого элементарного водосбора, второй — рассчитывает движение потока по русловой сети по системе уравнений Сен-Венана [2].

SWMM учитывает различные гидрологические процессы, которые приводят к образованию стока с городских территорий. К ним относятся изменяющиеся во времени осадки, испарение с водной поверхности, накопление и таяние снега, инфильтрация осадков в ненасыщенные слои почвы, просачивание воды в слои грунтовых вод, перетоки между грунтовыми водами и дренажной системой, улавливание и удержание осадков/стоков с помощью различных методов. Пользователю необходимо задать входные параметры для калибровки имитационной модели. Исследуемая территория может быть разделена на любое количество элементарных подводосборов, сток каждого из которых собирается в одной точке (узле). Размеры исследуемых территорий могут варьироваться от небольшой части одного участка до тысяч гектаров. SWMM использует данные об осадках с разной дискретностью и может быть реализован для отдельных событий или в непрерывном режиме на протяжении любого количества лет.

Первым шагом при моделировании являлась разбивка бассейна на элементарные водосборы и анализ цифровой модели рельефа (ЦМР), построенной с помощью информации со спутника *ALOS*, съемочной аппаратуры *PALSAR* с разрешением 12.5 м, в программном комплексе ArcGIS (см. рис. 6) [2]. С учетом характеристик исследуемой территории водосбор был разделен на 20 подбассейнов, что представляет собой достаточно детальную дискретизацию.

Далее производился расчет доли непроницаемой территории, для которой не происходит фильтрации воды в грунт. Для расчета непроницаемых территорий использовались данные о застройке на территории бассейна, а также площадные характеристики дорог. Ширина дороги определялась в зависимости от ее типа (внутриквартальная, межрайонная, автомагистраль и т.д.), после чего строились буферы, которые в результате суммировались с данными о застройке. Модель также была откалибрована с учетом информации о типах поверхности (см. рис. 1) и наличии прудов (см. рис. 6), полученных в результате обработки данных OpenStreetMap. В данном исследовании использовалась информация о наличии прудов в каждом элементарном водосборе, т.е. допускалось, что поверхностный сток перехватывается прудами, а затем поступает в речную сеть Сетунь.

В SWMM заложено несколько вариантов моделирования процессов инфильтрации в грунт. В настоящем исследовании был использован классический метод Хортонa [1]. Этот метод основан на эмпирических наблюдениях, показывающих, что инфильтрация снижается экспоненциально от начальной максимальной скорости до некоторой минимальной скорости в течение продолжительных дождей. Входные параметры, необходимые для этого метода, включают максимальную и минимальную скорость инфильтрации, коэффициент затухания, который опи-

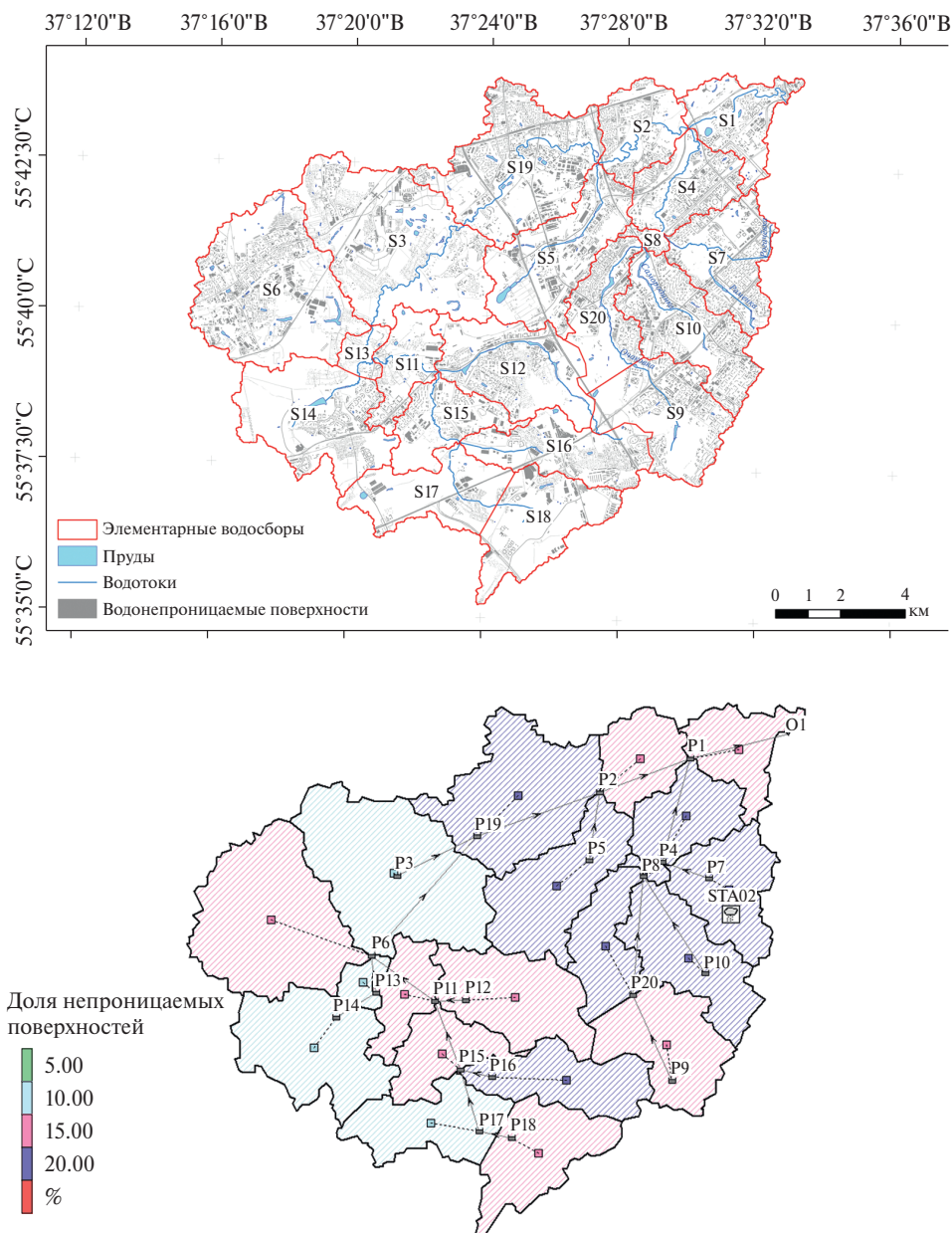


Рис. 6. Карта-схема бассейна р. Сетуни, использованная для моделирования затопления, построенная в ArcGIS (сверху) и в SWMM (снизу) (P1 — водоудерживающие емкости).

