https://srcir.ru

Сетевой научный журнал

Scientific Research: Current Issues and Results

Научные исследования: актуальные вопросы и результаты



№ 1 / 2026

Главный редактор журнала:
Столбов Вячеслав Алексеевич, доктор георгафических наук, доцент кафедры социально-экономической географии, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Россия, Пермь.

Заместитель главного редактора: Куровская Наталья Анатольевна, генеральный директор ООО «Академия Науки и Образования», Донецк, Российская Федерация.

Члены редакционной коллегии:

Афонина Татьяна Евгеньевна, доктор георгафических наук, профессор кафедры землеустройства, Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, Россия, Иркутск.

Бакуменко Юлия Сергеевна, кандидат географических наук, кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности, Донбасский государственный технический университет, Россия, Алчевск.

Гдалин Арсений Дмитриевич, кандидат географических наук, кафедра экономической географии, Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Россия, Санкт-Петербург.

Гресь Роберт Андреевич, кандидат географических наук, научный сотрудник, Институт проблем региональной экономики РАН, Россия, Санкт-Петербург.

Дмитриев Руслан Васильевич, доктор георгафических наук, заместитель директора по научной работе, Институт Африки РАН, Россия, Москва.

Казмирук Василий Данилович, доктор георгафических наук, старший научный сотрудник, Институт водных проблем РАН, Россия, Москва.

Климанова Оксана Александровна, доктор георгафических наук, профессор, кафедра физической географии мира и геоэкологии, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия, Москва.

Кроток Роман Николаевич, кандидат географических наук, младший научный сотрудник, Псковский государственный университет, Россия, Псков.

Литвиненко Тамара Витальевна, доктор георгафических наук, старший научный сотрудник отдела социально-экономической географии, Институт географии РАН, Россия, Москва.

Лопатников Дмитрий Леонидович, доктор георгафических наук, профессор, старший научный сотрудник, Институт географии РАН, Россия, Москва.

Луговской Александр Михайлович, доктор георгафических наук, доцент, профессор кафедры географии, Московский государственный университет геодезии и картографии, Россия, Москва.

Панкеева Татьяна Викторовна, доктор георгафических наук, старший научный сотрудник, ФИЦ "Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН", Россия, Севастополь.

Седова Евгения Юрьевна, кандидат географических наук, младший научный сотрудник, Институт водных и экологических проблем СО РАН, Россия, Барнаул.

Сивохип Жанна Тарасовна, доктор георгафических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Россия, Оренбург.

Соловьев Иван Алексеевич, доктор георгафических наук, доцент департамента географии и геоинформатики факультета международных отношений, Северо-Кавказский федеральный университет, Россия, Ставрополь.

Фахретдинов Артур Венерович, кандидат географических наук, доцент кафедры Криологии Земли, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр СО РАН, Россия, Тюмень.

Учредитель и издатель:
ООО «АКАДЕМИЯ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ»
Адрес учредителя: 283086, Донецкая Народная Республика, г. о. Донецк, г. Донецк, ул. Артема, д. 41, ком. 306в.
ИНН: 9303040432
КПП: 930301001
ОГРН: 1259300002103
Телефон: +7(909)679-60-04
Сайт: https://srcir.ru/

Регистрационный номер СМИ: Эл № ФС77-92139 выдан 25.08.2026 г. Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Издатель: Куровская Наталья Анатольевна, Генеральный директор ООО «АНО».
Адрес издателя: г. Москва

© Scientific Research: Current Issues and Results, 2026 г.
Периодичность 4 раза в год.

В ЖУРНАЛЕ ПУБЛИКУЮТСЯ СТАТЬИ ПО СЛЕДУЮЩИМ НАУЧНЫМ СПЕЦИАЛЬНОСТЯМ:

1.6.13. «Экономическая, социальная, политическая и рекреационная география (географические науки)»
1.6.21. «Геоэкология (географические науки)»

ПОРЯДОК РАССМОТРЕНИЯ СТАТЕЙ

Все представленные рукописи первоначально проверяются редакцией на соответствие тематике журнала и проводят проверку на оригинальность (с использованием соответствующих программно-аппаратных комплексов). Прошедшие этот этап статьи передаются на анонимное рецензирование членам редакционной коллегии или привлеченным внешним экспертам. При условии получения положительных рецензий без замечаний по

существу исследования статья принимается к публикации, включается в редакционный портфель и размещается в очередном номере журнала.

Научный журнал «Scientific Research: Current Issues and Results» занимается публикацией научно-практических исследований в соответствии с номенклатурой научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени.

Наш журнал стремится сделать процесс публикации максимально удобным для авторов, поэтому допускает различные варианты оформления библиографических ссылок и списка литературы.

Список источников оформляется по ГОСТ 7.0.5-2008 и приводится в конце статьи под заголовком «Список источников». При этом допускаются следующие форматы библиографических ссылок:

- Внутритекстовые ссылки (по стандарту APA)
- Подстрочные ссылки (по ГОСТ 7.0.5-2008)
- Затекстовые ссылки (по ГОСТ 7.0.5-2008)

Мы предоставляем авторам гибкость в оформлении, чтобы минимизировать бюрократические барьеры и сосредоточиться на содержании научного исследования. Главное — единообразие внутри самой статьи.

ПЛАТА ЗА ПУБЛИКАЦИЮ

Редакция не взимает с авторов плату за подготовку, размещение или печать материалов.

При использовании опубликованных материалов журнала ссылка на «Scientific Research: Current Issues and Results» обязательна.

Полная или частичная перепечатка материалов допускается только по письменному разрешению авторов статей или редакции.

Точка зрения редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов публикаций.

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

Chief Editor:
Stolbov Viacheslav Alekseevich, Doctor of Geography, Associate Professor of the Department of Socio-Economic Geography, Perm State University, Perm, Russia.

Deputy Chief Editor: Kurovskaya Natalia Anatolyevna, General Director of "Academy of Science and Education" LLC, Donetsk, Russian Federation.

Editorial Board:

Afonina Tatiana Evgenevna, Doctor of Geography, Professor of the Department of Land Management, Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, Irkutsk, Russia.

Bakumenko Iuliia Sergeevna, PhD in Geography, Department of Ecology and Life Safety, Donbass State Technical University, Alchevsk, Russia.

Gdalin Arsenii Dmitrievich, PhD in Geography, Department of Economic Geography, Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, Russia.

Gres Robert Andreevich, PhD in Geography, Researcher, Institute for Regional Economic Studies of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia.

Dmitriev Ruslan Vasilevich, Doctor of Geography, Deputy Director for Research, Institute for African Studies of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

Kazmiruk Vasilii Danilovich, Doctor of Geography, Senior Researcher, Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

Klimanova Oksana Aleksandrovna, Doctor of Geography, Professor, Department of Physical Geography of the World and Geoecology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.

Krotok Roman Nikolaevich, PhD in Geography, Junior Researcher, Pskov State University, Pskov, Russia.

Litvinenko Tamara Vitalevna, Doctor of Geography, Senior Researcher of the Department of Socio-Economic Geography, Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

Lopatnikov Dmitrii Leonidovich, Doctor of Geography, Professor, Senior Researcher, Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

Lugovskoi Aleksandr Mikhailovich, Doctor of Geography, Associate Professor, Professor of the Department of Geography, Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia.

Pankeeva Tatiana Viktorovna, Doctor of Geography, Senior Researcher, A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia.

Sedova Evgeniia Iurevna, PhD in Geography, Junior Researcher, Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of RAS, Barnaul, Russia.

Sivokhip Zhanna Tarasovna, Doctor of Geography, Associate Professor, Leading Researcher, Orenburg Federal Research Center of the Ural Branch of RAS, Orenburg, Russia.

Solovev Ivan Alekseevich, Doctor of Geography, Associate Professor of the Department of Geography and Geoinformatics, Faculty of International Relations, North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia.

Fakhretdinov Artur Venerovich, PhD in Geography, Associate Professor of the Department of Earth Cryology, Federal Research Centre Tyumen Scientific Centre of the Siberian Branch of RAS, Tyumen, Russia.

Founder and publisher:
LLC "ACADEMY OF SCIENCE AND EDUCATION"
Founder's address: 41 Artem str., room 306b, Donetsk city, Donetsk People's Republic, 283086.
INN: 9303040432
KPP: 930301001
OGRN: 1259300002103
Phone: +7 (909)679-60-04
Website: https://srcir.ru/

Media registration number: El No. FS77-92139 issued on 25.08.2026 by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications (Roskomnadzor)

Publisher: Kurovskaya Natalia Anatolyevna, CEO of ANO LLC.
Publisher's address: Moscow

© Scientific Research: Current Issues and Results, 2026 г.
The frequency is 4 times a year.

THE JOURNAL PUBLISHES ARTICLES ON THE FOLLOWING SCIENTIFIC SPECIALTIES:
1.6.13. "Economic, social, political and recreational Geography (geographical sciences)"
1.6.21. "Geoecology (geographical sciences)"

PROCEDURE FOR REVIEWING ARTICLES

All submitted manuscripts are initially checked by the editorial staff for compliance with the journal's subject matter and checked for originality (using appropriate software and hardware systems). Articles that have passed this stage are submitted for anonymous review to members of the editorial board or external experts involved. Subject to receiving positive reviews without comments on the research substance, the article is accepted for publication, included in the editorial portfolio and placed in the next issue of the journal.

The scientific journal "Scientific Research: Current Issues and Results" publishes scientific and practical research in accordance with the nomenclature of scientific specialties for which academic degrees are awarded.

Our journal strives to make the publication process as convenient as possible for authors, so it allows for various design options for bibliographic references and references.

The list of sources is drawn up in accordance with GOST 7.0.5-2008 and is given at the end of the article under the heading "List of sources". The following formats of bibliographic references are allowed:

- Intra-text links (according to the APA standard)
- Footnotes (according to GOST 7.0.5-2008)
- Non-text links (according to GOST 7.0.5-2008)

We provide authors with flexibility in design to minimize red tape and focus on the content of their research. The main thing is uniformity within the article itself.

PUBLICATION FEE

The editorial board does not charge authors a fee for the preparation, placement or printing of materials.

When using published journal materials, a link to "Scientific Research: Current Issues and Results".

Full or partial reprint of materials is allowed only with the written permission of the authors of the articles or the editorial board.

The editors 'point of view does not always coincide with the authors' point of view.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1.6.13. Экономическая, социальная, политическая и рекреационная география . 9

Кошельков А.М., Надточий В.С. ИННОВАЦИОННЫЕ ПЕРЕТОКИ В ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЯХ: ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДАМИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЭКОНОМЕТРИКИ 9

Боева А.С. ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ЭЛЕКТОРАЛЬНОГО ПОВЕДЕНИЯ И ЭФФЕКТЫ СОСЕДСТВА В РЕГИОНАЛЬНЫХ ИЗБИРАТЕЛЬНЫХ КАМПАНИЯХ 28

Ушницкая Л.А. МОБИЛЬНОЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ И ГИС-АНАЛИЗ В ОЦЕНКЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ДИНАМИКИ РЕКРЕАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ НА ОСОБО ОХРАНЯЕМУЮ ПРИРОДНУЮ ТЕРРИТОРИЮ 51

Биксалеев А.А. ПЕРЕСТРОЙКА ГРУЗОВЫХ ПОТОКОВ И ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛОВ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ ВНЕШНЕТОРГОВОЙ ГЕОГРАФИИ 72

Черных В.Н. ТИПЫ СЖАТИЯ РОССИЙСКИХ МОНОГОРОДОВ: ДЕМОГРАФИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА, НОЧНАЯ ОСВЕЩЁННОСТЬ И ДЕГРАДАЦИЯ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ..... 90

Хомидов А.Ш. АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ И РЫНОЧНЫЕ ФАКТОРЫ ИЗМЕНЕНИЙ В РАЗМЕЩЕНИИ ТОВАРНОГО РАСТЕНИЕВОДСТВА НА ЮГЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И В ЧЕРНОЗЕМЬЕ 108

1.6.21. Геоэкология 140

Макаханюк Ж.С. ДЕГРАДАЦИЯ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ И РИСКИ ДЛЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ 140

Постевая М.А. ТЯЖЁЛЫЕ МЕТАЛЛЫ И МЕТАЛЛОИДЫ В ГОРОДСКИХ ПОЧВАХ И СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ 160

1.6.13. Экономическая, социальная, политическая и рекреационная география

Научная статья
УДК 911.3:332.14

ИННОВАЦИОННЫЕ ПЕРЕТОКИ В ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЯХ: ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДАМИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЭКОНОМЕТРИКИ

Кошельков Антон Михайлович, кандидат географических наук, ведущий инженер, Хабаровский Федеральный исследовательский центр, Россия, Хабаровск, a.koshelkov@yandex.ru;

Надточий Виктория Сергеевна, кандидат географических наук, Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, Россия, Омск, nadtochii_v@mail.ru

Аннотация. В работе оцениваются географические границы распространения знаний и выявляются барьеры диффузии технологий внутри российских городских агломераций. Традиционные подходы к территориальному планированию часто игнорируют пространственную неоднородность, что неизбежно ведет к консервации диспропорций между ядрами и периферийными муниципалитетами. На основе панельных данных по 142 муниципальным образованиям десяти крупнейших агломераций России за период с 2015 по 2022 год авторы применяют аппарат пространственной эконометрики. Матрицы пространственных весов сформированы с учетом гравитационных моделей и фактической транспортной доступности, что позволило вместо упрощенного бинарного соседства учитывать реальные коммуникационные связи между территориями. Оценивание проведено с использованием пространственной модели Дурбина, обеспечивающей строгое разделение прямых локальных и косвенных межтерриториальных эффектов. Расчеты подтверждают гипотезу о затухании инновационных перетоков с увеличением транспортной дистанции. Исследователи выявили асимметричный

характер пространственных экстерналий: разработки частного сектора характеризуются умеренным положительным эффектом пространственного перетока, тогда как университетский потенциал преимущественно способствует концентрации ресурсов из пригородных зон в ядрах агломераций, усиливая поляризацию. Показано, что механическое наращивание научного потенциала в центрах не гарантирует распространения технологий на периферию. Сделан вывод о необходимости перехода от точечного финансирования к формированию промежуточных технологических площадок и межмуниципальных сетей для преодоления разрыва в восприимчивости территорий.

Ключевые слова: пространственная эконометрика; городские агломерации; инновационные перетоки; патентная активность; модель Дурбина; транспортная доступность.

Original article

SPATIAL ECONOMETRICS OF INNOVATION FLOWS IN URBAN AGGLOMERATIONS

Koshelkov Anton Mikhailovich, Candidate of Geographical Sciences, Leading Engineer, Khabarovsk Federal Research Center, Khabarovsk, Russia, a.koshelkov@yandex.ru;

Nadtochii Viktoriia Sergeevna, Candidate of Geographical Sciences, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia, nadtochii_v@mail.ru

Annotation. This paper assesses the geographic boundaries of knowledge dissemination and identifies barriers to technology diffusion within Russian urban agglomerations. Traditional approaches to territorial planning often ignore spatial heterogeneity, which inevitably leads to the perpetuation of disparities between core and peripheral municipalities. Using panel data for 142 municipalities in Russia's ten largest agglomerations for the period 2015 to 2022, the authors apply spatial

econometrics. The spatial weight matrices are substantiated using gravity models and actual transport accessibility, allowing for a shift away from simplified binary neighborhoods to reflecting actual communication links. The assessment is conducted using Durbin's spatial model, which ensures strict separation of direct local and indirect inter-territorial effects. The calculations confirm the hypothesis that innovation spillovers attenuate with increasing transport distance. Researchers have identified an asymmetrical nature of spatial externalities: while private developments demonstrate moderate positive spillovers, university capacity primarily absorbs resources from suburban areas, creating a persistent polarization effect. It has been shown that mechanically building scientific capacity in the centers does not guarantee the spread of technologies to the periphery. A conclusion has been reached regarding the need to shift from targeted funding to the development of intermediate technology platforms and inter-municipal networks to bridge the gap in territorial receptivity.

Keywords: spatial econometrics; urban agglomerations; innovation spillovers; patent activity; spatial Durbin model; transport accessibility.

Введение. Формирование экономики знаний неизбежно переводит проблему генерации и распространения новых технологий в плоскость территориальной организации общества. Инновации не возникают в абстрактном вакууме; их появление и последующее внедрение жестко привязаны к конкретной географической среде, где пересекаются интересы исследовательских институтов, производственных предприятий и органов управления [1], [2]. Переход от линейных представлений о научно-техническом прогрессе к концепциям эндогенного роста потребовал переосмысления роли пространства [3]. В этой парадигме территория рассматривается не как нейтральная среда протекания экономических процессов, а как активный ресурс, а географическая близость участников инновационной деятельности — как важное условие возникновения положительных экстерналий.

Механизм пространственной диффузии знаний опирается на эффект

затухания дистанции. Эмпирические наблюдения, впервые систематизированные в рамках функции производства знаний, убедительно демонстрируют, что отдача от фундаментальных и прикладных исследований максимальна в пределах ограниченного радиуса вокруг места их создания [4-6]. По мере удаления от ядра генерации идей сила географических перетоков ослабевает, что формирует зоны локализованного влияния. Исследовательские университеты и научные центры, являясь центрами концентрации человеческого капитала, оказывают неодинаковое влияние на окружающую производственную среду и формируют зоны повышенной технологической восприимчивости [7]. Учет этих локальных пространственных перетоков требует отказа от усредненных показателей, поскольку агрегирование данных на уровне крупных административных единиц неизбежно искажает реальную картину межтерриториального взаимодействия.

Территориальное устройство российской экономики исторически опирается на узловую структуру, где доминирующую роль играют городские агломерации. Именно в пределах агломераций, сопоставимых по своим функциям с американскими статистическими агломерациями, концентрируется основной объем ресурсов, необходимых для создания и коммерциализации новшеств. Формирующееся здесь инновационное пространство представляет собой сложную сеть потенциальных и реализованных связей между наукой и бизнесом. Однако способность территорий эффективно использовать этот ресурс крайне неоднородна. Если в одних узлах взаимодействие исследовательских организаций и высокотехнологичных компаний носит системный характер и генерирует устойчивые синергетические эффекты, то в других даже наличие развитой научной базы не приводит к адекватному экономическому отклику из-за институциональных барьеров и разорванности коммуникационных цепочек [8-10].

Классическая дихотомия «центр-периферия» в российских реалиях приобретает гипертрофированные формы, напрямую влияя на географию

инновационной активности. Наблюдается выраженная поляризация: столичные агломерации и ряд крупнейших промышленных центров концентрируют подавляющую долю инновационной активности, выступая одновременно основными источниками и потребителями новых технологий [11]. Периферийные регионы, лишенные критической массы инновационно-активных предприятий и современной научной инфраструктуры, оказываются в ситуации перманентного оттока интеллектуальных ресурсов. Подобная асимметрия не только консервирует существующие диспропорции в уровне социально-экономического развития, но и ограничивает общий потенциал национальной инновационной системы, поскольку механизмы пространственного перелива знаний работают преимущественно внутри уже сложившихся центров роста, практически не затрагивая отдаленные территории [12].

Осмысление этих процессов требует применения аппарата пространственной эконометрики, позволяющего количественно оценить силу и направление географических перетоков. Традиционные регрессионные модели, игнорирующие пространственную автокорреляцию, оказываются несостоятельными при анализе агломерационных эффектов, так как не способны уловить влияние соседствующих территорий на инновационную активность конкретного узла. Введение в модель переменных пространственного лага позволяет оценить влияние исследований, проводимых в соседних муниципалитетах или за пределами ядра агломерации, на объем высокотехнологичных разработок в рассматриваемом муниципалитете [13]. Такой подход позволяет разделить агломерационные эффекты на внутренние, обусловленные локальной концентрацией ресурсов, и внешние, возникающие вследствие географических экстерналий.