Fig. 6. Schematic map of the Setun River basin used for flood modeling, built in ArcGIS (top) and SWMM (bottom) (P1 — water retention tanks/storing units).

сывает, насколько быстро скорость уменьшается с течением времени, и время, необходимое полностью насыщенную почву для полного высыхания. В табл. 1 представлены калибровочные параметры, использованные для моделирования стока в бассейне р. Сетуни. Их выбор основывался на принципах, представленных в работе [19].

Сбор сведений о свойствах почв на территории Московской агломерации и подбор коэффициентов инфильтрации осуществлялись на основе Цифровой среднемасштабной Почвенной карты Московского региона³ и литературных источников [14].

Таблица 1. Параметры калибровки гидрологического и гидравлического модуля SWMM

Table 1. Calibration parameters for SWMM hydrology and hydraulic module

№	Название	Значение	Диапазон используемых значений
1	% Imperv	Доля непроницаемых покрытий (%)	7–19
2	Max. Infil. Rate	Максимальная скорость инфильтрации по кривой Хортон (мм/час)	25.4–42.3
3	Min. Infil. Rate	Минимальная скорость инфильтрации по кривой Хортон (мм/час)	3.3–30
4	Decay Constant	Константа затухания скорости инфильтрации для кривой Хортон (1/час)	5
5	Drying Time	Время в днях, необходимое для полного высыхания полностью насыщенной почвы	14
6	N-imp	Коэффициент Маннинга для непроницаемых поверхностей	0.011
7	N-perv	Коэффициент Маннинга для проницаемых поверхностей	0.3
8	Conduit Roughness	Коэффициент Маннинга для трубопроводов	0.01–0.03

Моделирование паводочного стока р. Сетуни выполнялось для 16 паводков, параметры которых представлены в табл. 2. Для характеристики стока во время паводков были рассчитаны объем стока, слой стока, максимальный расход и модуль стока, а также продолжительность паводка. Затем были проанализированы стокообразующие осадки — рассчитан слой осадков за дождь, продолжительность, интенсивность за дождь и максимальная интенсивность за 30 минут.

На основе анализа чувствительности параметров модели были определены наиболее значимые параметры, такие как доля непроницаемых поверхностей и наличие водоудерживающих емкостей (прудов), после чего были откалиброваны менее значимые параметры, например учет предшествующего состояния влажности водосборного бассейна (период между дождями). Калибровка модели осуществлялась путем подбора параметров: модель калибровалась до тех пор, пока смоделированные и фактически измеренные расходы не стали идентичными.

Статистические операции

Результаты моделирования оценивались с использованием статистических критериев относительной погрешности максимальных расходов (R_E) и коэффициента детерминации (R^2), рассчитываемых по формулам (3)–(4) соответственно:

$$R_E = \frac{|Q_{\max}^{\text{факт}} - Q_{\max}^{\text{модел}}|}{Q_{\max}^{\text{факт}}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

³ <https://soil-db.ru/map/moscow-region>

Таблица 2. Основные характеристики анализируемых паводков**Table 2.** Main characteristics of the analyzed floods

№	Дата	Продолжительность паводка, ч	Максимальный измеренный расход $Q_{\max}$, м ³ /с	Слой осадков, мм	Метеоданные
1	20.06.2020	10.5	26.9	33.8	МО МГУ
2	08.05.2021	20	18.4	59.5	Кригинг
3	28.05.2021	5	6.2	2.7	МО МГУ
4	27.06.2021	6	11.1	12.8	МО МГУ
5	28.06.2021	12.5	30.8	43.4	МО МГУ
6	01.07.2021	6.5	6.5	5.4	Кригинг
7	17.07.2021	7	9.9	4.7	Кригинг
8	30.07.2021	9	7.4	6.3	Кригинг
9	03.08.2021	9	16.8	19.4	МО МГУ
10	12.08.2021	12.5	16.4	43.8	Кригинг
11	18.08.2021	12	15.6	18.6	Кригинг
12	03.09.2021	9	13.9	11.7	МО МГУ
13	20.09.2021	12	8.5	29.5	Кригинг
14	15.10.2021	12.5	7.9	25.9	Кригинг
15	22.09.2022	18.5	10.7	12.3	Кригинг
16	27.07.2023	34.5	26.8	64.6	Кригинг

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{t=1}^n (Q_t^{\text{факт}} - Q_t^{\text{сред.факт}})(Q_t^{\text{модел}} - Q_t^{\text{сред.модел}})}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (Q_t^{\text{факт}} - Q_t^{\text{сред.факт}})^2} \sqrt{\sum_{t=1}^n (Q_t^{\text{модел}} - Q_t^{\text{сред.модел}})^2}} \right)^2, \quad (4)$$

где $Q_t^{\text{факт}}$ — фактически измеренный расход в момент времени t ; $Q_t^{\text{модел}}$ — смоделированный расход в момент времени t ; $Q_t^{\text{сред.факт}}$ — средний фактически измеренный расход в момент времени t ; $Q_t^{\text{сред.модел}}$ — средний смоделированный расход в момент времени t ; $Q_{\max}^{\text{факт}}$, $Q_{\max}^{\text{модел}}$ — пиковый фактически измеренный и смоделированный расход; t — время, n — общее количество временных шагов.

R_E — это процент погрешности (отношение абсолютной погрешности и фактических значений), который показывает надежность прогнозируемого значения. По критериям количественной оценки калибровка модели может считаться хорошей, если среднее значение R_E находится в пределах 30%, и удовлетворительной, когда средний R_E находится в пределах 60% [13].

R^2 показывает, насколько хорошо наблюдаемые значения воспроизводятся моделированием как доля от общего изменения результатов, объясненных моделированием [17]. Проверка значимости осуществлялась с помощью теста Манна—Кендалла при уровне значимости p -value 5%. Если уровень значимости p -value был >0.05 , то нулевая гипотеза принималась. Полученные коэффициенты детерминации R^2 интерпретировались следующим образом: $0.01 \leq R^2 \leq 0.09$ — теоретически недостаточно подтвержденная связь, $0.09 \leq R^2 \leq 0.49$ — средняя (умеренная) связь, $0.49 \leq R^2 \leq 1$ — достаточно сильная связь [4].

Результаты и обсуждение

Для оценки влияния метеорологических факторов на объем стока в тестовом режиме были смоделированы два сценария — с использованием данных одной метеостанции МО МГУ и с привлечением данных кригинга (интерполяции данных в центр водосбора с нескольких метеостанций). Использование данных об осадках с одной метеостанции показало низкую эффективность и значимое занижение смоделированных расходов воды в замыкающем створе (см. рис. 7).

Калибровка и проверка гидрологических параметров дали хорошие результаты для паводков, максимальные расходы которых превышали $15 \text{ м}^3/\text{с}$ (см. рис. 8). Однако в некоторых случаях ход смоделированных расходов неудовлетворительно повторяет ход измеренных. Такой тренд может быть обусловлен

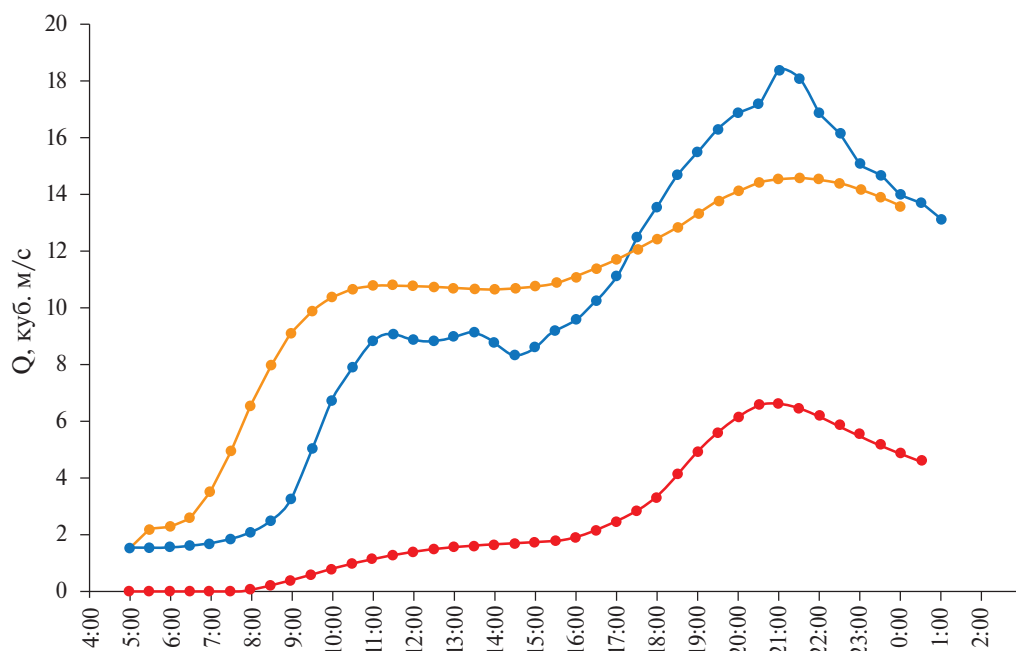


Рис. 7. Сравнение фактических и смоделированных в SWMM расходов воды за 08.05.2021 г. (синяя линия — измеренные расходы, красная линия — смоделированные по данным МО МГУ, оранжевая линия — смоделированные с использованием данных кригинга).

Fig. 7. Comparison of actual and SWMM-modeled water flows for 05.08.2021 (blue line — measured flows, red line — modeled by Moscow State University, orange line — modeled using kriging data).

низкой точностью пространственного распределения интенсивности осадков, так как на территории водосбора наблюдается существенная неравномерность их выпадения и метод кригинга не может гарантировать абсолютную достоверность результата.

Характерное время добегания ливней для бассейна Сетуни составляет 6–8 ч, что связано с наличием на территории большого количества водонепроницаемых поверхностей, уменьшающих инфильтрацию в почву и обеспечивающих быстрый приток осадков в речную сеть. Калибровка модели при учете урбанизированности территории, т.е. доли водонепроницаемых поверхностей, обусловила резкий рост расхода воды, после которого наблюдается достаточно резкий спад.