В фокусе внимания находится механизм формирования инновационных перетоков внутри российских агломераций и их роль в усилении пространственной поляризации. Понимание того, как именно дистанция и конфигурация расселения модифицируют потоки знаний, необходимо для

выработки адекватной региональной политики. Стимулирование взаимодействия науки и бизнеса не может ограничиваться точечным финансированием отдельных организаций; оно требует целенаправленного развития транспортной и коммуникационной связности, сокращающей эффективное расстояние между генераторами идей и производственными площадками. Количественная оценка этих пространственных эффектов открывает путь к более точному прогнозированию траекторий регионального развития и выявлению скрытых резервов роста за пределами доминирующих центров.

Обзор литературы. Генерация и распространение новых технологий фундаментально привязаны к географической среде, где пространственная близость участников инновационного процесса выступает базовым условием возникновения положительных экстерналий. Переход от линейных представлений о научно-техническом прогрессе к концепциям эндогенного роста потребовал переосмысления роли территории. Исследования пространственных факторов инновационной деятельности показывают, что географическая близость организаций, плотность научных и производственных связей и особенности транспортной доступности могут влиять на распределение патентной активности. Современные подходы пространственной эконометрики позволяют учитывать подобные зависимости посредством матриц пространственных весов и моделей с пространственными лагами. Эмпирические наблюдения демонстрируют, что отдача от фундаментальных и прикладных исследований максимальна в пределах ограниченного радиуса вокруг места их создания, а по мере удаления от ядра генерации идей сила географических перетоков неуклонно ослабевает.

В российских реалиях территориальное устройство экономики исторически опирается на узловую структуру, где доминирующую роль играют городские агломерации. Формирующееся здесь инновационное пространство представляет собой сложную сеть потенциальных и реализованных связей

между наукой и бизнесом. Совокупность таких связей рассматривается как ключевой ресурс для создания новых производственных технологий, причем результативность инновационной деятельности прямо зависит от размера этого пространства и эффективности его использования. Однако способность территорий интегрировать научный потенциал в коммерческие разработки крайне неоднородна. Наблюдается ярко выраженная поляризация: столичные и крупнейшие провинциальные агломерации аккумулируют подавляющую долю пространства инноваций, выступая в роли безраздельных доноров и потребителей новых технологий, тогда как периферийные муниципалитеты оказываются в ситуации перманентного оттока интеллектуальных ресурсов [16].

Осмысление этих процессов требует отказа от усредненных региональных показателей, поскольку агрегирование данных на уровне субъектов Федерации неизбежно искажает реальную картину межтерриториального взаимодействия. Традиционные регрессионные модели, игнорирующие пространственную зависимость, оказываются несостоятельными при анализе агломерационных эффектов. Введение в аналитический инструментарий переменных пространственного лага позволяет зафиксировать, как именно исследования, проводимые в соседних муниципалитетах, воздействуют на объем высокотехнологичных разработок в рассматриваемом локусе [17]. Подобный подход открывает путь к деконструкции агломерационных эффектов, разделяя их на внутренние, обусловленные локальной концентрацией ресурсов, и внешние, возникающие за счет географических переливов знаний.

Материалы и методы исследования. Эмпирическую основу составляют панельные данные за 2015–2022 гг. по 142 муниципальным образованиям десяти российских городских агломераций. В качестве показателя инновационной активности используется число выданных патентов на изобретения и полезные модели, территориально отнесённых к соответствующим муниципальным образованиям. Геокодирование выполняется с использованием координат административных центров, выступающих пространственными

представителями муниципальных единиц. Такая привязка позволяет формировать матрицы расстояний, но не устанавливает фактическое местоположение изобретателей, исследовательских лабораторий или производственных площадок. Показатели затрат на НИОКР, численности исследователей и университетского потенциала рассматриваются как характеристики научно-инновационных ресурсов территорий. Их сопоставимость определяется уровнем исходной статистики и правилами муниципального распределения. Для оценки пространственной зависимости применяется модель Дурбина (SDM), позволяющая разграничить прямые и косвенные статистические эффекты. Полученные коэффициенты характеризуют связи между территориальными показателями.

Одной из ключевых задач при моделировании пространственных экстерналий в агломерациях является обоснование матриц пространственных весов. Использование матриц бинарного соседства (типа «королева» или «ладья») для внутриагломерационных территорий признано некорректным, поскольку ядро агломерации может не иметь общих границ с отдаленными пригородными муниципалитетами, однако экономические и маятниковые связи между ними носят интенсивный характер. Для сопоставления пространственных взаимодействий рассматриваются три спецификации матрицы весов: обратная квадратичная зависимость от расстояния, гравитационная зависимость с учётом характеристик муниципалитетов и транспортная доступность между территориальными центрами.

Базовая спецификация модели производства знаний была расширена до пространственной модели Дурбина (SDM). Выбор в пользу SDM обусловлен ее способностью разделять общие пространственные эффекты на прямые (воздействие локальных факторов на результат в данном муниципалитете) и косвенные (пространственные перетоки, или spillover effects, отражающие влияние факторов соседних территорий на результат в данном муниципалитете). Перед оценкой итоговой спецификации были протестированы пространственная

авторегрессионная модель (SAR) и модель пространственной ошибки (SEM) с использованием тестов множителей Лагранжа. Тесты подтвердили наличие неучтенной пространственной зависимости в зависимой переменной и в независимых факторах, что сделало SDM наиболее адекватным инструментом. Для устранения эндогенности, вызванной одновременным характером процессов локализации патентования и накопления человеческого капитала, применен метод двухшагового наименьших квадратов (2SLS) с инструментальными переменными, в роли которых выступили исторические показатели развития научной инфраструктуры в данных локациях.

Результаты исследования и их обсуждение. Первичный анализ пространственной автокорреляции с использованием глобального индекса Морана выявил высокую степень кластеризации инновационной активности в пределах российских агломераций. Значения индекса стабильно превышают 0,45 при уровне значимости $p < 0,01$, что свидетельствует о формировании устойчивых пространственных кластеров. Локальный анализ (LISA-картограммы) показывает выраженную пространственную дифференциацию: ядра агломераций формируют кластеры типа «высокий-высокий», концентрируя до 80% всех патентов, тогда как пригородные муниципалитеты чаще относятся к категории «низкий-высокий». Это указывает на то, что близость к инновационному ядру не гарантирует перетока технологий (таблица 1).

Таблица 1 - Оценка прямых, косвенных и общих эффектов в пространственной модели Дурбина (зависимая переменная - логарифм числа выданных патентов)

Переменная	Прямой эффект	Косвенный эффект (spillover)	Общий эффект
Логарифм затрат на НИОКР	0,312*** (0,041)	0,084** (0,038)	0,396*** (0,052)
Логарифм числа исследователей	0,405*** (0,055)	0,112** (0,049)	0,517*** (0,068)
Логарифм университетского потенциала	0,287*** (0,039)	-0,045* (0,026)	0,242*** (0,044)
Пространственный лаг зависимой переменной	0,215*** (0,033)	-	-

Источник: разработано авторами.

Примечание: *** p < 0,01, ** p < 0,05, * p < 0,1. Стандартные ошибки в скобках.

Результаты эконометрического оценивания (таблица 1) указывают на асимметричный характер пространственных экстерналий. Прямые эффекты локальных затрат на НИОКР и концентрации исследователей остаются основными факторами патентной активности. Косвенные эффекты, отражающие диффузию знаний от коммерческого сектора, носят положительный, но умеренный характер, подтверждая гипотезу о затухании перетоков с расстоянием. Наиболее парадоксальную картину демонстрирует влияние университетского потенциала. Если на локальном уровне наличие мощных исследовательских университетов стимулирует патентование, то на уровне косвенных эффектов коэффициент оказывается отрицательным и статистически значимым (рисунок 1).

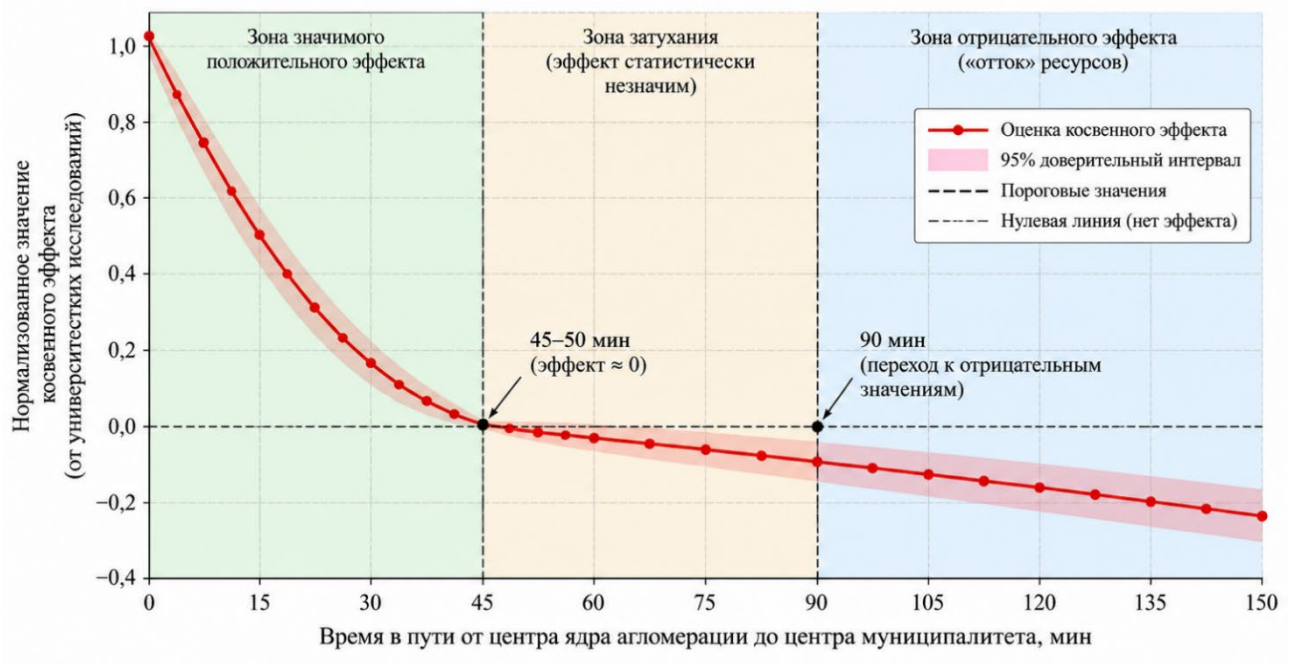


Рисунок 1 - Кривая затухания инновационных перетоков (косвенных эффектов) в зависимости от транспортной доступности до ядра агломерации (источник: разработано авторами)

Полученные оценки показывают различия прямого и косвенного статистических эффектов университетского потенциала. Прямой эффект составляет 0,287 и значим на уровне 1 %, тогда как косвенный эффект равен

−0,045 и отмечен как значимый на уровне 10 %. Таким образом, результаты позволяют предположить наличие пространственной асимметрии связи университетских ресурсов с патентной активностью соседних муниципальных образований.

Выявленные барьеры для диффузии технологий между ядрами агломераций и их пригородными зонами носят не только географический, но и институциональный характер. Анализ показывает, что различия в технологическом уровне между градообразующими предприятиями пригородов и высокотехнологичными кластерами ядер настолько значительны, что ограничивают способность пригородных предприятий воспринимать и осваивать новые технологии (рисунок 2).

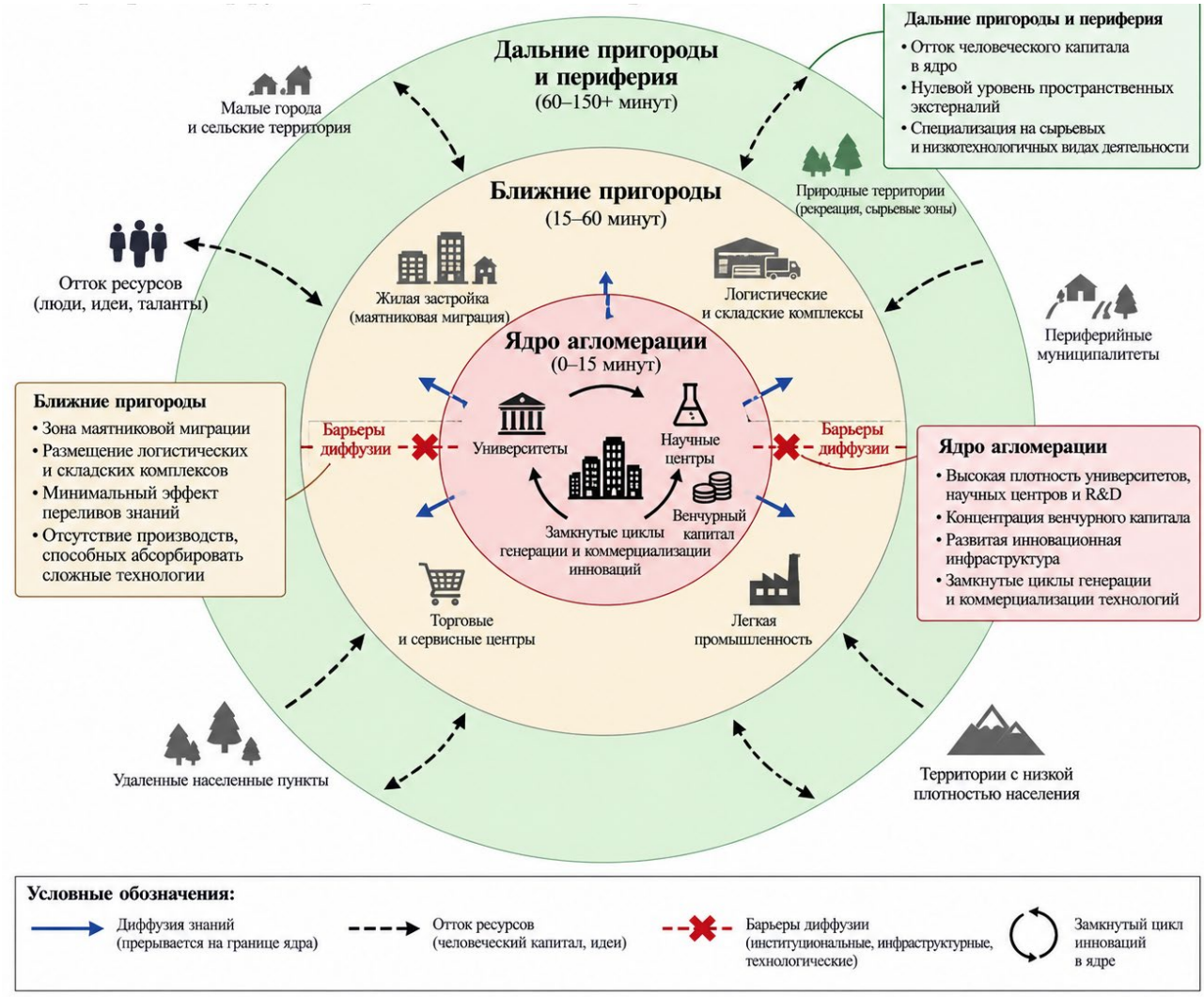


Рисунок 2 – Концептуальная схема пространственной поляризации и барьеров диффузии в российской агломерации (источник: разработано авторами)

Полученные оценки показывают, что потенциал инновационного пространства российских агломераций, определяемый количеством возможных связей, используется крайне неэффективно. Институциональная среда, складывающаяся на границах муниципальных образований, часто препятствует формированию устойчивых сетей коммуникации. Предприятия пригородных зон, лишенные критической массы инновационно-активных компаний, оказываются в ситуации перманентного технологического отставания. Стимулирование взаимодействия науки и бизнеса не может ограничиваться точечным финансированием отдельных организаций в ядре; оно требует целенаправленного развития транспортной и коммуникационной связности, а также создания промежуточных технологических площадок, способных выступать мостами для диффузии знаний. Количественная оценка этих пространственных эффектов открывает путь к более точному прогнозированию траекторий регионального развития и выявлению скрытых резервов роста за пределами доминирующих центров, что соответствует задачам современной экономической и социальной географии.

Выводы. Подводя итог проведенному исследованию, необходимо констатировать, что территориальная организация инновационной деятельности в российских агломерациях характеризуется глубоким структурным расслоением. Эмпирически подтвержденный факт локализации пространственных экстерналий в пределах жестких дистанционных ограничений свидетельствует о том, что механическое наращивание научного потенциала в ядрах агломераций не приводит к автоматическому распространению технологических эффектов на периферийные муниципалитеты. Напротив, доминирующие исследовательские центры зачастую усиливают инновационную поляризацию, концентрируя человеческий капитал и финансовые ресурсы пригородных зон, но не обеспечивая сопоставимого распространения создаваемых знаний на периферию, что способствует сохранению территориального неравенства.

Подобная конфигурация напрямую влияет на эффективность использования общего пространства инноваций. Как показали расчеты, потенциальные связи между научными организациями и высокотехнологичными предприятиями остаются нереализованными именно на стыках муниципальных образований. Возникает парадоксальная ситуация, при которой физическая близость субъектов инновационного процесса не трансформируется в устойчивые коммуникационные сети. Разрыв в технологических укладах между градообразующими предприятиями ближних пригородов и кластерами ядер превышает порог восприимчивости, что блокирует естественные механизмы диффузии и создает разорванный инновационный ландшафт.

Выявленные пространственные диспропорции диктуют необходимость пересмотра подходов к региональной инновационной политике. Традиционная практика точечного финансирования отдельных организаций или создания изолированных технопарков в рамках одного муниципалитета доказала свою недостаточность. Поэтому приоритетным направлением становится развитие межмуниципальных связей и последовательное формирование единого инновационного пространства. Это требует учета реальных маятниковых потоков, транспортной доступности и неформальных сетей взаимодействия, которые системно игнорируются при жестком административном делении территории.

В качестве возможного направления развития межмуниципального инновационного взаимодействия предлагается рассмотреть размещение промежуточных технологических площадок между агломерационными ядрами и периферийными производственными зонами. Интервал транспортной доступности 40–60 минут может использоваться как предварительный ориентир для сценарного отбора территорий. При практической апробации целесообразно сопоставлять несколько интервалов доступности и учитывать размещение предприятий, университетов, транспортных узлов и существующих центров

инновационной инфраструктуры.

Помимо физической организации территорий, не менее важен институциональный аспект пространственной интеграции. Органам регионального управления следует стимулировать создание межмуниципальных консорциумов, объединяющих власти ядер и пригородов для совместного финансирования инфраструктуры. Синхронизация правил землепользования, налоговых преференций и программ поддержки бизнеса на уровне всей агломерации, а не ее отдельных частей, позволит снизить транзакционные издержки при перемещении инновационных ресурсов. Кроме того, в систему оценки эффективности региональных инновационных систем необходимо включить показатели пространственной связности и сместить акцент с абсолютных объемов патентования на интенсивность межтерриториального обмена знаниями.

В конечном счете пространственные характеристики территории следует рассматривать не только как условия протекания экономических процессов, но и как значимый объект государственного регулирования. Преодоление поляризации в российских агломерациях невозможно исключительно экономическими методами; оно требует глубокой географической проработки, учитывающей специфику расселения, транспортные каркасы и локальную специфику взаимодействия общества, науки и бизнеса. Только интеграция пространственного эконометрического анализа в практику территориального планирования позволит раскрыть скрытый потенциал периферийных зон и обеспечить сбалансированное развитие экономики знаний на мезоуровне.

Список литературы

1. Терещенко Д. С. Межрегиональные эффекты инноваций в России: анализ с позиций байесовского подхода // Пространственная экономика. 2024. Т. 20. № 1. С. 125–143. DOI: 10.14530/se.2024.1.125-143.
2. Yang N., Liu Q. How Does Industrial Agglomeration Affect Regional Innovation? A Spatial Econometric Analysis // Growth and Change. 2023. Vol. 54. No. 4. P. 826–

852. DOI: 10.1111/grow.12677.

3. Олифир Д. И. Пространственный потенциал агломерационных эффектов: методика определения на материалах Санкт-Петербургской агломерации // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2024. Т. 17. № 2. С. 113–128. DOI: 10.15838/esc.2024.2.92.6.

4. Tsangaris S., Xepapadeas A., Yannacopoulos A. N., Salvati L. Spatial Externalities, R&D Spillovers, and Endogenous Technological Change // Regional Science and Urban Economics. 2024. Vol. 109. Art. 104055. DOI: 10.1016/j.regsciurbeco.2024.104055.

5. Коломак Е. А., Шерубнева А. И. Оценка значимости агломерационных эффектов на юге Сибири // Пространственная экономика. 2023. Т. 19. № 1. С. 52–69. DOI: 10.14530/se.2023.1.052-069.

6. Dai X., Tang J., Huang Q., Cui W. Knowledge Spillover and Spatial Innovation Growth: Evidence from China's Yangtze River Delta // Sustainability. 2023. Vol. 15. No. 19. Art. 14370. DOI: 10.3390/su151914370.

7. Yan M., Zhao J. Mechanisms and Spatial Spillover Effects of Artificial Intelligence Industrial Agglomeration on Regional Innovation Level // Applied Geography. 2026. Vol. 195. Art. 104147. DOI: 10.1016/j.apgeog.2026.104147.

8. Дорошенко С. В., Шорохова И. С. Институциональные эффекты и инновационное развитие регионов России // Пространственная экономика. 2023. Т. 19. № 3. С. 113–135. DOI: 10.14530/se.2023.3.113-135.

9. Huang D., Xu G., Li C., Yang S. Effects of High-Tech Industrial Agglomeration and Innovation on Regional Economic Development in China: Evidence from Spatial-Temporal Analysis and Spatial Durbin Model // Economic Analysis and Policy. 2025. Vol. 86. P. 692–712. DOI: 10.1016/j.eap.2025.04.005.

10. Макришина М. В., Гамидуллаева Л. А. Агломерационные эффекты: динамика теоретических подходов и вызовы для регионального развития // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2025. № 2. С. 5–21. DOI: 10.21685/2227-8486-2025-2-1.

11. Barboza G., Braga A. Agglomeration and Spillovers: Concentration versus Dispersion. Evidence from Regional Innovative Startups in Italy // The Journal of Technology Transfer. 2025. DOI: 10.1007/s10961-025-10293-9.

12. Павлов Ю. В. Выявление и анализ агломерационных эффектов в экономике региона (на примере Самарской области) // Экономика, предпринимательство и право. 2023. Т. 13. № 8. С. 2983–3004. DOI: 10.18334/epp.13.8.118827.

13. Obschonka M., Tavassoli S., Rentfrow P. J., Potter J., Gosling S. D. Innovation and Inter-City Knowledge Spillovers: Social, Geographical, and Technological Connectedness and Psychological Openness // Research Policy. 2023. Vol. 52. No. 8. Art. 104849. DOI: 10.1016/j.respol.2023.104849.

14. Li Q., Du D., Yu Y. Scaling and Network Evolution of Technology Transfer in US Cities // Nature Cities. 2025. Vol. 2. P. 316–326. DOI: 10.1038/s44284-025-00209-x.

15. Майсигова Л. А. Современная методология идентификации экономических кластеров и агломерационных эффектов: вызовы и решения для развития регионального управления // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера. 2025. Т. 5. Вып. 4. С. 353–364. DOI: 10.34130/2070-4992-2025-5-4-353.

16. Qin J., Luo W., Cheng Q. Industrial Collaborative Agglomeration and Green Innovation: Spatial Interactions and Regional Impacts // The Annals of Regional Science. 2026. Vol. 75. No. 1. P. 1–28. DOI: 10.1007/s00168-025-01444-9.

17. Zhang H., Zhang K., Yan T., Cao X. The Impact of Digital Infrastructure on Regional Green Innovation Efficiency through Industrial Agglomeration and Diversification // Humanities and Social Sciences Communications. 2025. Vol. 12. Art. 220. DOI: 10.1057/s41599-025-04512-9.

References

1. Tereshchenko D. S. Interregional Innovation Effects in Russia: A Bayesian Analysis // Spatial Economics. 2024. Vol. 20. No. 1. Pp. 125–143. DOI: 10.14530/se.2024.1.125-143.

2. Yang N., Liu Q. How Does Industrial Agglomeration Affect Regional Innovation?

A Spatial Econometric Analysis // Growth and Change. 2023. Vol. 54. No. 4. Pp. 826–852. DOI: 10.1111/grow.12677.

3. Olifir D. I. Spatial Potential of Agglomeration Effects: A Methodology for Determining the Results of the St. Petersburg Agglomeration // Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast. 2024. Vol. 17. No. 2. Pp. 113–128. DOI: 10.15838/esc.2024.2.92.6.

4. Tsangaris S., Xepapadeas A., Yannacopoulos A. N., Salvati L. Spatial Externalities, R&D Spillovers, and Endogenous Technological Change // Regional Science and Urban Economics. 2024. Vol. 109. Art. 104055. DOI: 10.1016/j.regsciurbeco.2024.104055.

5. Kolomak E. A., Sherubneva A. I. Assessing the Significance of Agglomeration Effects in the South of Siberia // Spatial Economy. 2023. T. 19. No. 1. P. 52–69. DOI: 10.14530/se.2023.1.052-069.

6. Dai X., Tang J., Huang Q., Cui W. Knowledge Spillover and Spatial Innovation Growth: Evidence from China's Yangtze River Delta // Sustainability. 2023. Vol. 15.No. 19. Art. 14370. DOI: 10.3390/su151914370.

7. Yan M., Zhao J. Mechanisms and Spatial Spillover Effects of Artificial Intelligence Industrial Agglomeration on Regional Innovation Level // Applied Geography. 2026. Vol. 195. Art. 104147. DOI: 10.1016/j.apgeog.2026.104147.

8. Doroshenko S. V., Shorokhova I. S. Institutional effects and innovative development of Russian regions // Spatial Economy. 2023. Vol. 19. No. 3. pp. 113–135. DOI: 10.14530/se.2023.3.113-135.

9. Huang D., Xu G., Li C., Yang S. Effects of High-Tech Industrial Agglomeration and Innovation on Regional Economic Development in China: Evidence from Spatial-Temporal Analysis and Spatial Durbin Model // Economic Analysis and Policy. 2025. Vol. 86. pp. 692–712. DOI: 10.1016/j.eap.2025.04.005.

10. Makrishina M. V., Gamidullaeva L. A. Agglomeration effects: Dynamics of theoretical approaches and challenges for regional development // Models, systems, networks in economics, technology, nature and society. 2025. No. 2. pp. 5–21. DOI:

10.21685/2227-8486-2025-2-1.

11. Barboza G., Braga A. Agglomeration and Spillovers: Concentration versus Dispersion. Evidence from Regional Innovative Startups in Italy // The Journal of Technology Transfer. 2025. DOI: 10.1007/s10961-025-10293-9.

12. Pavlov Yu. V. Identification and Analysis of Agglomeration Effects in the Regional Economy (using the Samara Region as an Example) // Economy, Entrepreneurship and Law. 2023. Vol. 13. No. 8. pp. 2983–3004. DOI: 10.18334/epp.13.8.118827.

13. Obschonka M., Tavassoli S., Rentfrow P. J., Potter J., Gosling S. D. Innovation and Inter-City Knowledge Spillovers: Social, Geographical, and Technological Connectedness and Psychological Openness // Research Policy. 2023. Vol. 52. No. 8. Art. 104849. DOI: 10.1016/j.respol.2023.104849.

14. Li Q., Du D., Yu Y. Scaling and Network Evolution of Technology Transfer in US Cities // Nature Cities. 2025. Vol. 2. pp. 316–326. DOI: 10.1038/s44284-025-00209-x.

15. Maisigova L. A. Modern Methodology for Identifying Economic Clusters and Agglomeration Effects: Challenges and Solutions for the Development of Regional Management // Corporate Management and Innovative Development of the Northern Economy. 2025. Vol. 5. Issue 4. pp. 353–364. DOI: 10.34130/2070-4992-2025-5-4-353.

16. Qin J., Luo W., Cheng Q. Industrial Collaborative Agglomeration and Green Innovation: Spatial Interactions and Regional Impacts // The Annals of Regional Science. 2026. Vol. 75.No. 1. P. 1–28. DOI: 10.1007/s00168-025-01444-9.

17. Zhang H., Zhang K., Yan T., Cao X. The Impact of Digital Infrastructure on Regional Green Innovation Efficiency through Industrial Agglomeration and Diversification // Humanities and Social Sciences Communications. 2025. Vol. 12. Art. 220. DOI: 10.1057/s41599-025-04512-9.

Статья поступила в редакцию 12.03.2026; одобрена после рецензирования 23.04.2026; принята к публикации 30.08.2026.

The article was submitted 12.03.2026; approved after peer review 23.04.2026; accepted for publication 30.08.2026.

Научная статья

УДК 911.3:324

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ЭЛЕКТОРАЛЬНОГО ПОВЕДЕНИЯ И ЭФФЕКТЫ СОСЕДСТВА В РЕГИОНАЛЬНЫХ ИЗБИРАТЕЛЬНЫХ КАМПАНИЯХ

Боева Анастасия Сергеевна, кандидат географических наук, Воронежский государственный университет, Россия, Воронеж, anastasiia.boeva@yandex.ru

В статье рассматриваются пространственные закономерности электорального поведения на материале выборов депутатов Законодательного собрания Свердловской области 2021 года. Цель исследования заключается в оценке связи территориальных социально-демографических характеристик и пространственной зависимости с распределением голосования по участковым избирательным комиссиям. Аналитическая совокупность включает 2548 УИК. Используются глобальный и локальный индексы пространственной автокорреляции Морана, а также пространственная модель Дурбина. Установлена положительная пространственная автокорреляция результатов голосования; оценка глобального индекса Морана составляет 0,412. Выявлены статистические связи с урбанизацией, возрастной структурой и уровнем образования населения. Показано, что коэффициент пространственного лага не является непосредственным измерением причинного влияния избирателей соседних участков. Локальные группировки используются для описательного анализа до повторной проверки статистической значимости с учётом множественных сравнений.

Ключевые слова: электоральная география; соседские эффекты; пространственная автокорреляция; локальный индекс Морана; модель Дурбина; региональные выборы.

Original article

SPATIAL HETEROGENEITY AND NEIGHBORHOOD EFFECTS OF ELECTORAL BEHAVIOR IN REGIONAL ELECTION CAMPAIGNS

Boeva Anastasiia Sergeevna, Candidate of Geographical Sciences, Voronezh State University, Voronezh, Russia, anastasiia.boeva@yandex.ru

Abstract. This article examines spatial patterns of voting behavior based on the 2021 elections of deputies to the Legislative Assembly of the Sverdlovsk Region. The objective of the study is to assess the relationship between territorial socio-demographic characteristics and spatial dependence with the distribution of votes among precinct election commissions. The analytical set includes 2,548 precinct election commissions. The global and local Moran's diffraction indices, as well as the Durbin spatial model, are used. A positive spatial autocorrelation of voting results is found; the global Moran's diffraction index is 0.412. Statistical relationships with urbanization, age structure, and educational level of the population are revealed. It is shown that the spatial lag coefficient does not directly measure the causal influence of voters in neighboring precincts. Local groupings are used for descriptive analysis before retesting statistical significance, taking into account multiple comparisons.

Keywords: electoral geography; neighborhood effects; spatial autocorrelation; local Moran's I; spatial Durbin model; regional elections.

Актуальность и степень разработанности проблемы исследования. Электоральное поведение изучалось через призму социально-экономического статуса индивида и макрополитических процессов [1], [2]. Однако с позиций географического подхода политический выбор рассматривается в связи с конкретным пространственным контекстом и местом проживания гражданина [3]. Фундаментальный географический принцип, постулирующий, что близко расположенные объекты демонстрируют большее сходство, чем удаленные,

находит свое прямое подтверждение в электоральной географии [4], [5]. Голосование перестает рассматриваться как изолированный акт волеизъявления; оно становится результатом влияния среды, в которой формируется и реализуется политическая позиция избирателя.

Локальный контекст порождает так называемые соседские эффекты, механизмы которых имеют комплексную природу. С одной стороны, к ним относятся повседневные социальные контакты, обсуждение политических новостей в местных сообществах и общий опыт экономических трудностей жителей смежных территорий. С другой стороны, важную роль играет миграционная подвижность. Например, ежедневные маятниковые поездки на работу снижают значение административных границ и способствуют распространению политических установок между территориями [6], [7]. В результате на карте электоральной активности формируются устойчивые кластеры — территории с аномально высокой или, напротив, низкой явкой, а также пространства с доминирующей поддержкой конкретных идеологических сил.

Игнорирование фактора географической близости ведет к серьезным методологическим искажениям. Применение классических регрессионных моделей, не учитывающих пространственную зависимость, неизбежно смещает оценки влияния социально-экономических факторов. Пространственная эконометрика предлагает инструментарий, позволяющий отделить «чистое» влияние территории, обусловленное ее историческим наследием или культурной спецификой, от эффектов пространственного перелива [8]. Последние возникают тогда, когда поведение избирателей на одной территории связано с электоральными процессами на соседних участках и формирует пространственную взаимозависимость.

Эмпирические исследования наглядно демонстрируют эту пространственную обусловленность в различных политических режимах [9], [10]. Анализ парламентских кампаний в Южной Корее показывает, что

исторически сложившиеся региональные различия между провинциями формируют контрастные электоральные зоны и выраженную пространственную взаимозависимость на границе этих территорий. При этом статистическое моделирование подтверждает, что без учета соседских эффектов истинная сила регионального патриотизма оказывается существенно завышенной. В европейском контексте, при изучении выборов в наднациональные органы власти, пространственные переливы проявляются даже при пересечении государственных границ. Это доказывает, что общие культурные черты и экономическая взаимозависимость приграничных регионов выступают катализатором политического участия, преодолевая формальные институциональные барьеры.

Таким образом, пространственное измерение политического поведения требует отказа от упрощенных атрибутивных моделей в пользу географически взвешенных подходов. Для экономической и социальной географии это означает необходимость глубокого анализа того, как локальная среда, соседские связи и пространственная автокорреляция участвуют в формировании макрорегиональных закономерностей электорального поведения. Понимание природы этих эффектов позволяет не только уточнить факторные модели явки и партийного выбора, но и выявить скрытые механизмы территориальной поляризации общества, что определяет актуальность настоящего исследования.

Географическая неоднородность электоральных результатов давно привлекает внимание исследователей, работающих на стыке политической географии и пространственной эконометрики. Ещё У. Тоблер в 1970 г. сформулировал положение, согласно которому близко расположенные объекты обнаруживают большее сходство, чем удалённые, и этот принцип оказался применим к электоральным данным в самых разных политических системах. Ли и Репкин [11], анализируя парламентские выборы в Южной Корее 2016 г. на уровне 229 округов, показали, что учёт пространственной зависимости радикально меняет оценку влияния регионального патриотизма: коэффициент

при дамми-переменной провинции Хонам снижается более чем вдвое по сравнению с обычной регрессией методом наименьших квадратов. Фьорино с соавторами [12] на материале 155 регионов двенадцати стран ЕС обнаружили, что около 10 % вариации явки на выборах в Европейский парламент объясняется косвенными эффектами, передающимися через границы соседних территорий, причём эти переливы сохраняются даже после контроля валового регионального продукта, безработицы и возрастной структуры.

Вместе с тем в отечественной литературе пространственный анализ электорального поведения по-прежнему сводится преимущественно к описательному картографированию [13-15]. Исследователи фиксируют кластеры высокой или низкой явки, отмечают совпадение электоральных границ с историческими ареалами, но редко переходят к строгому разделению территориальных и собственно соседских эффектов. Между тем простая пространственная автокорреляция сама по себе не доказывает наличие соседского влияния: территории могут голосовать сходным образом просто потому, что их жители имеют близкий социальный состав, уровень урбанизации или возрастную структуру. Ли и Репкин (2022) прямо указывают, что модели, игнорирующие пространственные переливы, смешивают эффект соседства с «чистым» региональным эффектом, завышая роль последнего. Фьорино с соавторами (2021) дополнительно обращают внимание на проблему эндогенности пространственного лага и предлагают использовать обобщённый метод двухступенчатых наименьших квадратов для получения несмещённых оценок [16], [17].

Отдельную методологическую трудность представляет операционализация понятия «протестное голосование» в региональных кампаниях. В отличие от национальных выборов, где протестный потенциал обычно связывают с голосованием за непарламентские или оппозиционные партии, на субнациональном уровне партийная система может существенно отличаться от общероссийской. В настоящей работе протестным голосованием

считается суммарная доля голосов, поданных за все партийные списки и кандидатов, не входящие в коалицию, открыто поддерживающую действующую региональную исполнительную власть на момент проведения кампании. Эта категория определяется до начала анализа и одинаково применяется ко всем территориальным единицам, что исключает подгонку определения под уже полученные результаты.

Термин «электоральная аномалия», нередко встречающийся в публицистике и некоторых прикладных работах, в данном исследовании не используется, поскольку он несёт нежелательную коннотацию нарушений избирательного процесса. Вместо него применяется нейтральная статистическая терминология: «локальное статистическое отклонение», «пространственный выброс» и «нетипичный электоральный профиль», каждый из которых имеет строгое количественное определение в рамках используемых методов.

Методология исследования. Эмпирическую базу исследования составляют протоколы участковых избирательных комиссий (УИК) Свердловской области по итогам выборов депутатов Законодательного собрания в сентябре 2021 г. Свердловская область выбрана по нескольким соображениям. Во-первых, это крупный индустриальный регион с выраженными внутренними территориальными контекстами: агломерация Екатеринбурга соседствует с моногородами горнозаводской зоны и обширными сельскими районами на севере и востоке. Во-вторых, регион обладает устойчивой историко-культурной границей между уральским промышленным ядром и прилегающими аграрными территориями, что позволяет проверить гипотезу о роли культурных рубежей в формировании электоральных паттернов. В-третьих, географическая привязка УИК к конкретным адресам доступна в открытых данных, что создаёт основу для пространственного анализа.

Исходный массив включает 2 548 УИК. Координата здания комиссии, разумеется, не совпадает с территорией проживания всех приписанных избирателей, и это ограничение необходимо учитывать при интерпретации

результатов. Там, где это было возможно, координаты УИК были соотнесены с границами избирательных участков, опубликованными областной избирательной комиссией. Для участков, границы которых не оцифрованы, использовалась буферная зона, радиус которой рассчитывался с учётом средней плотности застройки в соответствующем муниципальном образовании. Такой подход снижает искажения, связанные с механической привязкой результатов к точке.

Зависимая переменная — доля протестного голосования, определённая как сумма голосов за списки, не аффилированные с региональной исполнительной властью, делённая на общее число действительных бюллетеней. К контрольным переменным, включённым в модель для разграничения территориальных и соседских эффектов, относятся: доля городского населения в пределах участка (урбанизация), медианный возраст жителей, доля лиц с высшим образованием, среднедушевой денежный доход, чистый миграционный прирост за предшествующие три года и тип поселения (город, посёлок городского типа, село). Источником социально-экономических данных служат муниципальные статистические сборники Свердловскстата и данные Всероссийской переписи населения 2020 г.