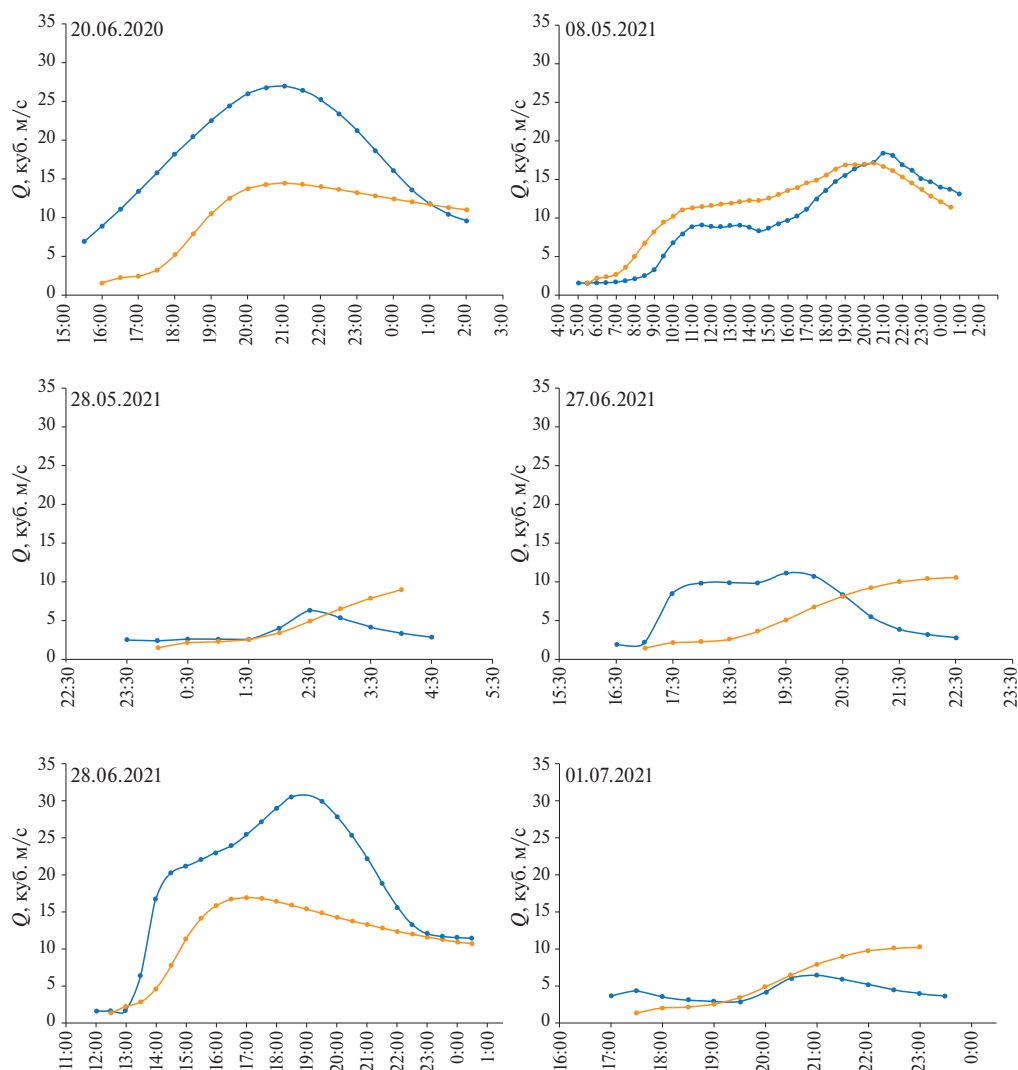


Рис. 8. Измеренные (синяя линия) и смоделированные (оранжевая линия) расходы воды.

Fig. 8. Measured (blue line) and modeled (orange line) water flows.

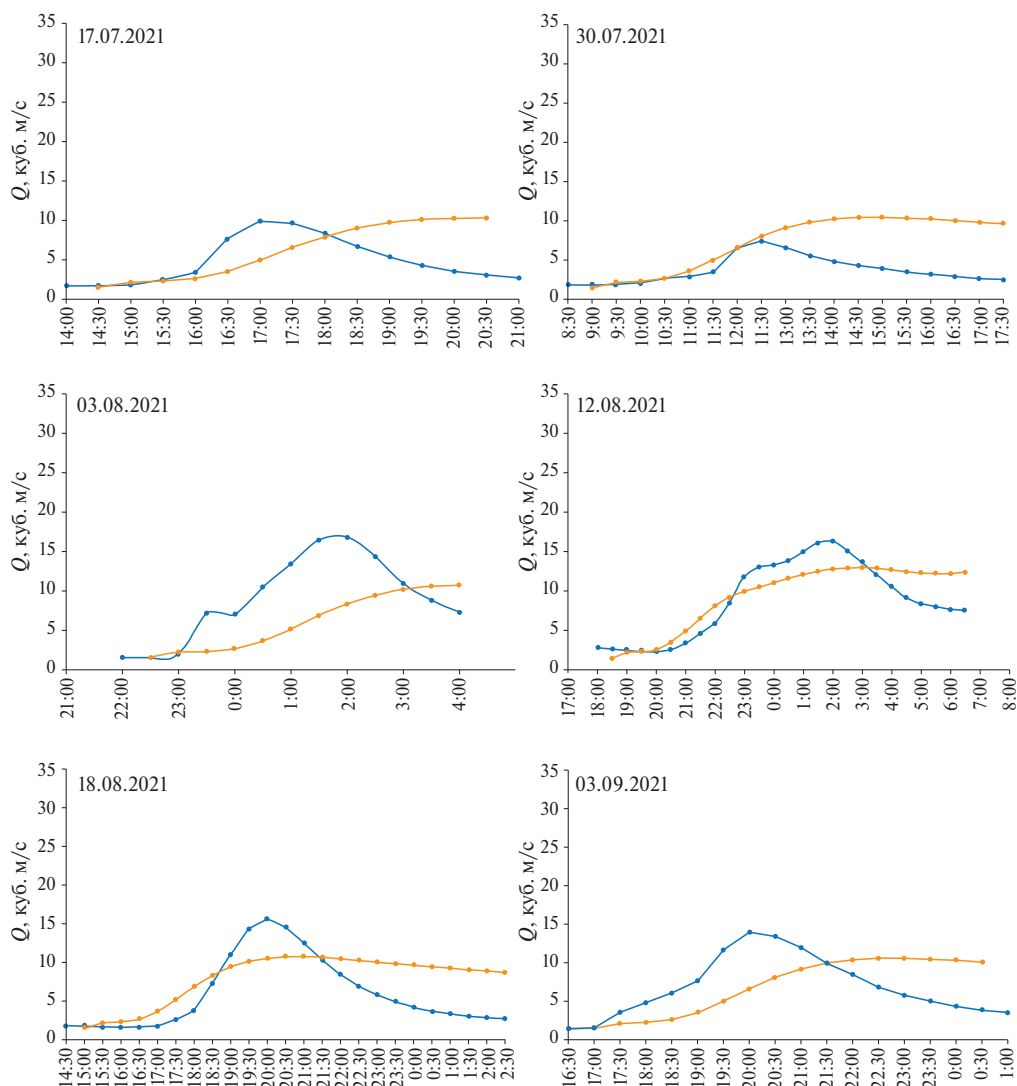


Рис. 8. Продолжение.

Fig. 8. Continuation.

В табл. 3 представлены результаты статистической проверки моделирования. В качестве предикторов оценивалось два критерия — относительная погрешность R_E и коэффициент детерминации R^2 . Для большинства событий полученная относительная погрешность показала хороший или удовлетворительный результат моделирования — значения R_E находятся в диапазоне от 2 до 56%; лишь для паводка, прошедшего 01.07.2021 г., ее значение достигло 60%. Для него также характерен неудовлетворительный результат на основе полученного коэффициента детерминации R^2 , что может быть связано с относительно низким пиковым расходом воды ($6.5 \text{ м}^3/\text{с}$) и небольшим количеством стокообразующих осадков (5.4 мм), не позволяющих корректно смоделировать экстремальное гидрологическое событие. Модель показала хорошие прогнозы во время

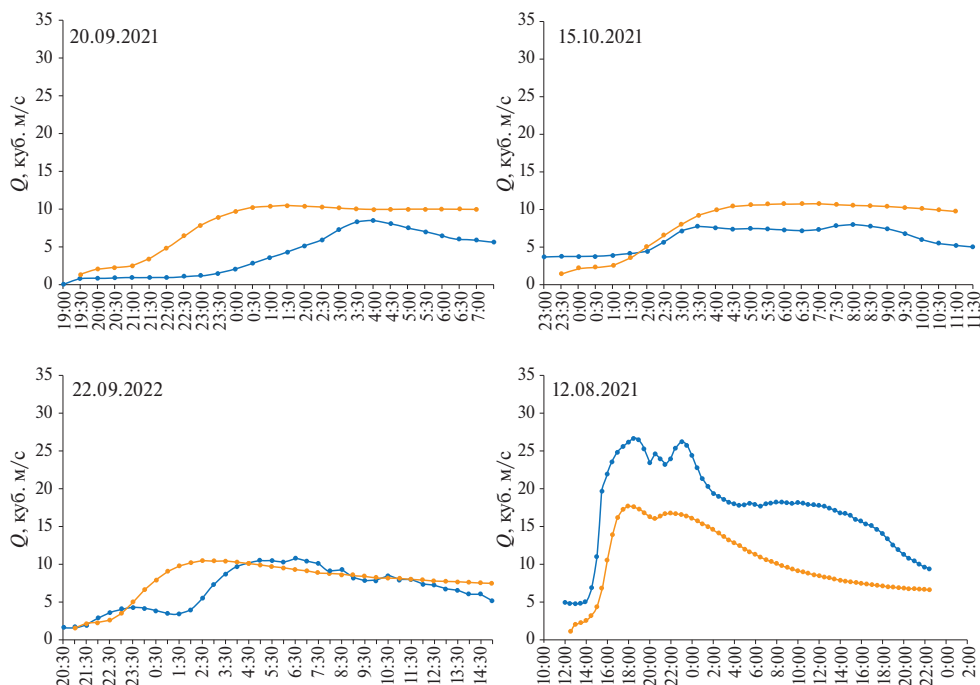


Рис. 8. Окончание.

Fig. 8. Ending.

прохождения экстремальных паводков. В ходе анализа также была выявлена сильная связь между измеренными с помощью логгера и смоделированными пиковыми расходами за каждый паводок ($R^2 = 0.77$), погрешность при этом составила 30% (см. рис. 9).

Атмосферные осадки могут охватывать разные по площади территории и выпадать с различной продолжительностью и интенсивностью в зависимости от своего генезиса. В исследовании возник вопрос о репрезентативности данных осадкомерных наблюдений, получаемых на одной станции (МО МГУ) по отношению ко всей территории водосбора р. Сетуни. Очевидно, что измерения в одном пункте с существенной погрешностью характеризуют значения искомой величины на прилегающей территории. Для сумм осадков за малые периоды (менее суток) погрешность определения слоя осадков очень высока — в том случае, когда имеется один осадкомер на площадь от 100 до 500 km^2 , погрешность может варьироваться от 42 до 70% [6]. Так как для большинства рассмотренных событий относительная погрешность расчетов максимального расхода изменялась от 2 до 56%, полученные результаты могут быть охарактеризованы как имеющие высокую точность.

Настоящее исследование является уникальным для г. Москвы, так как подобных оценок ранее не проводилось. Более того, большинство моделей используют суточные шаги по времени, тогда как характерное время добегания в период ливней для бассейна Сетуни составляет всего 6–8 ч. Уточнение результатов моделирования может быть достигнуто с привлечением данных высокочастотного мониторинга, что в дальнейшем будет способствовать улучшению качества прогнозирования затоплений в городских районах.

Таблица 3. Результаты статистического анализа фактически измеренных и смоделированных расходов воды (зеленая заливка — модель считается хорошей, голубая — удовлетворительной, красная — неудовлетворительной)

Table 3. Results of statistical analysis of actually measured and modeled water flows (green fill — the model is considered good, blue — satisfactory, red — unsatisfactory)

№	Дата	Максимальный расход $Q_{\max}$, м ³ /с		R_E	R^2
		Фактический	Смоделированный		
1	20.06.2020	26.9	14.4	46%	0.39
2	08.05.2021	18.4	14.6	21%	0.87*
3	28.05.2021	6.2	9.7	56%	0.1*
4	27.06.2021	11.1	10.6	5%	0.22
5	28.06.2021	30.8	16.9	45%	0.71
6	01.07.2021	6.5	10.4	60%	0.36*
7	17.07.2021	9.9	10.4	5%	0.05
8	30.07.2021	7.4	10.4	41%	0.18
9	03.08.2021	16.8	10.7	36%	0.28
10	12.08.2021	16.4	12.98	21%	0.71
11	18.08.2021	15.6	10.7	31%	0.45
12	03.09.2021	13.9	10.5	24%	0.05
13	20.09.2021	8.5	10.5	24%	0.63
14	15.10.2021	7.9	10.7	35%	0.81*
15	22.09.2022	10.7	10.5	2%	0.45
16	27.07.2023	26.8	19.4	28%	0.86

Примечание. * — $p\text{-value} > 0.05$.