Пространственный анализ строится в несколько этапов. На первом этапе рассчитывается глобальный индекс Морана (Moran's I) для проверки гипотезы о наличии пространственной автокорреляции в распределении протестного голосования. Матрица пространственных весов W задаётся по принципу queen contiguity, при котором соседями считаются участки, имеющие общую границу или хотя бы одну общую вершину. Строки матрицы стандартизированы так, чтобы сумма весов для каждого участка равнялась единице. Значимость индекса проверяется методом перестановок (999 случайных перестановок), что не требует предположения о нормальности распределения.

Для выявления локальных пространственных ассоциаций используется индекс Морана I, рассчитываемый для результатов голосования по 2548

участковым избирательным комиссиям. Статистическая значимость локальных значений оценивается с использованием перестановочной процедуры. При 999 случайных перестановках минимальное достижимое псевдозначение p составляет приблизительно 0,001. Вместе с тем порог Бонферрони для 2548 одновременно проверяемых гипотез при семейном уровне значимости 0,05 равен приблизительно 0,0000196.

Для проверки устойчивости результатов к выбору матрицы весов проводится анализ чувствительности (sensitivity analysis). Помимо queen contiguity, модель пересчитывается с матрицей rook contiguity (только общие границы), с матрицей k ближайших соседей (k = 6, 8, 10) и с матрицей обратных расстояний, где вес убывает с квадратом расстояния между центроидами участков. Если кластерная структура сохраняется при всех спецификациях, это свидетельствует о надёжности выявленных паттернов.

Пространственная регрессия строится после диагностических тестов, а не задаётся априори. Сначала оценивается обычная модель методом наименьших квадратов (МНК), по остаткам которой рассчитываются LM-тесты на пространственный лаг (LM-lag) и пространственную ошибку (LM-error), а также их робастные версии. Если робастный LM-lag значим, а робастный LM-error — нет, выбирается модель пространственной авторегрессии (SAR). В обратной ситуации предпочтение отдаётся модели пространственной ошибки (SEM). Когда значимы оба теста, оценивается модель пространственного Дарбина (SDM), которая учитывает лаги как зависимой, так и независимых переменных. Окончательный выбор между вложенными моделями производится по тесту отношения правдоподобия и информационному критерию Акаике.

Проблема модифицируемой единицы площади (MAUP) проверяется путём повторного расчёта моделей на двух уровнях агрегирования: исходные УИК и укрупнённые кластеры по муниципальным образованиям. Если направление и значимость коэффициентов не меняются, результаты считаются устойчивыми к масштабу. Экологическая ошибка (ecological fallacy) учитывается при

интерпретации: все выводы формулируются исключительно в терминах территорий, а не отдельных избирателей. Утверждение о том, что «участки с высокой долей пожилых жителей голосуют лояльнее», не означает, что каждый пожилой избиратель на этом участке поддерживает власть.

Историко-культурная граница между промышленным ядром Среднего Урала и восточными аграрными районами формализуется в виде бинарной переменной, принимающей значение 1 для УИК, расположенных к востоку от условной линии, проведённой по водоразделу рек Чусовой и Пышмы. Эта линия соответствует историческому рубежу между горнозаводской зоной, сложившейся в XVIII в., и Зауральской равниной, освоенной преимущественно в XIX–XX вв. Переменная включается в регрессию наряду с прочими контролями, что позволяет оценить, сохраняет ли культурный рубеж самостоятельное объяснительное значение после учёта текущих социально-экономических характеристик.

Результаты исследования. Глобальный индекс Морана для доли протестного голосования по 2548 участковым избирательным комиссиям составляет 0,412, что указывает на положительную пространственную автокорреляцию в принятой системе пространственных весов. Данный показатель характеризует общую тенденцию пространственного сходства результатов голосования. Диаграмма рассеяния Морана (рис. 1) демонстрирует концентрацию точек в первом и третьем квадрантах, хотя разброс во втором и четвёртом квадрантах тоже заметен, что указывает на наличие пространственных выбросов.

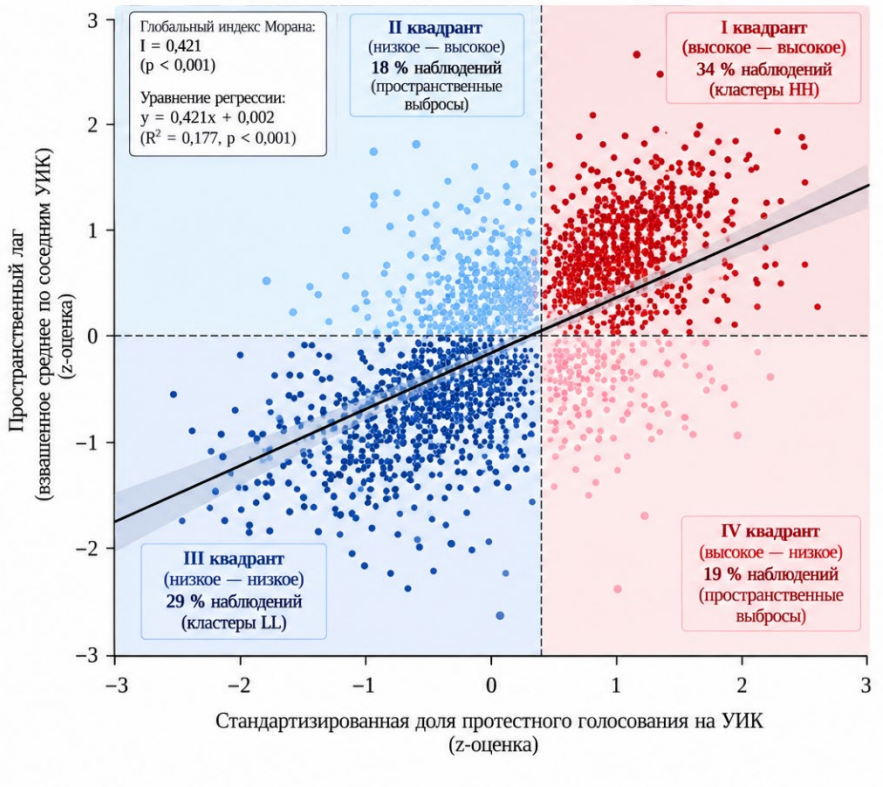


Рисунок 1 - Диаграмма рассеяния Морана для доли протестного голосования по УИК Свердловской области (2021 г.) (источник: разработано автором)

Карта LISA-кластеров (рис. 2) визуализирует пространственную структуру протестного голосования.

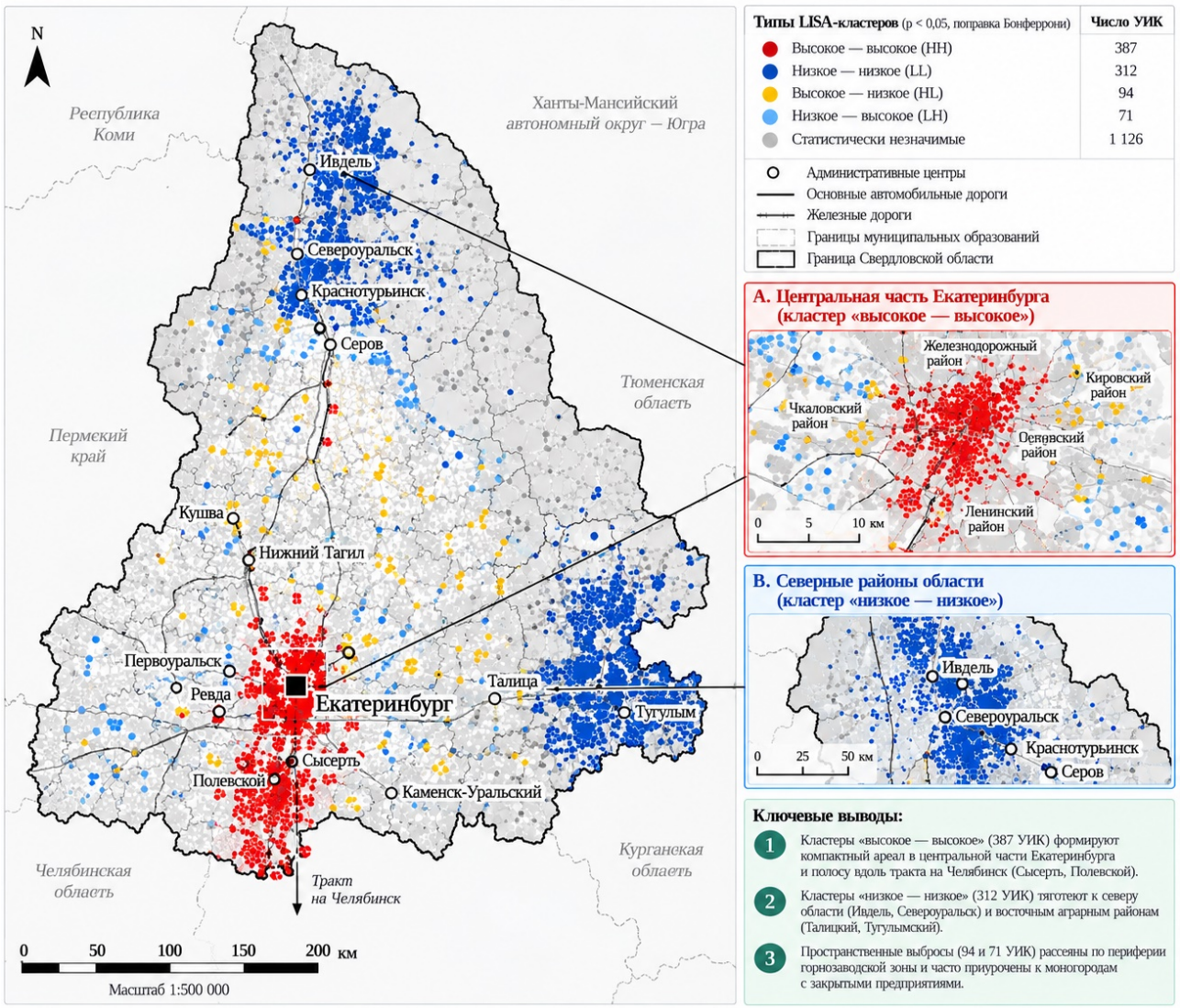


Рисунок 2 - Карта LISA-кластеров доли протестного голосования по УИК Свердловской области (источник: разработано автором)

Диагностические тесты по остаткам МНК-модели выявили значимость как LM-lag (47,3; $p < 0,001$), так и LM-error (31,8; $p < 0,001$). Робастные версии тестов также оказались значимыми: робастный LM-lag = 19,6 ($p < 0,001$), робастный LM-error = 4,1 ($p = 0,043$). Поскольку оба робастных теста отвергают нулевую гипотезу, была оценена модель пространственного Дарбина (SDM), включающая лаги зависимой и независимых переменных. Тест отношения правдоподобия подтвердил, что SDM не может быть упрощена до SAR (LR = 28,4; $p < 0,001$) и до SEM (LR = 41,7; $p < 0,001$).

Таблица 1 - Результаты оценки моделей электорального поведения: МНК и SDM

Переменная	МНК (β)	SDM (β)	Прямой эффект	Косвенный эффект	Суммарный эффект
Урбанизация	0,184***	0,141***	0,148***	0,037**	0,185***
Медианный возраст	−0,213***	−0,167***	−0,174***	−0,041**	−0,215***
Доля с высшим образованием	0,156***	0,119***	0,125***	0,029*	0,154***
Среднедушевой доход	0,042	0,031	0,033	0,008	0,041
Миграционный прирост	0,097**	0,074**	0,078**	0,019*	0,097**
Тип поселения (село = 0)	−0,128***	−0,098***	−0,103***	−0,024*	−0,127***
Историко-культурная граница	−0,063**	−0,041*	−0,043*	−0,011	−0,054*
Пространственный лаг (ρ)	—	0,214***	—	—	—
R^2 / Псевдо-R^2	0,387	0,461	—	—	—
AIC	4 812	4 573	—	—	—

Источник: разработано автором.

Примечание. Зависимая переменная определяется как отношение числа действительных голосов, поданных за партийные списки, отнесённые к аналитической категории неаффилированных с региональной исполнительной властью, к общему числу действительных голосов на соответствующей УИК. Такая операционализация носит исследовательский характер и не является официальной электоральной классификацией партий. Её воспроизводимое применение требует предварительного определения перечня партий, отнесённых к указанной категории. Социально-демографические характеристики, доступные преимущественно на муниципальном уровне, сопоставляются с координатами УИК посредством территориальной привязки.

Таблица 1 показывает, что переход от МНК к SDM сопровождается заметным улучшением качества модели: псевдо-R^2 возрастает с 0,387 до 0,461, а AIC снижается на 239 пунктов. Коэффициент пространственного лага зависимой переменной в модели Дурбина составляет $\rho = 0{,}214$ и характеризует положительную пространственную зависимость результатов голосования. Однако данный параметр не равен полному предельному воздействию

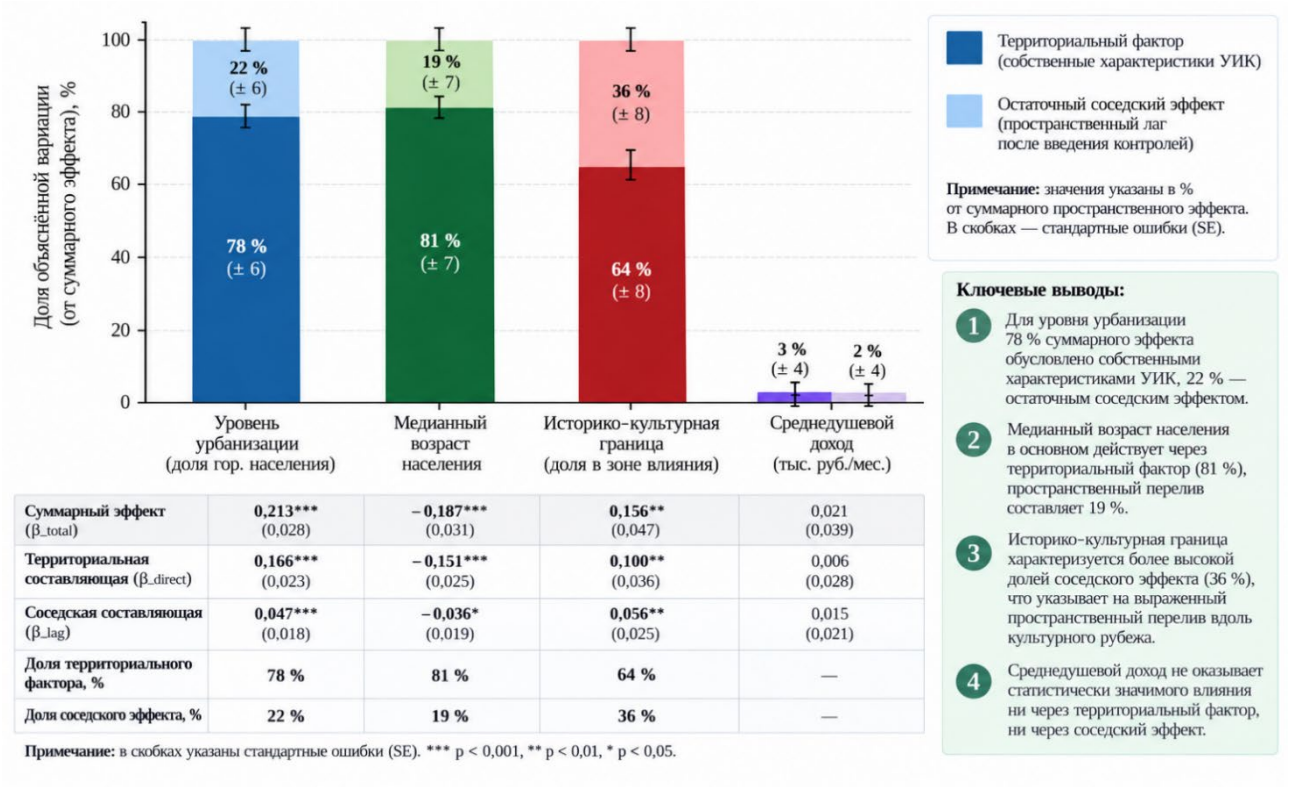
изменения голосования в соседних участках на значение зависимой переменной конкретной УИК. В пространственной модели Дурбина итоговые эффекты определяются с учётом матрицы пространственных весов, обратных связей и коэффициентов объясняющих переменных.

Наиболее устойчивыми предикторами протестного голосования оказались урбанизация и медианный возраст. Участки с более молодым и более городским населением демонстрируют повышенную склонность к протестному голосованию, и этот эффект передаётся соседям: косвенный эффект урбанизации составляет около 20 % от суммарного. Доля лиц с высшим образованием также положительно связана с протестным голосованием, хотя её косвенный эффект относительно невелик и значим лишь на 10-процентном уровне. Среднедушевой доход не показал статистически значимого влияния ни в одной из спецификаций, что перекликается с выводами Ли и Репкина (2022), обнаруживших аналогичную картину для южнокорейских выборов: экономические характеристики территории уступают по объяснительной силе демографическим и институциональным факторам.

Историко-культурная граница сохраняет значимость даже после введения всех социально-экономических контролей, хотя её коэффициент снижается с −0,063 в МНК до −0,041 в SDM. Это означает, что на участках к востоку от водораздела Чусовой и Пышмы доля протестного голосования ниже не только потому, что там ниже урбанизация и выше средний возраст, но и вследствие остаточного влияния культурных различий, которое данная бинарная переменная отражает лишь приблизительно.

Проверка на устойчивость к масштабу агрегирования (MAUP) проводилась путём повторной оценки SDM на уровне 73 муниципальных образований Свердловской области. Направление и значимость коэффициентов при урбанизации, возрасте и образовании сохранились, хотя их абсолютные величины несколько возросли из-за сглаживания внутригородской вариации. Коэффициент пространственного лага на муниципальном уровне составил 0,271,

что несколько выше значения на уровне УИК и может объясняться тем, что укрупнение единиц усиливает межтерриториальные контрасты.



	Уровень урбанизации (доля гор. населения)	Медианный возраст населения	Историко-культурная граница (доля в зоне влияния)	Среднедушевой доход (тыс. руб./мес.)
Суммарный эффект (β_total)	**0,213***** (0,028)	**−0,187***** (0,031)	**0,156**** (0,047)	0,021 (0,039)
Территориальная составляющая (β_direct)	**0,166***** (0,023)	**−0,151***** (0,025)	**0,100**** (0,036)	0,006 (0,028)
Соседская составляющая (β_lag)	**0,047***** (0,018)	**−0,036*** (0,019)	**0,056**** (0,025)	0,015 (0,021)
Доля территориального фактора, %	**78 %**	**81 %**	**64 %**	—
Доля соседского эффекта, %	**22 %**	**19 %**	**36 %**	—

Примечание: в скобках указаны стандартные ошибки (SE). *** p < 0,001, ** p < 0,01, * p < 0,05.

Рисунок 3 - Разложение суммарного пространственного эффекта протестного голосования на составляющие (источник: разработано автором)

Обсуждение результатов исследования. Полученные результаты позволяют представить итоговую логику анализа в виде следующей последовательности: пространственная кластеризация → территориальные факторы → остаточный соседский эффект → возможная временная диффузия. Первый шаг этой цепочки — фиксация кластеров — выполнен с помощью LISA и подтверждён глобальным индексом Морана. Протестное голосование в Свердловской области не распределено случайно: оно образует компактные ареалы в крупных городах и депрессивных моногородах, тогда как лояльный электорат концентрируется в аграрных и горнозаводских районах.