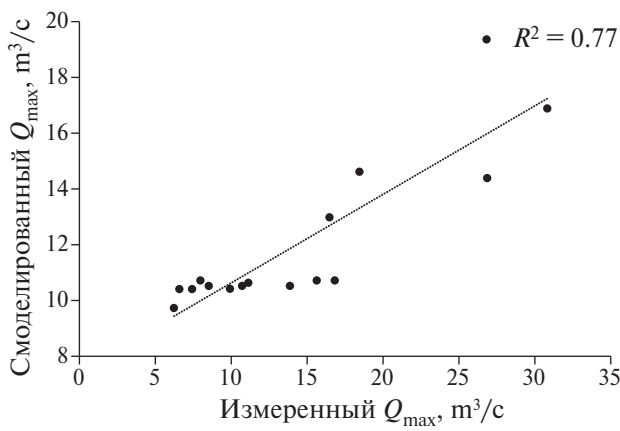


Рис. 9. Связь между измеренными и смоделированными максимальными расходами воды.

Fig. 9. Relationship between actual measured and modeled water discharges.

Заключение

Активное развитие городской среды обуславливает риск затоплений и подтоплений территории Московской агломерации во время выпадения экстремальных осадков. Большое количество водонепроницаемых поверхностей препятствуют инфильтрации дождевой воды в почву, что приводит к сильному увеличению объема поверхностного стока на водосборе.

Для исследования формирования и моделирования паводочного стока на территории Московской агломерации успешно реализована система SWMM. Схема бассейна р. Сетуни была актуализирована с использованием дополнительных параметров, учитывающих особенности типов землепользования и наличие прудов, перехватывающих сток.

В статье продемонстрировано, что для более достоверного результата необходимы данные о пространственном распределении осадков, так как с использованием данных одной метеостанции невозможно воспроизвести неравномерность их выпадения на территории всего водосборного бассейна.

Была предложена новая методика получения информации об интенсивности осадков при нехватке данных — интерполяция 3-часовых метеорологических характеристик в центр водосбора и приведение их к 10-минутным интенсивностям. Была выявлена высокая эффективность использования метода кригинга. Результаты калибровки и верификации продемонстрировали значительную корреляцию между смоделированными и измеренными максимальными расходами воды ($R^2 = 0.77$, относительная погрешность варьировалась от 2 до 56%). Наилучшие результаты были получены для паводков, где пиковые расходы превышали 15 м³/с.

В дальнейшем планируется калибровка модели для расчета смыва загрязняющих веществ с территории водосбора. SWMM также позволит проводить сценарный анализ для оценки потенциальной эффективности различных мер по снижению поступления загрязняющих веществ с поверхностным стоком в условиях Московской агломерации.

Благодарности

Развитие мониторинговой сети и натурные исследования в бассейне р. Сетуни выполнено в рамках проекта РНФ 19-77-30004-П. Концепция исследования подготовлена в рамках программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ имени М.В. Ломоносова “Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды”. Математическое моделирование стока выполнено в рамках темы № FMWZ-2022-0001 государственного задания ИВП РАН.

Список литературы

1. Бефани Н.Ф. Прогнозирование дождевых паводков на основе территориально общих зависимостей. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 184 с.
2. Болгов М.В., Арефьева Е.В., Завьялова Е.В. Вопросы моделирования и прогнозирования затопления городских территорий на основе использования специальных программных комплексов и данных дистанционных измерений метеорологических характеристик // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2020. № 3 (46). С. 19–29.
3. Болгов М.В., Зайцева А.В., Завьялова Е.В. Оценка диффузного стока с территории г. Ростов на основе методов математического моделирования // Сб. докл. международной научной конференции памяти выдающегося русского ученого Юрия Борисовича Виноградова “Четвертые Виноградовские Чтения. Гидрология: от познания к мировоззрению” / Под ред. О.М. Макарьевой, А.А. Землянковой. СПб.: Изд-во ВВМ, 2020. С. 41–47.

4. Борщ С.В., Христофоров А.В., Юмина Н.М. Статистический анализ в гидрологических прогнозах. М.: Гидрометцентр России, 2018. 160 с.
5. Бруслова Н.Е., Кузнецова И.Н., Нахаев М.И. Особенности режима осадков в Московском регионе в 2008–2017 гг. // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2019. № 1. С. 127–172.
6. Гандин Л.С., Каган. Р.Л. Статистические методы интерпретации метеорологических данных. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 359 с.
7. Климат Москвы (Особенности климата большого города) / Под ред. А.А. Дмитриева, Н.П. Бессонова. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. 320 с.
8. Соколов Д., Чалов С., Терешина М., Ерина О., Шинкарева Г. Особенности гидрологического режима урбанизированной реки Сетуни // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: тр. VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Пермь, 27–30 мая 2021 года. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2021. Т. 834. С. 180–185.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/834/1/012024>
9. Стулов Е.А. Влияние города Москвы на усиление летних осадков // Метеорология и гидрология. 1993, Вып. 11. С. 34–41.
10. Терский П., Цыпленков А., Морейдо В., Самохин М., Соколов Д. Восстановление рядов стока воды малоизученной городской реки Сетунь (г. Москва) на основе данных натурных наблюдений и гидрологического моделирования // Материалы международного симпозиума “Инженерная экология — 2023”, Москва, 05–07 декабря 2023 г. / Под ред. Ф.А. Мкртчяна. М.: РНТОРЭС им. А.С. Попова, 2023. С. 142–146.
11. Цыпленков А.С., Черницова О.В., Кошелева Н.Е., Чалов С.Р. ГИС-моделирование баланса наносов и загрязняющих веществ в бассейне Р. Сетунь (Москва) // Инженерная экология — 2021: Доклады международного симпозиума, Москва, 1–3 декабря 2021 г. / Под ред. Ф.А. Мкртчяна. М.: РНТОРЭС им. А.С. Попова, 2021. С. 172–176.
12. Ярынич Ю.И., Варенцов М.И., Платонов В.С., Степаненко В.М., Чернокульский А.В., Давлетшин С.Г., Дронова Е.А. Влияние московского мегаполиса на осадки теплового периода в зависимости от крупномасштабных атмосферных условий // Водные ресурсы. 2023. Т. 50. № 5. С. 550–560.
13. Chow M.F., Yusop Z., Toriman M.E. Modelling runoff quantity and quality in tropical urban catchments using Storm Water Management Model // International Journal of Environmental Science and Technology. 2012. V. 9. № 4. P. 737–748.
<https://doi.org/10.1007/s13762-012-0092-0>
14. Gerasimova M.I., Chernitsova O.V., Vasil’chuk J.Y., Kosheleva N.E. GIS mapping of the soil cover of an urbanized territory: drainage basin of the Setun river in the west of Moscow (Russian Federation) // Geography, Environment, Sustainability. 2024. V. 17. № 2. P. 131–138.
<https://doi.org/10.24057/2071-9388-2024-3136>
15. Hung C.L.J., James L.A., Carbone G.J., Williams J.M. Impacts of combined land-use and climate change on streamflow in two nested catchments in the Southeastern United States // Ecological Engineering. 2020. V. 143. 105665.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.105665>
16. Kong D., McVicar T.R., Xiao M., Zhang Y., Peña-Arancibia J.L., Filippa G., Xie Y., Gu X. *phenofit*: An R package for extracting vegetation phenology from time series remote sensing // Methods in Ecology and Evolution. 2022. V. 13. № 7. P. 1508–1527.
<https://doi.org/10.1111/2041-210X.13870>

17. Li C., Liu M., Hu Y., Gong J., Xu Y. Modeling the quality and quantity of runoff in a highly urbanized catchment using storm water management model // *Polish Journal of Environmental Studies*. 2016. V. 25. № 4. P. 1573–1581.
<https://doi.org/10.15244/pjoes/60721>
18. Rhugwasanye C., Agarwal S., Chappidi H.R., Kottapalli R.L. Bujumbura urban flood simulation based on SWMM model // *AIP Conference Proceedings*. 2023. V. 2707. 040013.
<https://doi.org/10.1063/5.0143108>
19. Rossman L., Simon M. Storm Water Management Model User's Manual Version 5.2. Cincinnati: Center for Environmental Solutions and Emergency Response, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, 2022. 424 p.
20. Savitzky A., Golay M.J.E. Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures // *Analytical Chemistry*. 1964. V. 36. № 8. P. 1627–1639.
<https://doi.org/10.1021/ac60214a047>
21. Skougaard Kaspersen P., Høegh Ravn N., Arnbjerg-Nielsen K., Madsen H., Drews M. Comparison of the impacts of urban development and climate change on exposing European cities to pluvial flooding // *Hydrology and Earth System Sciences*. 2017. V. 21. № 8. P. 4131–4147.
<https://doi.org/10.5194/hess-21-4131-2017>
22. Sokolov D., Chalov S., Tereshina M., Erina O., Shinkareva G. Hydrological regime of the urban Setun River // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. V. 834. 012024.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/834/1/012024>
23. Sokolov D.I., Erina O.N., Tereshina M.A., Puklakov V.V. Impact of Mozhaysk Dam on the Moscow River Sediment Transport // *Geography, Environment, Sustainability*. 2020. V. 13. № 4. P. 24–31.
<https://doi.org/10.24057/2071-9388-2019-150>
24. Tereshina M., Erina O., Sokolov D., Efimova L., Kasimov N. Nutrient dynamics along the Moskva River under heavy pollution and limited self-purification capacity // *E3S Web of Conferences*. 2020. V. 163. 05014.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016305014>
25. Varentsov M., Wouters H., Platonov V., Konstantinov P. Megacity-induced mesoclimatic effects in the lower atmosphere: A modeling study for multiple summers over Moscow, Russia // *Atmosphere*. 2018. V. 9. № 2. 50.
<https://doi.org/10.3390/atmos9020050>

Experimental Research and Modeling of Rain Floods in Urbanized Territories of the Moscow Region (on the Example of the Setun River)

I.S. Denisova^{1, 2, *}, M.V. Bolgov¹

¹ Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

*E-mail: ira.denisova@icloud.com

Received 25.06.2024

Revised 11.02.2025

Accepted 29.03.2025

The Moscow agglomeration has a high proportion of impermeable surfaces, which leads to a specific water regime characterized by frequent short-term floods due to the rapid response of the catchment area to precipitation. For one of the largest tributaries of the Moskva River in the capital, the Setun River, the SWMM model was able to reproduce the passage of extreme flood events in 2020–2023. The model was calibrated using 30-minute monitoring data on water discharge and 10-minute precipitation rates obtained by interpolating to the center of the catchment. The performance of the model was assessed using relative error (R_E) and coefficient of determination (R^2). The calibration and verification results showed a good correlation between the modeled and measured maximum water discharges ($R^2 = 0.77$) with relative errors ranging from 2 to 56%. The most accurate results were obtained for flood events with peak flow rates exceeding 15 m³/s.

Keywords: urbanized areas, flood runoff, Moscow agglomeration, SWMM, extreme precipitation

References

1. Befani N.F. Prognozirovanie dozhdevykh pavodkov na osnove territorial'no obshhih zavisi-mostej. L.: Gidrometeoizdat, 1977. 184 s.
2. Bolgov M.V., Aref'eva E.V., Zav'yalova E.V. Voprosy' modelirovaniya i prognozirovaniya zatopleniya gorodskikh territorij na osnove ispol'zovaniya special'ny'x programmny'x kompleksov i danny'x distancionny'x izmerenij meteorologicheskikh xarakteristik // Nauchny'e i obrazovatel'ny'e problemy' grazhdanskoj zashchity'. 2020. № 3 (46). S. 19–29.
3. Bolgov M.V., Zajceva A.V., Zav'yalova E.V. Ocenka diffuznogo stoka s territorii g. Rostov na osnove metodov matematicheskogo modelirovaniya // Sb. dokl. mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii pamjati vydajushhegosja russkogo uchenogo Jurija Borisovicha Vinogradova "Chetverty'e Vinogradovskie Chteniya. Gidrologiya: ot poznaniya k mirovozzreniyu" / Pod red. O.M. Makar'evoj, A.A. Zemljanskoj. SPb.: Izd-vo VVM, 2020. S. 41–47.
4. Borshh S.V., Xristoforov A.V., Yumina N.M. Statisticheskij analiz v gidrologicheskikh prognozax. M.: Gidrometcentr Rossii, 2018. 160 s.
5. Brusova N.E., Kuznecova I.N., Naxaev M.I. Osobennosti rezhima osadkov v Moskovskom regione v 2008–2017 gg. // Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy'. 2019. № 1. S. 127–172.
6. Gandin L.S., Kagan. R.L. Statisticheskie metody' interpretacii meteorologicheskikh danny'x. L.: Gidrometeoizdat, 1976. 359 s.
7. Klimat Moskvy' (Osobennosti klimata bol'shogo goroda) / Pod red. A.A. Dmitrieva, N.P. Bessonova. L.: Gidrometeoizdat, 1969. 320 s.
8. Sokolov D., Chalov S., Tereshina M., Erina O., Shinkareva G. Osobennosti gidrologicheskogo rezhima urbanizirovannoj reki Setun' // Sovremennyy'e problemy' vodoxranilishh i ix vodosborov: tr. VIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodny'm uchastiem, Perm',

27–30 maya 2021 goda. Perm': Permskij gosudarstvenny'j nacional'ny'j issledovatel'skij universitet, 2021. T. 834. S. 180–185.