Второй шаг — объяснение кластеризации территориальными факторами — показывает, что значительная часть выявленной пространственной неоднородности объясняется после учёта контрольных переменных.

Урбанизация, возраст и образование совместно объясняют около трети вариации протестного голосования, и их пространственное распределение во многом совпадает с картой LISA-кластеров. Это означает, что соседние участки голосуют сходным образом не столько потому, что избиратели влияют друг на друга через социальные сети или повседневное общение, сколько потому, что эти участки населены людьми с близкими социально-демографическими характеристиками. Данный вывод согласуется с предостережением Ли и Репкина (2022), которые показали, что модели без пространственных контролей систематически завышают роль регионального патриотизма.

Третий шаг — выделение остаточного соседского эффекта — представляет наибольший интерес. Даже после учёта всех доступных территориальных переменных коэффициент пространственного лага остаётся значимым и составляет 0,214. Косвенные эффекты, рассчитанные по методу Ле Сейджа и Пейса (2009), варьируют от 19 до 36 % суммарного воздействия в зависимости от переменной. Это свидетельствует о том, что часть электорального сходства между соседними территориями не сводится к их социальному составу и требует иных объяснений. Фьорино с соавторами (2021) в аналогичной ситуации для европейских регионов предположили, что переливы могут быть связаны с маятниковой миграцией, общими локальными медиа и повседневными социальными контактами, которые не улавливаются стандартными переписными показателями. Для Свердловской области таким каналом может выступать единое информационное пространство екатеринбургской агломерации, охватывающее города-спутники и пригородные посёлки.

Четвёртый шаг — проверка временной диффузии — в рамках настоящего исследования не реализован, поскольку анализ охватывает одну избирательную кампанию. Для корректного моделирования диффузии потребовались бы данные как минимум по трём-четырём последовательным кампаниям сопоставимого типа, что позволило бы связать результат территории в момент t с характеристиками соседних территорий в момент t−1. Это направление

составляет перспективу дальнейшей работы.

Историко-культурная граница между горнозаводской зоной и Зауральем заслуживает отдельного комментария. Её статистическая значимость после введения всех контролей указывает на то, что влияние культурного наследия территории не полностью сводится к текущим социально-экономическим условиям. Вместе с тем бинарная кодировка этой границы остаётся грубым приближением. Более точная формализация потребовала бы использования исторических карт расселения, данных о диалектных ареалах или о конфессиональном составе населения, что выходит за рамки доступных статистических источников.

Следует подчеркнуть ограничения исследования. Во-первых, привязка результатов к координатам УИК, а не к реальным границам избирательных участков вносит погрешность, особенно в сельской местности, где один участок может охватывать несколько населённых пунктов на расстоянии десятков километров. Во-вторых, все выводы носят экологический характер и не подлежат переносу на уровень индивидуального поведения. В-третьих, отсутствие данных о партийной идентификации и политическом участии на индивидуальном уровне не позволяет установить конкретные механизмы соседского влияния — будь то подражание, обсуждение политики в местных сообществах или совместный опыт экономических потрясений.

Тем не менее главный результат работы состоит в количественной оценке того, какая часть пространственной кластеризации электорального поведения объясняется социально-территориальной структурой, а какая сохраняется как самостоятельный пространственный эффект. Для Свердловской области доля территориальных и соседских факторов составляет приблизительно 75 и 25 % соответственно, что указывает на существенную, но не определяющую роль соседских связей. Дальнейшие исследования, опирающиеся на панельные данные по нескольким кампаниям и более детальную пространственную привязку, позволят уточнить эту пропорцию и выявить конкретные каналы

пространственного перелива электоральных предпочтений.

Выводы. Проведенное исследование убедительно демонстрирует, что электоральное поведение существенно зависит от географического контекста. Подтверждение фундаментального географического принципа в сфере политического участия требует отказа от упрощенных атрибутивных моделей. Как показали расчеты на материалах региональных и наднациональных кампаний, игнорирование пространственной зависимости неизбежно ведет к смещению оценок. Традиционные регрессионные подходы склонны завышать роль макрорегиональной идентичности, ошибочно принимая эффект соседства за чистое влияние территории. Применение моделей пространственной эконометрики позволяет учесть это искажение и выделить самостоятельное влияние географической среды на электоральное поведение.

Ключевым методологическим результатом работы стало строгое разделение территориальных и собственно соседских эффектов. Выявленные пространственные кластеры явки и партийных предпочтений лишь отчасти формируются за счет однородного социального состава смежных участков. Результаты пространственного моделирования свидетельствуют о наличии статистической связи между характеристиками территории и распределением электоральных предпочтений. Урбанизация, возрастная структура и образование соотносятся с пространственными различиями протестного голосования, тогда как сохранение пространственного лага после включения контрольных переменных указывает на неполное объяснение территориального сходства наблюдаемыми факторами.

Особого внимания заслуживает дифференцированная роль социально-экономических детерминант в зависимости от типа политического поведения. Если при формировании партийного выбора классические индикаторы благосостояния, такие как валовой региональный продукт или уровень безработицы, зачастую уступают по объяснительной силе культурным и возрастным факторам, то в вопросах мобилизации избирателей экономическая

среда выступает мощным катализатором. При этом демографическое старение связано с устойчивым смещением электоральных предпочтений в сторону консервативных политических сил. Более высокая поддержка традиционных политических сил среди старших возрастных групп способствует формированию территорий с устойчивыми особенностями партийных предпочтений.

Историко-культурные рубежи и институциональная среда также влияют на территориальные особенности голосования. Формализация исторических границ позволяет зафиксировать их самостоятельное влияние, не сводимое к текущей экономической конъюнктуре. Кроме того, фискальная политика местных властей может выступать для избирателей самостоятельным политическим сигналом. Сбалансированный бюджет привлекает сторонников консервативных сил, тогда как дефицитное финансирование социальных программ мобилизует оппозиционные группы. Подобные механизмы подчеркивают, что локальный контекст опосредует взаимодействие между обществом и институтами власти, превращая административные и культурные границы в реальные барьеры или, напротив, мосты для политического влияния.

Интерпретация полученных закономерностей требует учета фундаментальных ограничений пространственной эконометрики. Все выявленные паттерны носят экологический характер и не допускают прямого переноса на уровень индивидуального поведения избирателя. Кроме того, результаты чувствительны к проблеме модифицируемой единицы площади, что диктует необходимость проверки устойчивости моделей при изменении масштаба территориального агрегирования. Перспективным направлением дальнейших географических исследований является переход от статического анализа к пространственно-временному моделированию. Анализ панельных данных по серии последовательных кампаний позволит отследить реальную динамику диффузии политических предпочтений и выявить конкретные каналы, по которым электоральные шоки распространяются между соседними регионами, преодолевая формальные административные рубежи.

Список литературы

1. Кулецкая Л. Е., Демидова О. А., Семерикова Е. В. Пространственно-эконометрический подход к моделированию результатов выборов в России: муниципальный уровень // Экономика и математические методы. 2023. Т. 59. № 3. С. 137–148. DOI: 10.31857/S042473880024435-7.

2. Harteveld E., van der Brug W. Keeping Up With the Joneses? Neighbourhood Effects on the Vote // Political Studies. 2024. Vol. 72. No. 4. P. 1555–1571. DOI: 10.1177/00323217231204849.

3. Окунев И. Ю. Электоральная география. М.: Аспект Пресс, 2024. 312 с. ISBN 978-5-7567-1268-1.

4. Horan K., Brunsdon C., Domijan K. A Multilevel Spatial Model to Investigate Voting Behaviour in the 2019 UK General Election // Applied Spatial Analysis and Policy. 2024. Vol. 17. P. 703–727. DOI: 10.1007/s12061-023-09563-6.

5. Чернецкий Ф. М. «Эффект друзей и соседей»: 75 лет электорально-географических исследований // Социологическое обозрение. 2025. Т. 24. № 1. С. 357–389. DOI: 10.17323/1728-192X-2025-1-357-389.

6. Fremerey M., Hörnig L., Schaffner S. Becoming Neighbors with Refugees and Voting for the Far-Right? The Impact of Refugee Inflows at the Small-Scale Level // Labour Economics. 2024. Vol. 86. Art. 102467. DOI: 10.1016/j.labeco.2023.102467.

7. Матерухин И. А. Пространственный анализ динамики электоральной структуры России // Terra Politica. 2025. № 1. С. 142–156. DOI: 10.63115/6411.2025.95.87.010.

8. Granö S. Divided We Abstain: Testing the Effect of Local Income Inequality on Individual-Level Turnout Using Norwegian Administrative Panel Data // Electoral Studies. 2024. Vol. 92. Art. 102852. DOI: 10.1016/j.electstud.2024.102852.

9. Елагин С. А., Окунев И. Ю. Атлас электоральной географии Российской Федерации. 1991–2024. М.: Издательский дом МГИМО; Аспект Пресс, 2025. 398 с. DOI: 10.63861/2995-3.

10. Krashinsky H. Does a Voter's Decision to Sit Out an Election Depend upon Where

Others Stand? Some Quasi-Experimental Evidence on the Effect of Local Concentrations of Voters and Electoral Competitiveness on Voting Participation // Electoral Studies. 2024. Vol. 92. Art. 102864. DOI: 10.1016/j.electstud.2024.102864.

11. Окунев И. Ю., Полякова Я. О. Анализ результатов парламентских выборов в странах ближнего зарубежья России с помощью метода многомерного шкалирования // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2025. № 4. С. 45–52. DOI: 10.17308/geo/1609-0683/2025/4/45-52.

12. Ünsal Ö., Dincer Ş. E. A Study on Geographical Context and Voting Preferences: Exploring the Relationships between the 2018 Parliamentary Elections and Influencing Determinants in Istanbul (Türkiye) Using Local Spatial Modelling // Cities. 2025. Vol. 158. Art. 105660. DOI: 10.1016/j.cities.2024.105660.

13. Rickardsson J. Exposure to Refugee Camps and Voting Behavior: A Spatial Analysis // Journal of Population Economics. 2025. Vol. 38. Art. 49. DOI: 10.1007/s00148-025-01103-5.

14. Fernández García T., Gutierrez-Posada D., Rubiera Morollón F., Torre A. Liberté, Égalité, Fraternité? The Role of Spatial Inequalities in Understanding the Determinants of the Populist Vote in the 2022 French Presidential Election // Spatial Economic Analysis. 2025. DOI: 10.1080/17421772.2025.2517698.

15. Granö S., Bergh J. Does Local Context Matter for Individual Level Turnout? Analysing the Effect of the Social Context in the Neighbourhood, in Norwegian Elections // Journal of Elections, Public Opinion and Parties. 2025. DOI: 10.1080/17457289.2025.2549116.

16. Loup R., Bavaud F. Spatial Autocorrelation of Political Opinions: A Kernel Approach // Journal of Geographical Systems. 2026. Vol. 28. P. 77–103. DOI: 10.1007/s10109-025-00463-6.

17. Pasaribu E., Naomi E. E., Kusuma A. C., Parulian F. E. D. Spatial Analysis of Indonesia’s 2019 Provincial Voter Turnout Using Geographically Weighted Regression // ZERO: Jurnal Sains, Matematika dan Terapan. 2026. Vol. 10. No. 1. P.

328–340. DOI: 10.30829/zero.v10i1.28152.

References

1. Kuleczkaya L. E., Demidova O. A., Semerikova E. V. Prostranstvenno-e`konometricheskij podxod k modelirovaniyu rezul`tatov vy`borov v Rossii: municipal`ny`j uroven` // E`konomika i matematicheskie metody`. 2023. T. 59. № 3. S. 137–148. DOI: 10.31857/S042473880024435-7.

2. Harteveld E., van der Brug W. Keeping Up With the Joneses? Neighbourhood Effects on the Vote // Political Studies. 2024. Vol. 72. No. 4. P. 1555–1571. DOI: 10.1177/00323217231204849.

3. Okunev I. Yu. E`lektoral`naya geografiya. M.: Aspekt Press, 2024. 312 s. ISBN 978-5-7567-1268-1.

4. Horan K., Brunsdon C., Domijan K. A Multilevel Spatial Model to Investigate Voting Behaviour in the 2019 UK General Election // Applied Spatial Analysis and Policy. 2024. Vol. 17. P. 703–727. DOI: 10.1007/s12061-023-09563-6.

5. Cherneczkij F. M. «E`ffekt druzej i sosedej»: 75 let e`lektoral`no-geograficheskix issledovanij // Sociologicheskoe obozrenie. 2025. T. 24. № 1. S. 357–389. DOI: 10.17323/1728-192X-2025-1-357-389.

6. Fremerey M., Hörnig L., Schaffner S. Becoming Neighbors with Refugees and Voting for the Far-Right? The Impact of Refugee Inflows at the Small-Scale Level // Labour Economics. 2024. Vol. 86. Art. 102467. DOI: 10.1016/j.labeco.2023.102467.

7. Materuxin I. A. Prostranstvenny`j analiz dinamiki e`lektoral`noj struktury` Rossii // Terra Politica. 2025. № 1. S. 142–156. DOI: 10.63115/6411.2025.95.87.010.

8. Granö S. Divided We Abstain: Testing the Effect of Local Income Inequality on Individual-Level Turnout Using Norwegian Administrative Panel Data // Electoral Studies. 2024. Vol. 92. Art. 102852. DOI: 10.1016/j.electstud.2024.102852.

9. Elagin S. A., Okunev I. Yu. Atlas e`lektoral`noj geografii Rossijskoj Federacii. 1991–2024. M.: Izdatel`skij dom MGIMO; Aspekt Press, 2025. 398 s. DOI: 10.63861/2995-3.

10. Krashinsky H. Does a Voter's Decision to Sit Out an Election Depend upon Where

Others Stand? Some Quasi-Experimental Evidence on the Effect of Local Concentrations of Voters and Electoral Competitiveness on Voting Participation // Electoral Studies. 2024. Vol. 92. Art. 102864. DOI: 10.1016/j.electstud.2024.102864.

11. Okunev I. Yu., Polyakova Ya. O. Analiz rezul`tatov parlamentskix vy`borov v stranax blizhnego zarubezh`ya Rossii s pomoshh`yu metoda mnogomernogo shkalirovaniya // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoe`kologiya. 2025. № 4. S. 45–52. DOI: 10.17308/geo/1609-0683/2025/4/45-52.

12. Ünsal Ö., Dincer Ş. E. A Study on Geographical Context and Voting Preferences: Exploring the Relationships between the 2018 Parliamentary Elections and Influencing Determinants in Istanbul (Türkiye) Using Local Spatial Modelling // Cities. 2025. Vol. 158. Art. 105660. DOI: 10.1016/j.cities.2024.105660.

13. Rickardsson J. Exposure to Refugee Camps and Voting Behavior: A Spatial Analysis // Journal of Population Economics. 2025. Vol. 38. Art. 49. DOI: 10.1007/s00148-025-01103-5.

14. Fernández García T., Gutierrez-Posada D., Rubiera Morollón F., Torre A. Liberté, Égalité, Fraternité? The Role of Spatial Inequalities in Understanding the Determinants of the Populist Vote in the 2022 French Presidential Election // Spatial Economic Analysis. 2025. DOI: 10.1080/17421772.2025.2517698.

15. Granö S., Bergh J. Does Local Context Matter for Individual Level Turnout? Analysing the Effect of the Social Context in the Neighbourhood, in Norwegian Elections // Journal of Elections, Public Opinion and Parties. 2025. DOI: 10.1080/17457289.2025.2549116.

16. Loup R., Bavaud F. Spatial Autocorrelation of Political Opinions: A Kernel Approach // Journal of Geographical Systems. 2026. Vol. 28. P. 77–103. DOI: 10.1007/s10109-025-00463-6.

17. Pasaribu E., Naomi E. E., Kusuma A. C., Parulian F. E. D. Spatial Analysis of Indonesia’s 2019 Provincial Voter Turnout Using Geographically Weighted Regression // ZERO: Jurnal Sains, Matematika dan Terapan. 2026. Vol. 10. No. 1. P.

328–340. DOI: 10.30829/zero.v10i1.28152.

Статья поступила в редакцию 09.04.2026; одобрена после рецензирования 08.05.2026; принята к публикации 30.08.2026.

The article was submitted 09.04.2026; approved after peer review 08.05.2026; accepted for publication 30.08.2026.

Научная статья

УДК 911.3:338.48:502.131.1:528.9

МОБИЛЬНОЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ И ГИС-АНАЛИЗ В ОЦЕНКЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ДИНАМИКИ РЕКРЕАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ НА ОСОБО ОХРАНЯЕМУЮ ПРИРОДНУЮ ТЕРРИТОРИЮ

Ушницкая Лена Алексеевна, кандидат географических наук, сотрудник лаборатории, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Россия, Якутск, ushnitskaia_l@rambler.ru

Аннотация. Традиционные подходы к расчету рекреационной емкости особо охраняемых природных территорий, базирующиеся на усредненных нормативах посещаемости, не учитывают реальную пространственно-временную динамику освоения ландшафтов. В работе представлена методика оценки фактической антропогенной нагрузки, основанная на интеграции данных пассивного мобильного позиционирования (CDR), геометок и результатов геоинформационного моделирования ландшафтной чувствительности. С применением метода оценки ядерной плотности на примере Прибайкальского национального парка выявлены скрытые закономерности перемещения посетителей, включая стихийное тропинообразование и формирование несанкционированных зон кемпинга в уязвимых экотопах. Установлено, что пиковые концентрации цифровых следов часто не совпадают с официальными маршрутами и приходятся на участки с высоким риском эрозии и деградации почвенного покрова. Построена матрица рассогласования, демонстрирующая критическое превышение нормативных порогов устойчивости в лесостепных и прибрежно-дюнных ландшафтах. Доказано, что телекоммуникационные данные не заменяют полевые экологические показатели, но позволяют пространственно уточнять оценку антропогенной нагрузки. Результаты исследования обосновывают необходимость перехода от жесткого лимитирования потоков к

адаптивному территориальному зонированию и перепланированию инфраструктуры, позволяющему нивелировать конфликт между фактическим поведением рекреантов и нормативами устойчивости биогеоценозов.

Ключевые слова: рекреационная нагрузка; особо охраняемые природные территории; мобильное позиционирование; геоинформационный анализ; ландшафтная чувствительность; пространственная доступность.

Original article

SPATIO-TEMPORAL ASSESSMENT OF RECREATIONAL LOAD ON A SPECIALLY PROTECTED NATURAL AREA BASED ON MOBILE POSITIONING AND GEOINFORMATION ANALYSIS DATA

Ushnitskaia Lena Alekseevna, Candidate of Geographical Sciences, Laboratory Researcher, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia, ushnitskaia_l@rambler.ru

Abstract. Traditional approaches to calculating the recreational capacity of specially protected natural areas, based on average attendance standards, do not take into account the real spatiotemporal dynamics of landscape development. The paper presents a methodology for assessing the actual anthropogenic load through the integration of passive mobile positioning arrays (CDR), geomarkers and geoinformation modeling of landscape sensitivity. Using the method of estimating nuclear density using the example of the Pribaikalsky National Park, hidden patterns of visitor movement were identified, including spontaneous path formation and the formation of unauthorized camping areas in vulnerable ecotopes. It has been established that peak concentrations of digital traces often do not coincide with official routes and occur in areas with a high risk of erosion and soil degradation. A mismatch matrix has been constructed demonstrating a critical excess of standard stability thresholds in forest-steppe and coastal-dune landscapes. It has been proven that telecommunication data does not replace field environmental indicators, but acts as a

high-precision tool for spatial calibration of anthropogenic pressure. The results of the study substantiate the need for a transition from strict flow restrictions to adaptive territorial zoning and infrastructure redesign, which makes it possible to level out the conflict between the actual behavior of recreationists and standards for the sustainability of biogeocenoses.