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/834/1/012024>

9. Stulov E.A. Vliyanie goroda Moskv'y na usilenie letnix osadkov // *Meteorologiya i gidrologiya*. 1993. Vyp. 11. S. 34–41.

10. Terskij P., Cy'plenkov A., Morejdo V., Samoxin M., Sokolov D. Vosstanovlenie ryadov stoka vody' maloizuchennoj gorodskoj reki Setun' (g. Moskva) na osnove danny'x naturny'x nablyudenij i gidrologicheskogo modelirovaniya // *Materialy mezhdunarodnogo simpoziuma "Inzhenernaja jekologija — 2023"*, Moskva, 05–07 dekabrya 2023 g. / Pod red. F.A. Mkrtchjana. M.: RNTORES im. A.S. Popova, 2023. S. 142–146.

11. Cy'plenkov A.S., Cherniczova O.V., Kosheleva N.E., Chalov S.R. GIS-modelirovanie balansa nanosov i zagryaznyayushhix veshhestv v bassejne R. Setun' (Moskva) // *Inzhenernaya e'kologiya — 2021: Doklady' mezhdunarodnogo simpoziuma*, Moskva, 1–3 dekabrya 2021 g. / Pod red. F.A. Mkrtchjana. M.: RNTORJeS im. A.S. Popova, 2021. S. 172–176.

12. Yary'nich YU.I., Varenczov M.I., Platonov V.S., Stepanenko V.M., Chernokul'skij A.V., Davletshin S.G., Dronova E.A. Vliyanie moskovskogo megapolisa na osadki teplogo perioda v zavisimosti ot krupnomasshtabny'x atmosfery'x uslovij // *Vodnye resursy*. 2023. T. 50. № 5. S. 550–560.

13. Chow M.F., Yusop Z., Toriman M.E. Modelling runoff quantity and quality in tropical urban catchments using Storm Water Management Model // *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2012. V. 9. № 4. P. 737–748.

<https://doi.org/10.1007/s13762-012-0092-0>

14. Gerasimova M.I., Chernitsova O.V., Vasil'chuk J.Y., Kosheleva N.E. GIS mapping of the soil cover of an urbanized territory: drainage basin of the Setun river in the west of Moscow (Russian Federation) // *Geography, Environment, Sustainability*. 2024. V. 17. № 2. P. 131–138.

<https://doi.org/10.24057/2071-9388-2024-3136>

15. Hung C.L.J., James L.A., Carbone G.J., Williams J.M. Impacts of combined land-use and climate change on streamflow in two nested catchments in the Southeastern United States // *Ecological Engineering*. 2020. V. 143. 105665.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.105665>

16. Kong D., McVicar T.R., Xiao M., Zhang Y., Peña-Arancibia J.L., Filippa G., Xie Y., Gu X. *phenofit*: An R package for extracting vegetation phenology from time series remote sensing // *Methods in Ecology and Evolution*. 2022. V. 13. № 7. P. 1508–1527.

<https://doi.org/10.1111/2041-210X.13870>

17. Li C., Liu M., Hu Y., Gong J., Xu Y. Modeling the quality and quantity of runoff in a highly urbanized catchment using storm water management model // *Polish Journal of Environmental Studies*. 2016. V. 25. № 4. P. 1573–1581.

<https://doi.org/10.15244/pjoes/60721>

18. Rhugwasanye C., Agarwal S., Chappidi H.R., Kottapalli R.L. Bujumbura urban flood simulation based on SWMM model // *AIP Conference Proceedings*. 2023. V. 2707. 040013.

<https://doi.org/10.1063/5.0143108>

19. Rossman L., Simon M. Storm Water Management Model User's Manual Version 5.2. Cincinnati: Center for Environmental Solutions and Emergency Response, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, 2022. 424 p.

20. Savitzky A., Golay M.J.E. Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures // *Analytical Chemistry*. 1964. V. 36. № 8. P. 1627–1639.

<https://doi.org/10.1021/ac60214a047>

21. Skougaard Kaspersen P., Høegh Ravn N., Arnbjerg-Nielsen K., Madsen H., Drews M. Comparison of the impacts of urban development and climate change on exposing European cities to pluvial flooding // *Hydrology and Earth System Sciences*. 2017. V. 21. № 8. P. 4131–4147.

<https://doi.org/10.5194/hess-21-4131-2017>

22. Sokolov D., Chalov S., Tereshina M., Erina O., Shinkareva G. Hydrological regime of the urban Setun River // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. V. 834. 012024.

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/834/1/012024>

23. Sokolov D.I., Erina O.N., Tereshina M.A., Puklakov V.V. Impact Of Mozhaysk Dam On The Moscow River Sediment Transport // *Geography, Environment, Sustainability*. 2020. V. 13. № 4. P. 24–31.

<https://doi.org/10.24057/2071-9388-2019-150>

24. Tereshina M., Erina O., Sokolov D., Efimova L., Kasimov N. Nutrient dynamics along the Moskva River under heavy pollution and limited self-purification capacity // *E3S Web of Conferences*. 2020. V. 163. 05014.

<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016305014>

25. Varentsov M., Wouters H., Platonov V., Konstantinov P. Megacity-induced mesoclimatic effects in the lower atmosphere: A modeling study for multiple summers over Moscow, Russia // *Atmosphere*. 2018. V. 9. № 2. 50.

<https://doi.org/10.3390/atmos9020050>