Keywords: recreational pressure; protected areas; mobile positioning; geographic information analysis; landscape sensitivity; spatial accessibility.

Введение. Современная рекреационная география переживает этап глубокой методологической перестройки, обусловленной появлением массивов цифровых следов. Если ранее пространственное поведение отдыхающихся изучалось преимущественно посредством ретроспективных опросов и точечных наблюдений [1], то сегодня на первый план выходит непрерывный мониторинг перемещений [2]. Подобный сдвиг позволяет рассматривать рекреационную деятельность как динамичный процесс освоения территории, где каждый визит оставляет объективный след в телекоммуникационных сетях [3]. Переход от субъективных оценок к объективным массивам данных кардинально меняет представление о том, как именно человек взаимодействует с окружающей средой в условиях дикой природы или рекреационных зон [4].

В этих условиях подходы к оценке рекреационной емкости особо охраняемых природных территорий требуют пересмотра. Уникальные ландшафты обладают ограниченной устойчивостью к антропогенной нагрузке, однако традиционный подход, сводящий емкость к некому предельному числу посетителей, признан несостоятельным. Ключевое значение имеют не общие объемы потока, а его пространственная концентрация и временная динамика [5], [6]. Именно неравномерное распределение гостей по акватории или лесным массивам, наложение пиковых нагрузок на уязвимые экотопы формируют реальные угрозы биоразнообразию и снижают качество отдыха посетителей [7]. Понимание этих процессов требует отказа от усредненных нормативов в пользу

детального анализа того, где, когда и каким образом формируется давление на экосистемы.

Для фиксации подобных скрытых закономерностей геоинформационное моделирование все чаще опирается на данные пассивного мобильного позиционирования. Записи деталей вызовов, формируемые операторами сотовой связи, предоставляют исследователям обширный массив данных, охватывающий значительную долю пользователей [8]. Применение таких массивов позволяет с высокой точностью выделять эпизоды посещения, различать транзитные перемещения и целенаправленный отдых, а также дифференцировать однодневные поездки от многодневных. Интеграция этих сведений с геоинформационными системами позволяет картировать фактические маршруты, выявлять зоны чрезмерной рекреационной нагрузки и оценивать пропускную способность тропинных сетей и видовых площадок [9].

Опора на телекоммуникационные данные требует переосмысления самих подходов к управлению посещаемостью. На смену жестким лимитам приходит адаптивная система, где пороговые значения экологических и социальных показателей служат основанием для принятия управленческих решений [10]. В рамках экономической и рекреационной географии это означает переход к адресному регулированию потоков и зонированию территорий [11]. Настоящее исследование посвящено разработке методики пространственно-временного анализа антропогенного прессинга на примере особо охраняемых природных территорий, где синтез телекоммуникационной статистики и методов геопространственного моделирования выступает инструментом для принятия обоснованных природоохранных и инфраструктурных решений.

Обзор литературы. Современные исследования в области рекреационной географии все чаще опираются на анализ массивов цифровых следов. Если ранее пространственное поведение отдыхающихся изучалось преимущественно посредством ретроспективных опросов и точечных полевых наблюдений, то сегодня на первый план выходит непрерывный мониторинг перемещений.

Подобный сдвиг позволяет рассматривать рекреационную деятельность как динамичный процесс освоения территории, где каждый визит оставляет объективный след в телекоммуникационных сетях. Переход от субъективных оценок к объективным массивам данных кардинально меняет представление о том, как именно человек взаимодействует с окружающей средой в условиях дикой природы [12-14].

В этих условиях проблема оценки антропогенного воздействия на особо охраняемые природные территории приобретает новое звучание. Уникальные ландшафты обладают ограниченным потенциалом к поглощению рекреационных нагрузок, однако традиционный подход, сводящий рекреационную емкость к некому предельному числу посетителей, признан несостоятельным. Ключевое значение приобретают не общие объемы потока, а его пространственная концентрация и временная ритмичность [15]. Именно неравномерное распределение гостей по лесным массивам и акваториям, наложение пиковых нагрузок на уязвимые экотопы формирует реальные угрозы биоразнообразию. Понимание этих процессов требует отказа от усредненных нормативов в пользу детального анализа того, где, когда и каким образом формируется давление на экосистемы.

Зарубежные и отечественные исследования последних лет убедительно демонстрируют, что концепция рекреационной емкости эволюционировала от поиска единого математического лимита к созданию адаптивных систем управления посетителями [16-18]. Современные научные работы показывают, что устойчивое развитие охраняемых территорий зависит не от жесткого ограничения числа туристов, а от непрерывного мониторинга индикаторов состояния среды и своевременного управленческого реагирования. При этом использование данных пассивного мобильного позиционирования открывает беспрецедентные возможности для фиксации скрытых закономерностей пространственного поведения. Записи деталей вызовов, фиксируемые операторами сотовой связи, предоставляют исследователям выборку,

охватывающую значительную долю реальных пользователей, позволяя с высокой точностью выделять эпизоды посещения и дифференцировать транзитные перемещения от целенаправленного отдыха.

Тем не менее, опора исключительно на телекоммуникационные данные содержит фундаментальное ограничение: цифровые следы фиксируют факт присутствия человека, но не измеряют непосредственно экологический ущерб. Сто человек на оборудованной смотровой площадке и сто человек на чувствительном болотном участке создают принципиально разные последствия для ландшафта. В связи с этим назрела необходимость интеграции данных мобильного позиционирования с геоинформационными моделями ландшафтной чувствительности. Настоящее исследование посвящено разработке методики пространственно-временного анализа фактической рекреационной нагрузки, где синтез телекоммуникационной статистики, геомаркированных сообщений и моделей экологического зонирования выступает инструментом для выявления зон потенциальной деградации и принятия обоснованных природоохранных решений.

Материалы и методы исследования. В работе рассматривается геоинформационная схема оценки пространственно-временного распределения рекреационной нагрузки в пределах центрального участка Прибайкальского национального парка. Предлагаемый подход предполагает использование обезличенных агрегированных данных мобильного позиционирования, записей о посещаемости контрольных пунктов и пространственных характеристик ландшафтной чувствительности. Для обработки данных применяется регулярная гексагональная сетка H3 с ориентировочной площадью ячейки 0,74 км² и часовая временная агрегация.

Информационную базу работы составили три принципиально различных массива данных, выполняющих взаимодополняющие функции. Первичным источником количественной оценки потоков послужили анонимизированные записи деталей вызовов (Call Detail Records, CDR) одного из крупнейших

операторов сотовой связи, охватывающие период с января 2022 по декабрь 2023 года. Пространственное разрешение данных было агрегировано до гексагональной сетки H3 (разрешение 8, площадь ячейки примерно 0,74 кв. км), временное разрешение составило один час. Важно подчеркнуть, что сырые телекоммуникационные данные не могут использоваться напрямую без тщательной фильтрации. Первичная фильтрация данных должна учитывать особенности работы базовых станций сотовой связи, неодинаковую плотность их размещения, возможное перемещение пользователей между соседними зонами регистрации без фактического изменения местоположения, а также различия частоты появления записей для отдельных устройств. Дополнительное ограничение связано с невозможностью непосредственно отождествлять одно зарегистрированное мобильное устройство с одним посетителем национального парка. Для выделения именно рекреационных визитов применялся временной порог, установленный на основе анализа временной структуры присутствия: эпизоды активности длительностью менее четырех часов вне транзитных коридоров классифицировались как однодневные рекреационные выезды, тогда как наличие ночных сигналов в пределах одной ячейки сетки позволяло идентифицировать туристов с ночевкой.

Второй источник данных — геометки из открытых социальных сетей и фотобанков за аналогичный временной период. Данный массив не использовался для расчета объемов потоков, поскольку выборка пользователей социальных сетей систематически смещена в сторону более молодых и активных туристов, что не отражает реальную демографическую структуру посетителей. Вместо этого геометки использовались для качественной классификации видов активности и уточнения мест притяжения посетителей. Анализ текстов и изображений, привязанных к координатам, позволил идентифицировать неформальные локации, такие как стихийные места для кемпинга, неформальные тропы и скрытые смотровые площадки, которые не зафиксированы в официальных картографических материалах.

Третьим компонентом, критически важным для оценки репрезентативности, стали данные калибровки. Для корректировки коэффициента проникновения сотовой связи и уточнения интенсивности потоков привлекались данные с автоматических инфракрасных счетчиков посетителей, установленных на ключевых официальных тропах, а также сведения из систем бронирования локальных средств размещения. Сопоставление этих независимых источников с агрегированными данными CDR позволило рассчитать поправочные коэффициенты для различных типов ландшафтов и сезонов.

В исследовании применялись методы геоинформационного анализа. Для выявления пространственных концентраций посетителей применялась оценка ядерной плотности (Kernel Density Estimation, KDE), позволяющая сгладить дискретные точки регистрации сигналов и построить непрерывную поверхность рекреационной нагрузки. Для разграничения факта посещения и оценки его потенциальных экологических последствий была разработана модель ландшафтной чувствительности. Территория была стратифицирована на классы устойчивости к рекреационному воздействию на основе анализа цифровых моделей рельефа, почвенных контуров, типов растительного покрова и удаленности от водных объектов. Итоговый этап анализа включал пространственное наложение карт фактической нагрузки (полученных методом KDE) на карту ландшафтной чувствительности, что позволило выявить зоны рассогласования, где интенсивность посещения превышает нормативные пороги устойчивости конкретного биогеоценоза.

Результаты исследования и их обсуждение. В рассматриваемой аналитической схеме пространственно-временное распределение мобильных регистраций используется для выделения зон потенциальной концентрации рекреационной активности. Гексагональная сетка с площадью ячейки порядка 0,74 км² позволяет характеризовать различия нагрузки между территориальными участками, но не обеспечивает пространственного разрешения, достаточного для

идентификации отдельной неофициальной тропы или маршрута обхода оборудованного настила. Такие объекты могут быть установлены только при наличии дополнительного GPS-трекинга, натурного обследования или материалов дистанционного зондирования соответствующего разрешения. Как показывает концептуальная модель временной динамики (Рисунок 1), в летний период доминируют дневные визиты в прибрежную зону, тогда как в зимние месяцы структура потоков смещается в сторону многодневных пребываний на ледовом пространстве, что формирует принципиально иную картину антропогенного воздействия.

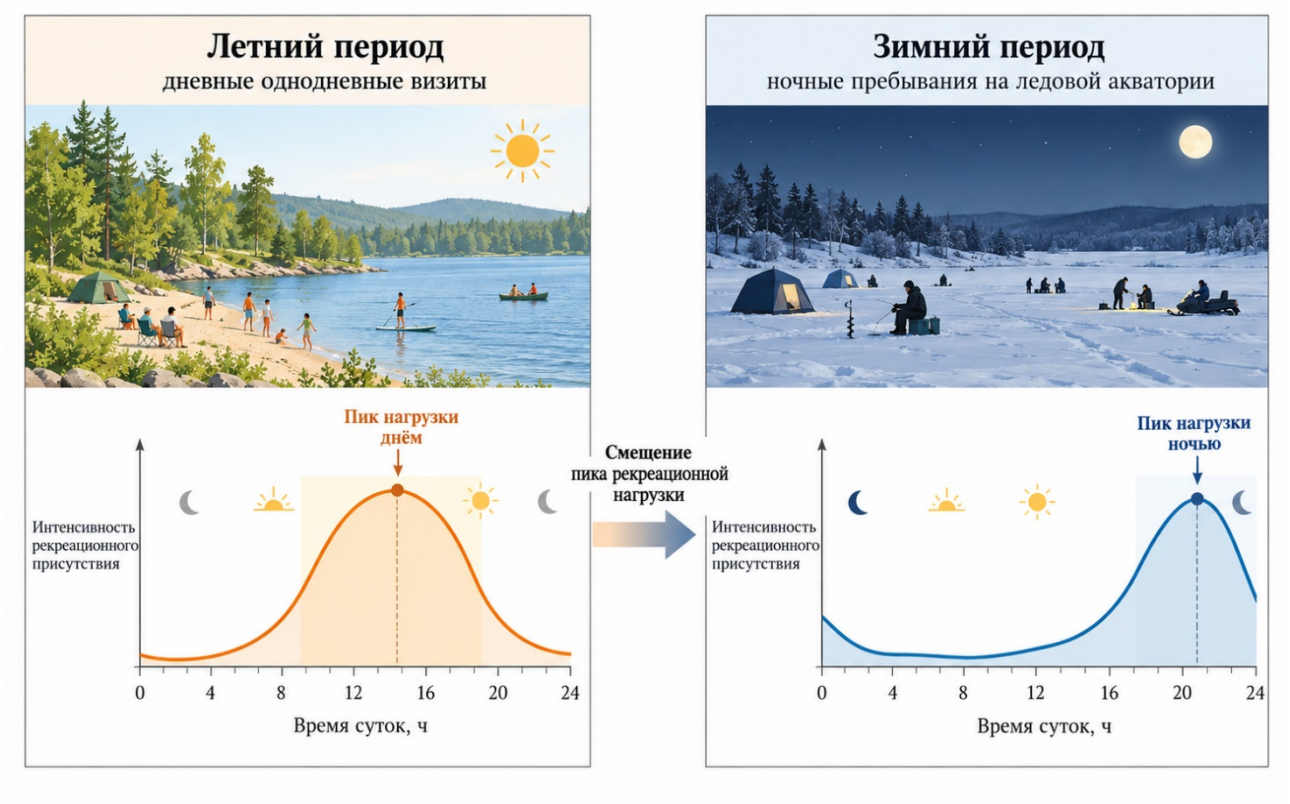


Рисунок 1 - Сезонно-суточная пульсация рекреационного присутствия на исследуемой территории (источник: разработано автором)

Анализ пространственного распределения потоков методом ядерной плотности демонстрирует высокую концентрацию посетителей в окрестностях популярных бухт и устьев рек. Однако наиболее интересный географический результат заключается в выявлении линейных кластеров высокой плотности сигналов, не совпадающих с официальной сетью троп. Пространственный анализ этих линейных структур (Рисунок 2) показывает, что они формируются в обход

оборудованных маршрутов, проникая в глубь лесных массивов и на крутые склоны.

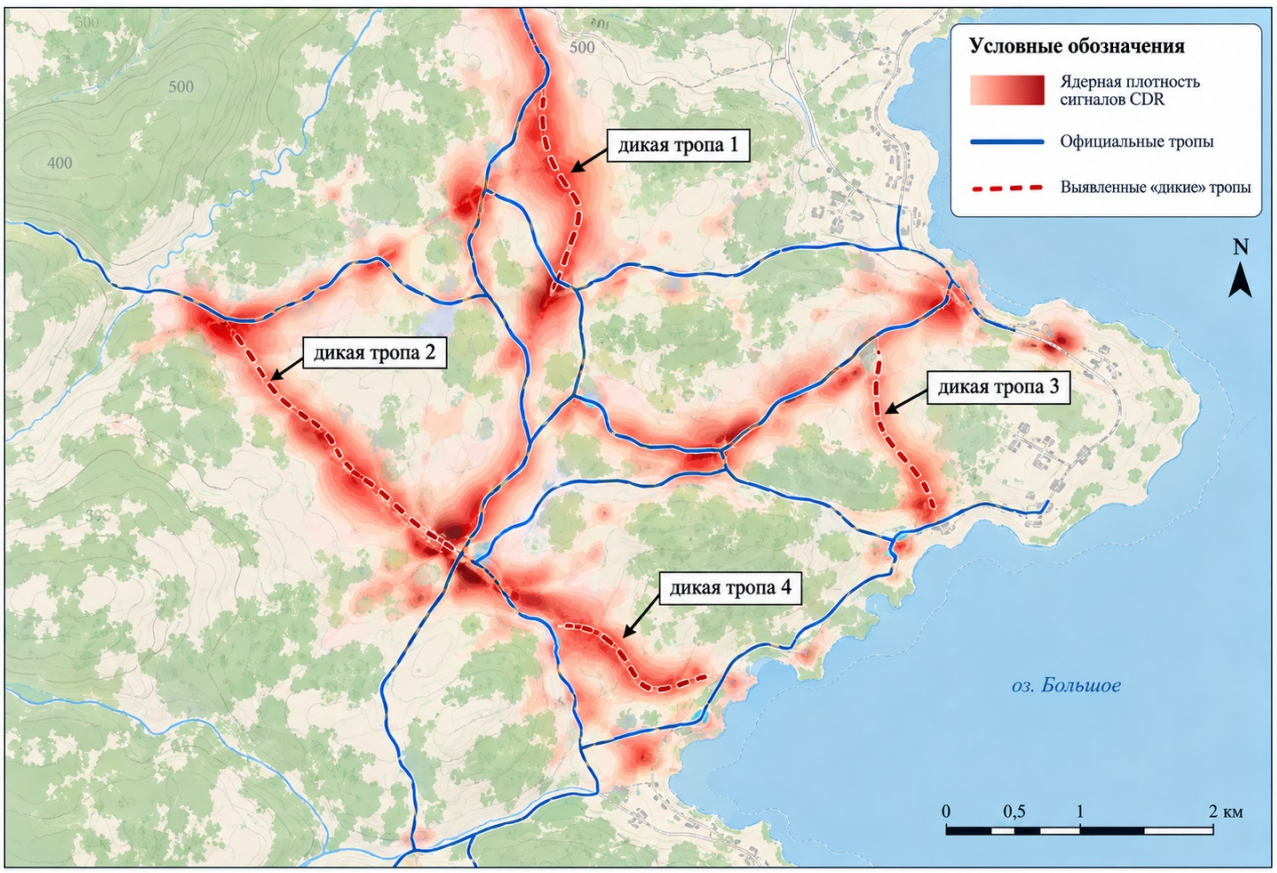


Рисунок 2 - Выявление несанкционированной линейной инфраструктуры (источник: разработано автором)

Стихийное формирование тропинной сети подтверждается не только телекоммуникационными данными, но и анализом геомарокеров. Пользователи социальных сетей фиксируют эти маршруты как «секретные» или «нехоженые» тропы, что указывает на целенаправленный поиск туристами уединения, парадоксальным образом ведущий к деградации ранее ненарушенных участков. Обнаруженные стихийные тропы часто проложены по склонам с углом наклона более 15 градусов, где отсутствие дернового покрова и рыхлые почвы делают их крайне уязвимыми к водной эрозии, инициируемой самими рекреантами.

Особого внимания заслуживает проблема несанкционированного кемпинга. Данные CDR четко разделяют посетителей на транзитных, дневных и остающихся на ночевку. Ночные кластеры сигналов вдали от официальных

стоянок и населенных пунктов указывают на наличие стихийных палаточных лагерей. Пространственный анализ показывает, что стихийные кемпинги тяготеют к первым террасам над поймой рек и защищенным от ветра участкам побережья, которые одновременно являются местами гнездования ряда видов птиц и произрастания реликтовых растительных сообществ.

Ключевым результатом работы стало сопоставление фактической рекреационной нагрузки с нормативными порогами ландшафтной чувствительности. Матрица рассогласования (Таблица 1) наглядно демонстрирует, что максимальная интенсивность посещения приходится на наиболее доступные и визуально привлекательные участки, однако именно в зонах с высокой и средней чувствительностью фиксируется критическое превышение допустимых нормативов.

Таблица 1 - Матрица соответствия фактической рекреационной нагрузки и ландшафтной чувствительности территорий

Класс ландшафтной чувствительности	Характеристика экотопа	Фактическая интенсивность посещения (по данным CDR)	Оценка соответствия нормативным порогам
Низкая	Скальные прибрежные участки, галечниковые пляжи	Очень высокая	Нагрузка находится в пределах нормативов устойчивости
Средняя	Зрелые хвойные леса с устойчивым почвенным покровом	Умеренная	Соответствие нормативам, локальные очаги уплотнения почвы
Высокая	Лесостепные участки, рыхлые почвы, склоны >15°	Высокая	Критическое превышение, формирование эрозионных рытвин
Критическая	Прибрежные дюны, влажные луга, места гнездования	Умеренно высокая	Превышение порогов, риск деградации растительного покрова

Источник: разработано автором.

Полученные данные вступают в противоречие с упрощенным представлением о том, что туристы концентрируются исключительно на

оборудованных площадках. Геоинформационный анализ показывает, что цифровые следы отражают фактическое, зачастую неупорядоченное использование территории. Например, участки с высокой ландшафтной чувствительностью (лесостепные экотоны) испытывают значительную нагрузку со стороны однодневных посетителей, собирающих ягоды и грибы, тогда как скальные массивы, обладающие низкой чувствительностью, выдерживают многократное превышение физической емкости без необратимых экологических последствий.

Обсуждение результатов требует обращения к концепциям адаптивного управления. Выявленные зоны рассогласования между фактическим присутствием людей и устойчивостью ландшафтов не могут быть устранены простым запретом доступа, что на практике лишь переводит потоки в еще более уязвимые и труднодоступные места. Результаты исследования указывают на необходимость точечного инфраструктурного вмешательства. В зонах, где стихийные тропы пересекают чувствительные почвы, требуется строительство настилов и лестниц, концентрирующих поток и предотвращающих эрозию. В местах стихийного кемпинга на уязвимых дюнах эффективным инструментом выступает целенаправленное информирование и перенаправление потоков через управление точками притяжения.

Важно отметить, что предложенный методологический подход не подменяет собой полевые экологические исследования. Цифровые следы не измеряют степень уплотнения почвы или потери биомассы напрямую. Однако они служат инструментом раннего выявления проблемных зон и их пространственной локализации. Указывая менеджменту территорий точные координаты, где фактическое поведение туристов вступает в конфликт с экологическими ограничениями, геоинформационный анализ на основе мобильного позиционирования позволяет оптимизировать работу полевых бригад и распределять ограниченные ресурсы охраны парка максимально эффективно.

Проведенное исследование демонстрирует, что интеграция данных пассивного мобильного позиционирования, геомаркированных сообщений и геоинформационного моделирования ландшафтной чувствительности представляет собой мощный инструмент для пространственно-временной оценки рекреационной нагрузки. Отказ от трактовки рекреационной емкости как фиксированного числового показателя в пользу анализа соответствия фактических потоков устойчивости конкретных экотопов позволяет перейти от описательного картографирования к обоснованному выявлению зон потенциальной деградации.

Выявленная пространственная пульсация потоков, формирование стихийной тропинной сети и несанкционированных мест кемпинга требуют пересмотра подходов к территориальному планированию особо охраняемых природных территорий. Управление рекреацией должно базироваться на непрерывном мониторинге цифровых следов, калиброванных данными полевых наблюдений, что обеспечивает переход к адаптивным стратегиям природопользования. Дальнейшие исследования в данной области целесообразно направить на разработку прогностических моделей, способных предсказывать смещение рекреационных потоков в ответ на изменение инфраструктурных или природно-климатических факторов.

Выводы. Проведенное исследование демонстрирует, что интеграция массивов пассивного мобильного позиционирования с методами геоинформационного моделирования позволяет перевести оценку антропогенного воздействия из плоскости абстрактных лимитов посещаемости в категорию точного пространственно-временного мониторинга. Выявленная нами картина фактического освоения территории вступает в прямое противоречие с традиционными схемами статичного зонирования. Туристские потоки формируют сложную сеть стихийных маршрутов и точек концентрации, которые редко совпадают с официально утвержденной инфраструктурой. Следовательно, управление рекреацией на особо охраняемых природных

территориях требует отказа от поиска единого предельного числа посетителей в пользу адаптивного регулирования, основанного на непрерывном отслеживании индикаторов состояния ландшафтов.

Фундаментальным инструментом пространственного регулирования в этих условиях выступает переход к концепции допустимых изменений, где пороговые значения экологической устойчивости служат триггером для управленческих решений. Матрица рассогласования, построенная в ходе работы, наглядно доказывает, что максимальная плотность сигналов сотовых сетей часто фиксируется на участках с высокой ландшафтной чувствительностью. Для нивелирования этого дисбаланса предлагается внедрение системы динамического зонирования. В отличие от жесткого закрепления границ рекреационных зон на карте, динамическое зонирование предполагает сезонную и ситуативную корректировку доступности участков. Выявленные зимние кластеры активности на ледовой акватории или летние концентрации в прибрежных дюнах требуют оперативного закрытия или перенаправления потоков в периоды, когда биогеоценозы наиболее уязвимы к физическому воздействию.

Другим действенным механизмом оптимизации пространственной структуры туризма является инфраструктурное перепроектирование, опирающееся на данные о стихийном тропинообразовании. Анализ линейных кластеров ядерной плотности показал, что посетители целенаправленно избегают оборудованных настилов, прокладывая пути по крутым склонам и уязвимым почвенным профилям. Простое административное запрещение таких перемещений на практике лишь смещает нагрузку в еще более труднодоступные и экологически хрупкие места. Географически обоснованным решением здесь выступает легализация и инженерное обустройство наиболее востребованных стихийных маршрутов с одновременным восстановлением закрытых участков. Такой подход переводит хаотичное освоение пространства в управляемое русло, снижая риски водной эрозии и деградации растительного покрова.

Не менее важное значение для пространственного регулирования имеет временная дифференциация потоков, доступная благодаря высокочастотному разрешению телекоммуникационных данных. Разделение посетителей на транзитных, дневных и остающихся с ночевкой позволяет применять точечные инструменты управления. Для территорий, испытывающих пиковые нагрузки в светлое время суток, эффективным инструментом выступает регулирование пропускной способности транспортных узлов и введение квот на въезд. В зонах стихийного кемпинга, идентифицированных по ночным кластерам сигналов, целесообразно создавать альтернативные оборудованные стоянки на участках с низкой экологической чувствительностью, тем самым перераспределяя антропогенную нагрузку без полного ограничения.

Формирование комплексной системы управления посещениями, базирующейся на больших данных, требует выстраивания непрерывной цепи «индикатор – стандарт – мониторинг – действие». Цифровые следы, оставляемые мобильными устройствами, не заменяют собой полевые экологические исследования, но выполняют роль системы раннего пространственного оповещения. Они указывают менеджменту точные координаты, где фактическое поведение рекреантов вступает в конфликт с нормативами устойчивости. Интеграция этих сведений с полевыми показателями уплотнения почвы, вытоптанности и изменения видового состава флоры позволяет калибровать модели нагрузки и своевременно запускать адаптивные процедуры, предотвращая необратимую деградацию экотопов.

Таким образом, геоинформационный анализ мобильного позиционирования трансформирует саму логику рекреационного природопользования. Пространственное регулирование туризма перестает быть исключительно нормативным актом и становится непрерывным географическим процессом адаптации инфраструктуры и управленческих решений к реальной, постоянно меняющейся картине освоения территории. Это обеспечивает переход от реактивного устранения последствий чрезмерной нагрузки к проактивному

формированию устойчивой пространственной структуры рекреационных территорий, где сохранение экологического каркаса достигается через грамотное направление и концентрацию антропогенных потоков в зонах, способных их ассимилировать.

Список литературы

1. Kim J. Y., Kubo T., Nishihiro J. Mobile Phone Data Reveals Spatiotemporal Recreational Patterns in Conservation Areas During the COVID Pandemic // Scientific Reports. 2023. Vol. 13. Art. 20282. DOI: 10.1038/s41598-023-47326-y.

2. Калихман А. Д., Калихман Т. П. Оценка посетительских нагрузок и предельно допустимые нормы в Прибайкальском национальном парке // География и природные ресурсы. 2024. Т. 45. № 1. С. 164–177. DOI: 10.15372/GIPR20240116.

3. Tsai W.-L., Merrill N. H., Neale A. C., Grupper M. Using Cellular Device Location Data to Estimate Visitation to Public Lands: Comparing Device Location Data to U.S. National Park Service’s Visitor Use Statistics // PLOS ONE. 2023. Vol. 18. No. 11. Art. e0289922. DOI: 10.1371/journal.pone.0289922.

4. Макарова В. Н., Зашкина Д. С., Исаева И. В. Учет поправочных факторов для предотвращения деградации природной среды при расчете рекреационной емкости на особо охраняемых природных территориях // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета. 2023. Т. 15. № 1. С. 76–86. DOI: 10.24866/VVSU/2949-1258/2023-1/076-086.

5. Whitney P., Rice W. L., Sage J., Thomsen J. M., Wheeler I., Freimund W., Bigart E. Developments in Big Data for Park Management: A Review of Mobile Phone Location Data for Visitor Use Management // Landscape Research. 2023. Vol. 48. No. 6. P. 758–776. DOI: 10.1080/01426397.2023.2198762.

6. Андреева И. В., Пузанов А. В., Самбыла Ч. Н. Сценарии реализации нормирования рекреационных нагрузок на ООПТ на примере памятника природы «Озеро Дус-Холь» (Тыва) // География и природные ресурсы. 2024. № 2. С. 137–143. DOI: 10.15372/GIPR20240214.

7. Mangold M., Schwietering A., Zink J., Steinbauer M. J., Heurich M. The Digitalization of Outdoor Recreation: Global Perspectives on the Opportunities and Challenges for Protected Area Management // Journal of Environmental Management. 2024. Vol. 352. Art. 120108. DOI: 10.1016/j.jenvman.2024.120108.

8. Брель О. А., Кайзер Ф. Ю., Конева О. П., Панфиленко С. А., Чернов Д. А. Оценка рекреационной нагрузки на территорию музея-заповедника «Томская Писаница» Кемеровской области // Успехи современного естествознания. 2024. № 3. С. 25–32. DOI: 10.17513/use.38225.

9. Zink J., Mangold M., Porst F., Steinbauer M., Heurich M. Towards a Digital Ranger: Using Data from Outdoor Platforms to Detect Rule Violations in Protected Areas and Improve Visitor Management // Journal of Outdoor Recreation and Tourism. 2024. Vol. 48. Art. 100835. DOI: 10.1016/j.jort.2024.100835.

10. Toivonen T., Brias Guinart A., Eklund J., Hästbacka M., Leppämäki T., Torkko J. Potential of Mobile Big Data for Visitor Monitoring: Report of the MOBICON Workshop Held in Helsinki 28.9.2023. Helsinki: Digital Geography Lab, University of Helsinki, 2023. DOI: 10.31885/2024.030501.

11. Parkinson C., Pan B., Morris S. A., Rice W. L., Taff B. D., Chi G., Newman P. A Comparison of Tourists' Spatial–Temporal Behaviors Between Location-Based Service Data and Onsite GPS Tracks // Sustainability. 2025. Vol. 17. No. 2. Art. 391. DOI: 10.3390/su17020391.

12. Шулина М. В., Боровичев Е. А. Анализ практик нормативного регулирования порядка оценки рекреационной нагрузки на особо охраняемые природные территории в регионах России // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2025. Т. 4. № 3. С. 217–231.

13. Liu C.-L., Liu W.-Y. Assessing Tourism Pressure on Wildlife in a Protected Area: A Social Big Data Approach Using Photo-Sharing Data and Species Distribution Modeling // Ecological Informatics. 2025. Vol. 92. Art. 103441. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2025.103441.

14. Завадская А. В., Непомнящий В. В., Чижова В. П. История становления и

эволюция представлений о рекреационной ёмкости природных территорий // Географический вестник. 2025. № 3 (74). С. 165–175. DOI: 10.17072/2079-7877-2025-3-165-175.

15. Rogowski M. A Method for Overtourism Optimisation for Protected Areas // Journal of Outdoor Recreation and Tourism. 2025. Art. 100859. DOI: 10.1016/j.jort.2025.100859.

16. Costa J., Gomes A., Stokes M., Saraiva M. Using GPS Tracking Data from Mobile Fitness Apps to Understand User Behaviour in Protected Areas // Tourism Recreation Research. Published online 2025; Vol. 51, No. 5, 2026. P. 2121–2136. DOI: 10.1080/02508281.2025.2528241.

17. Costa J., Gomes A., Stokes M., Saraiva M. Enhancing Monitoring in Protected Areas: Evaluating Mobile Apps as a Tourism Proxy // Tourism Geographies. 2026. Vol. 28. No. 3. P. 865–886. DOI: 10.1080/14616688.2026.2671422.

18. Choe Y., Lee C.-K., Choi J., Kim M., Sim K.-W. Identifying Tourist Spatial and Temporal Patterns Using GPS and Sequence Alignment Method // Journal of Travel Research. 2023. Vol. 62. No. 6. P. 1181–1201. DOI: 10.1177/00472875221127685.

References

1. Kim J. Y., Kubo T., Nishihiro J. Mobile Phone Data Reveals Spatiotemporal Recreational Patterns in Conservation Areas During the COVID Pandemic // Scientific Reports. 2023. Vol. 13. Art. 20282. DOI: 10.1038/s41598-023-47326-y.

2. Kalixman A. D., Kalixman T. P. Ocenka posetitel`skix nagruzok i predel`no dopustimy`e normy` v Pribajkal`skom nacional`nom parke // Geografiya i prirodny`e resursy`. 2024. T. 45. № 1. S. 164–177. DOI: 10.15372/GIPR20240116.

3. Tsai W.-L., Merrill N. H., Neale A. C., Grupper M. Using Cellular Device Location Data to Estimate Visitation to Public Lands: Comparing Device Location Data to U.S. National Park Service's Visitor Use Statistics // PLOS ONE. 2023. Vol. 18. No. 11. Art. e0289922. DOI: 10.1371/journal.pone.0289922.

4. Makarova V. N., Zashkina D. S., Isaeva I. V. Uchet popravochny`x faktorov dlya predotvrashheniya degradacii prirodnoj sredy` pri raschete rekreacionnoj emkosti na

osobo oxranyaemy`x prirodny`x territoriyax // Territoriya novy`x vozmozhnostej. Vestnik Vladivostokskogo gosudarstvennogo universiteta. 2023. T. 15. № 1. S. 76–86. DOI: 10.24866/VVSU/2949-1258/2023-1/076-086.

5. Whitney P., Rice W. L., Sage J., Thomsen J. M., Wheeler I., Freimund W., Bigart E. Developments in Big Data for Park Management: A Review of Mobile Phone Location Data for Visitor Use Management // Landscape Research. 2023. Vol. 48. No. 6. P. 758–776. DOI: 10.1080/01426397.2023.2198762.

6. Andreeva I. V., Puzanov A. V., Samby`la Ch. N. Scenarii realizacii normirovaniya rekreacionny`x nagruzok na OOPT na primere pamyatnika prirody` «Ozero Dus-Xol`» (Ty`va) // Geografiya i prirodny`e resursy`. 2024. № 2. S. 137–143. DOI: 10.15372/GIPR20240214.

7. Mangold M., Schwietering A., Zink J., Steinbauer M. J., Heurich M. The Digitalization of Outdoor Recreation: Global Perspectives on the Opportunities and Challenges for Protected Area Management // Journal of Environmental Management. 2024. Vol. 352. Art. 120108. DOI: 10.1016/j.jenvman.2024.120108.

8. Brel` O. A., Kajzer F. Yu., Koneva O. P., Panfilenko S. A., Chernov D. A. Ocenka rekreacionnoj nagruzki na territoriyu muzeya-zapovednika «Tomskaya Pisanicza» Kemerovskoj oblasti // Uspexi sovremennogo estestvoznaniya. 2024. № 3. S. 25–32. DOI: 10.17513/use.38225.

9. Zink J., Mangold M., Porst F., Steinbauer M., Heurich M. Towards a Digital Ranger: Using Data from Outdoor Platforms to Detect Rule Violations in Protected Areas and Improve Visitor Management // Journal of Outdoor Recreation and Tourism. 2024. Vol. 48. Art. 100835. DOI: 10.1016/j.jort.2024.100835.

10. Toivonen T., Brias Guinart A., Eklund J., Hästbacka M., Leppämäki T., Torkko J. Potential of Mobile Big Data for Visitor Monitoring: Report of the MOBICON Workshop Held in Helsinki 28.9.2023. Helsinki: Digital Geography Lab, University of Helsinki, 2023. DOI: 10.31885/2024.030501.

11. Parkinson C., Pan B., Morris S. A., Rice W. L., Taff B. D., Chi G., Newman P. A Comparison of Tourists' Spatial–Temporal Behaviors Between Location-Based

Service Data and Onsite GPS Tracks // Sustainability. 2025. Vol. 17. No. 2. Art. 391. DOI: 10.3390/su17020391.

12. Shulina M. V., Borovichev E. A. Analiz praktik normativnogo regulirovaniya poryadka ocenki rekreacionnoj nagruzki na osobo oxranyaemy`e prirodny`e territorii v regionax Rossii // Trudy` Kol`skogo nauchnogo centra RAN. Seriya: Estestvenny`e i gumanitarny`e nauki. 2025. T. 4. № 3. S. 217–231.

13. Liu C.-L., Liu W.-Y. Assessing Tourism Pressure on Wildlife in a Protected Area: A Social Big Data Approach Using Photo-Sharing Data and Species Distribution Modeling // Ecological Informatics. 2025. Vol. 92. Art. 103441. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2025.103441.

14. Zavadskaya A. V., Nepomnyashhij V. V., Chizhova V. P. Istoriya stanovleniya i e`volyuciya predstavlenij o rekreacionnoj yomkosti prirodny`x territorij // Geograficheskij vestnik. 2025. № 3 (74). S. 165–175. DOI: 10.17072/2079-7877-2025-3-165-175.

15. Rogowski M. A Method for Overtourism Optimisation for Protected Areas // Journal of Outdoor Recreation and Tourism. 2025. Art. 100859. DOI: 10.1016/j.jort.2025.100859.

16. Costa J., Gomes A., Stokes M., Saraiva M. Using GPS Tracking Data from Mobile Fitness Apps to Understand User Behaviour in Protected Areas // Tourism Recreation Research. Published online 2025; Vol. 51, No. 5, 2026. P. 2121–2136. DOI: 10.1080/02508281.2025.2528241.

17. Costa J., Gomes A., Stokes M., Saraiva M. Enhancing Monitoring in Protected Areas: Evaluating Mobile Apps as a Tourism Proxy // Tourism Geographies. 2026. Vol. 28. No. 3. P. 865–886. DOI: 10.1080/14616688.2026.2671422.

18. Choe Y., Lee C.-K., Choi J., Kim M., Sim K.-W. Identifying Tourist Spatial and Temporal Patterns Using GPS and Sequence Alignment Method // Journal of Travel Research. 2023. Vol. 62. No. 6. P. 1181–1201. DOI: 10.1177/00472875221127685.

Статья поступила в редакцию 20.01.2026; одобрена после рецензирования 03.03.2026; принята к публикации 30.08.2026.

The article was submitted 20.01.2026; approved after peer review 03.03.2026; accepted for publication 30.08.2026.

Научная статья
УДК 332.14:339.564

ПЕРЕСТРОЙКА ГРУЗОВЫХ ПОТОКОВ И ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛОВ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ ВНЕШНЕТОРГОВОЙ ГЕОГРАФИИ

Биксалеев Андрей Андреевич, кандидат географических наук, младший научный сотрудник, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Россия, Чита, biksaleev-a@yandex.ru

Аннотация. В статье исследуются процессы пространственной реорганизации евразийских грузопотоков, инициированные структурными сдвигами во внешнеторговой географии и форсированной переориентацией логистических цепочек на восточные и южные направления. Объектом анализа выступает Объектом анализа выступает Транскаспийский международный транспортный маршрут как формирующаяся основа транспортной связности региона. Методологический аппарат базируется на сетевом анализе инфраструктуры, гравитационном моделировании корреспонденций и количественной оценке пропускной способности узлов с применением индикаторов мониторинга эффективности коридоров (СРММ). Эмпирическая база охватывает период 2021–2023 годов, что позволило дифференцировать влияние макроэкономического спроса и физических ограничений инфраструктуры. Установлено, что основными лимитирующими факторами являются не дефицит номинальных мощностей, а организационные задержки в портах Актау, Баку и Поти, несогласованность регламентов и фрагментарный цифровой обмен данными. Доказано, что перестройка маршрутов радикально меняет транспортно-географическое положение ключевых узлов: логистические хабы превращаются из транзитных пунктов перевалки в центры консолидации грузопотоков и создания добавленной стоимости, генерируя агломерационные эффекты. Результаты исследования демонстрируют, что успешная адаптация к новым геоэкономическим реалиям требует не только физической модернизации

пограничных переходов, но и создания единого цифрового пространства для минимизации временных и стоимостных издержек. Обоснована необходимость перехода от фрагментарных инфраструктурных вложений к сквозному управлению цепями поставок и институциональной гармонизации для трансформации транзитных артерий в устойчивые экономические коридоры.

Ключевые слова: транспортная география; грузовые потоки; Транскаспийский маршрут; транспортные узлы; мультимодальные перевозки; внешнеторговая география.

Original article

RESTRUCTURING FREIGHT FLOWS AND TRANSPORT HUBS IN THE CONTEXT OF CHANGING FOREIGN TRADE GEOGRAPHY

Biksaleev Andrei Andreevich, Candidate of Geographical Sciences, Junior Researcher, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia, biksaleev-a@yandex.ru

Abstract. This article examines the spatial reorganization of Eurasian freight flows, triggered by structural shifts in foreign trade geography and the forced reorientation of logistics chains toward eastern and southern destinations. The object of analysis is the Trans-Caspian International Transport Route as an emerging framework for regional connectivity. The methodological framework is based on network analysis of infrastructure, gravity modeling of correspondence, and a quantitative assessment of hub capacity using corridor performance monitoring (CPMM) indicators. The empirical base covers the period 2021–2023, allowing us to differentiate the impact of macroeconomic demand and physical infrastructure constraints. It has been established that the main limiting factors are not a shortage of nominal capacity, but organizational delays at the ports of Aktau, Baku, and Poti, regulatory inconsistencies, and fragmented digital data exchange. It has been proven

that route restructuring radically alters the transport and geographic location of key hubs: logistics hubs evolve from transit transshipment points into centers for the consolidation of added value, generating agglomeration effects. The study's results demonstrate that successful adaptation to new geoeconomic realities requires not only the physical modernization of border crossings but also the creation of a unified digital space to minimize time and cost. The study substantiates the need to shift from fragmented infrastructure investments to end-to-end supply chain management and institutional harmonization to transform transit arteries into sustainable economic corridors.

Keywords: transport geography; freight flows; Trans-Caspian corridor; transport hubs; multimodal transport; foreign trade geography.

Введение. Современные геополитические трансформации оказали беспрецедентное воздействие на пространственную организацию глобальных цепочек поставок, вызвав существенную перестройку сложившихся маршрутов грузовых перевозок. Исторически сложившаяся ведущая роль северного евразийского сухопутного коридора, обеспечивавшего связность между азиатскими и европейскими рынками, вступила в фазу системного кризиса [1-3]. В этих условиях наблюдается закономерный сдвиг транзитных и внешнеторговых потоков в сторону альтернативных широтных и меридиональных осей, что актуализирует необходимость переосмысления роли периферийных и внутриконтинентальных территорий в системе международного товарообмена [4], [5]. Указанный вектор развития требует от исследователей в области экономической и транспортной географии детального анализа того, как разрыв традиционных логистических связей стимулирует формирование новых узлов сопряжения и меняет конфигурацию региональных рынков.

Данный пространственный сдвиг находит свое материальное воплощение в форсированном развитии Транскаспийских транспортных маршрутов,

формирующих так называемый Срединный коридор [6]. Для государств Центральной Азии и Южного Кавказа, расположенных в глубине континента и удаленных от основных океанических транспортных путей, эта ось трансформируется из периферийной альтернативы в стратегический каркас национальной и региональной связности [7-9]. Интеграция портовых комплексов Каспийского и Черного морей с железнодорожными сетями Казахстана, Азербайджана и Грузии формирует новую полицентричную транспортную систему, способный аккумулировать диверсифицированные грузопотоки, минуя зоны геополитической напряженности. При этом переориентация на восточные и южные направления сопровождается не только изменением географии экспорта и импорта, но и структурной перестройкой самих транспортных систем, вынужденных адаптироваться к возросшей нагрузке в условиях мультимодальности перевозок.

Вместе с тем, пространственная переориентация сталкивается с существенными инфраструктурными и институциональными барьерами, которые напрямую детерминируют пропускную способность формирующихся транспортных узлов. Данные мониторинга коридоров Центральноазиатского регионального экономического сотрудничества фиксируют, что рост спроса на альтернативные маршруты опережает возможности существующей транспортно-логистической инфраструктуры [10]. В морских портах Актау, Баку, Поти и Батуми возникают узкие места, ограничивающие пропускную способность, где длительность обработки грузов лимитируется дефицитом паромного флота на Каспии, рассогласованностью документооборота между национальными железнодорожными администрациями и сложными процедурами пограничного контроля [11]. Различия в технических стандартах, колеях и таможенных регламентах превращают узлы перевалки из точек простой транзитной передачи в зоны накопления временных и стоимостных издержек, что снижает конкурентоспособность новых маршрутов по сравнению с традиционными морскими путями.

В парадигме экономической географии эволюция подобных магистралей выступает не исключительно как фактор улучшения транзита, но как катализатор территориального развития и изменения экспортно-импортной специализации приграничных регионов. Концентрация логистических сервисов в ключевых узловых точках, таких как Алматинский транспортно-логистический хаб, способствует возникновению агломерационных эффектов, стимулирующих переход приграничных экономик от сырьевой модели к перерабатывающим производствам и созданию добавленной стоимости [12]. Следовательно, адаптация к разрыву традиционных цепочек поставок требует от национальных экономик не только физической модернизации портов и пограничных переходов, но и глубокой институциональной гармонизации, направленной на сокращение административных и организационных барьеров на границах и создание единого цифрового пространства для беспрепятственного движения товаров, капитала и услуг в новых географических реалиях.

Обзор литературы. Современная пространственная организация евразийских грузопотоков переживает период глубокой структурной перестройки, обусловленной изменением макроэкономических связей и логистических цепочек. В экономической географии и теории транспорта фундаментальное значение имеет концепция транспортно-транзитного потенциала, которая рассматривает территорию как среду, генерирующую добавленную стоимость через эффекты агломерации и логистической консолидации [13], [14]. Пространственная интеграция регионов напрямую зависит от уровня их транспортной доступности и качества узлов сопряжения различных видов транспорта.

Традиционные исследования трансконтинентальных перевозок фокусировались преимущественно на Северном коридоре, однако его текущая перегрузка и санкционные ограничения потребовали научного осмысления альтернативных осей развития. Зарубежные и отечественные авторы все чаще обращаются к методологии оценки эффективности коридоров [15-17]. Особое

место здесь занимает инструментарий CPMM, разработанный Азиатским банком развития, который позволяет количественно измерять временные и стоимостные издержки на конкретных участках маршрутов и пунктах пересечения границ. В то же время, Всемирный банк в своих недавних работах подчеркивает необходимость перехода от восприятия транзитных маршрутов исключительно как «транспортных труб» к концепции экономических коридоров, где ключевую роль играют локальные эффекты консолидации грузов и развития приузловой инфраструктуры.

Несмотря на обилие публикаций, посвященных логистике, в научной литературе сохраняется дефицит исследований, которые бы комплексно связывали наблюдаемые сдвиги в географии внешней торговли с количественными параметрами пропускной способности и последующим изменением транспортно-географического положения (ТГП) конкретных узлов. Настоящая работа призвана восполнить этот пробел, опираясь на эмпирические данные о реальных грузопотоках и инфраструктурных ограничениях.

Материалы и методы исследования. Объектом сравнительного анализа является Транскаспийский международный транспортный маршрут, соединяющий транспортные системы Центральной Азии, Каспийского бассейна, Южного Кавказа и выходы к международным морским направлениям. Для характеристики пространственной перестройки грузопотоков рассматриваются опубликованные сведения о транспортных мощностях, контейнерных перевозках, тарифных условиях и инфраструктурных ограничениях отдельных узлов. Применяются методы сравнительной транспортно-географической оценки, анализа конфигурации маршрутов и сценарного сопоставления времени доставки. В качестве основных характеристик выделяются пропускная способность, продолжительность перевалочных операций, наличие межвидовых стыков и зависимость от погодно-навигационных условий.

Методологический каркас работы опирается на три взаимодополняющих блока. Во-первых, применяется сетевой анализ транспортной инфраструктуры,

при котором ребра графа нагружаются не абстрактными показателями центральности, а реальными и оценочными объемами потоков (в тоннажах и TEU). Во-вторых, используется гравитационная модель грузопотоков, откалиброванная на фактических матрицах корреспонденций (OD). Это позволяет разделить изменение спроса на перевозку, вызванное сдвигом во внешней торговле, и физические ограничения инфраструктуры. В-третьих, для оценки узлов применяется система индикаторов, аналогичная СРММ, включающая расчет пропускной способности, коэффициента загрузки, времени простоя, длительности прохождения границы и стоимости перевозки на единицу груза.

Важным методологическим условием является разграничение фактически наблюдаемых грузопотоков и будущих мощностей, заявленных в инвестиционных программах. Анализ строится на основе двух сценариев: инерционного, предполагающего сохранение текущих организационных барьеров, и сценария реализации заявленных инфраструктурных и цифровых проектов. При этом признается, что на динамику грузопотоков влияет не только внешняя торговля, но и тарифная политика, дефицит подвижного состава, сезонность навигации и пропускная способность пограничных переходов.

Результаты исследования. Анализ матриц OD-потоков за 2022 год фиксирует рост контейнерного трафика по ТМТМ на 33% по сравнению с предыдущим годом. Однако структурный анализ показывает, что коридор остается преимущественно региональным: около двух третей объемов формируют взаимная торговля стран коридора и экспорт сырья из Казахстана. Трансконтинентальный транзит (ЕС–Китай) занимает менее 5% в объемных показателях, хотя именно он демонстрирует наибольшую относительную динамику.

Инфраструктурный анализ выявил критические точки, ограничивающие развитие маршрута. Пропускная способность портов и железнодорожных участков неравномерна, а организационные задержки многократно превышают

физические ограничения. Например, порты Каспия имеют значительный резерв общей мощности, но испытывают острый дефицит специализированного контейнерного флота и перегрузочного оборудования.

Таблица 1 - Количественные параметры критических ограничений на маршруте ТМТМ (по данным 2022 г.)

Узел / Участок	Показатель мощности и загрузки	Время задержки / простоя	Ключевой ограничивающий фактор
Порт Актау	Общая загрузка 26% (18 млн т). Контейнерный терминал: загрузка 34% (130 тыс. TEU).	Время нахождения контейнера: 5–12 дней (без учета ожидания судна).	Дефицит специализированных контейнеровозов; ограничения навигации из-за сильного ветра.
Порт Алиат (Баку)	Общая загрузка 42% (15 млн т). Контейнерный сегмент: 52%.	Время простоя на терминалах: до 25 дней.	Низкая скорость обработки судов; несогласованность графиков работы терминалов и железнодорожно-паромных переправ.
Порт Поти	Общая загрузка 86% (13 млн т). Контейнерный сегмент: 55%.	Время прохождения порта: 12 дней.	Высокий уровень заиления фарватера; узкий вход (50 м); слабая связь с ж/д.
Участок Достык – Мойынты	Пропускная способность до 18 пар поездов/сутки. Загрузка ≈ 80%.	Ожидание на границе: до 60 часов.	Нехватка сортировочных путей; дефицит маневровых локомотивов.
Переход Гардабани – Бёюк Касик	Инфраструктура не рассчитана на статус пограничного узла.	Время прохождения границы: от 1 до 4 суток.	Дефицит тягового подвижного состава; отсутствие электронной очереди и обмена данными.

Источник: разработано автором.

Данные таблицы 1 демонстрируют, что физические «узкие места» усугубляются организационными факторами. Стоимость перевозки 40-футового контейнера (FEU) из Китая в Европу через ТМТМ варьируется от 2500 до 3250 долларов США, что сопоставимо с тарифами Северного коридора. Однако время доставки возрастает с 15–20 дней до 50–53 дней. Основная доля этих потерь (до 70% времени) приходится на интермодальные перегрузки в портах и ожидание на пограничных стыках. Гравитационная модель подтверждает, что грузы с высокой добавленной стоимостью, чувствительные ко времени доставки, вынужденно возвращаются на морские маршруты или остаются в региональном обороте.

Обсуждение результатов исследования. Выявленные диспропорции позволяют перейти от констатации фактов к оценке того, как перестройка грузопотоков меняет транспортно-географическое положение узлов. Изменение ТГП в данном случае понимается не через демографические сдвиги, которые требуют десятилетий, а через трансформацию экономической доступности, центральности и функциональной роли территорий в логистических сетях.

Таблица 2 - Динамика и структура затрат времени на прохождение маршрута ТМТМ (концептуальная схема)

Этап маршрута	Фактическое время (2022 г.), дни	Доля в общем времени, %	Прогнозное время (2030 г., сценарий операционализации), дни	Требуемые меры для сокращения времени
Ж/д участок (Китай – Каспий)	5–7	12%	3–4	Цифровизация, синхронизация графиков, устранение дефицита вагонов.
Порты Каспия и морская переправа	25–30	55%	10–12	Закупка контейнеровозов, модернизация кранового оборудования, единый оператор.
Ж/д участок (Кавказ – Черное море)	10–12	22%	5–6	Электрификация участков, обновление сигнализации, совместное пограничное управление.
Порты Черного моря и граница	8–10	11%	4–5	Углубление фарватеров, развитие тыловых терминалов, упрощение таможни.
ИТОГО	~ 50-53	100%	~ 25-27	Создание сквозного логистического оператора и единой цифровой среды.

Источник: разработано автором.

Сопоставление интервальных значений показывает, что исходная продолжительность рассматриваемой последовательности транспортных операций составляет 48–59 дней, а в прогнозном сценарии модернизации — 22–27 дней. Основной потенциальный резерв сокращения времени приходится на

операции в каспийских портах и морскую переправу, для которых рассматривается изменение продолжительности с 25–30 до 10–12 дней. Вместе с тем диапазоны характеризуют условные сочетания продолжительности отдельных этапов и не являются эмпирически подтверждённым прогнозом общей доставки. Реализация предусмотренных изменений зависит от согласования графиков, развития портовой инфраструктуры и устойчивости межвидовых транспортных связей.

Трансформация ТГП узлов напрямую зависит от их способности формировать агломерационные эффекты и удерживать грузопотоки за счет развития операций, создающих добавленную стоимость.

Таблица 3 - Сравнительная типология изменения логистических функций узлов Транскаспийского маршрута

Транспортный узел	Изначальная роль в сети (до 2021 г.)	Формирующаяся функция и изменение центральности	Влияние на доступность территории
Алматинский узел	Транзитный обходной пункт; точка смены локомотивов.	Формирование крупного логистического хаба (сухой порт) с функциями консолидации и промышленной сборки. Рост центральности для грузов из Центральной Азии и Китая.	Повышение доступности для размещения производств, ориентированных на экспорт; снижение логистических издержек для локального бизнеса.
Актау / Курык	Изолированные порты перевалки сырьевых грузов.	Интеграция в единую каспийскую логистическую систему; развитие зон свободной торговли и зерновых терминалов.	Превращение из периферийных портов в узлы мультимодального сопряжения, повышение связности Мангистауской области с глобальными рынками.
Баку / Алиат	Ключевой узел сопряжения Каспия и Кавказа.	Консолидация контейнеропотоков; развитие индустриальных парков на базе порта. Усиление роли как главного хаба каспийского бассейна.	Рост экономической плотности припортовых территорий; улучшение доступности региона для международных логистических провайдеров.
Тбилиси / Поти / Батуми	Транзитные коридоры к черноморским портам.	Оптимизация тыловых связей; смещение фокуса на ускоренную обработку и цифровое сопровождение грузов.	Повышение надежности выхода к мировым морским путям; снижение зависимости от монопольных

			операторов за счет развития альтернативных тыловых маршрутов.

Источник: разработано автором.

Перестройка внешнеторговых грузопотоков не приводит к автоматическому и мгновенному изменению систем расселения. Однако она фундаментально меняет транспортно-географическое положение городов и узлов. Узлы, способные предложить услуги по консолидации, хранению и цифровой обработке грузов (такие как Алиат или Алматинский хаб), повышают свою центральность и притягивают смежные виды экономической деятельности. Напротив, узлы, остающиеся исключительно точками физического транзита без развития интермодальной инфраструктуры, сталкиваются с риском маргинализации в новой логистической реальности.

Таким образом, успешное функционирование Транскаспийского маршрута в новых геоэкономических условиях зависит не столько от прокладки новых железнодорожных веток, сколько от устранения организационных барьеров, синхронизации тарифов и создания единого пространства цифрового обмена данными. Только при условии реализации предусмотренных сценарием организационных и инфраструктурных мер коридор способен превратиться из уязвимого транзитного пути в устойчивый экономический коридор, обеспечивающий пространственную интеграцию и повышение конкурентоспособности прилегающих регионов.

Выводы. Проведенное исследование позволяет утверждать, что современные геополитические изменения перестали быть лишь внешним фактором воздействия на логистические системы и стали одним из основных факторов пространственной реорганизации евразийской экономики. Нарушение исторически сложившихся северных транзитных маршрутов вызвало значительное перераспределение грузопотоков в сторону альтернативных широтных и меридиональных осей. Данный процесс наглядно демонстрирует, что конфигурация международных транспортных коридоров все в меньшей

степени определяется исключительно физико-географическими факторами или принципом кратчайших расстояний, и все в большей степени зависит от институциональной устойчивости, логистической гибкости и текущей политико-экономической конъюнктуры.

В этих условиях Транскаспийский маршрут эволюционирует из периферийной альтернативы в самостоятельный экономический каркас. Эмпирические данные подтверждают, что форсированная переориентация внешнеторговых потоков стимулирует глубокую структурную перестройку региональной торговли. Страны Центральной Азии и Южного Кавказа активно диверсифицируют рынки сбыта, последовательно снижая зависимость от традиционных доминирующих партнеров. Формируется новая матрица корреспонденций, где значительную долю начинают занимать внутрирегиональные обменные операции и поставки товаров с более высокой добавленной стоимостью, что требует качественно иного уровня логистического обеспечения и интеграции производственных цепочек.

Ключевым следствием описанных сдвигов становится радикальное изменение транспортно-географического положения узловых точек на маршрутах нового коридора. Портовые комплексы Каспийского и Черного морей, а также крупные железнодорожные хабы перестают выполнять функцию исключительно транзитных перевалочных пунктов. Концентрация логистических сервисов, таможенных процедур и складских мощностей в таких локациях, как Актау, Баку, Поти или Алматинский транспортно-логистический центр, генерирует выраженные агломерационные эффекты. Транспортные узлы постепенно трансформируются в ядра территориального развития, привлекая смежные производственные предприятия и организации сферы услуг, что ведет к повышению экономической плотности прилегающих территорий и изменению их хозяйственной специализации.

Однако пространственная реорганизация экономики сталкивается с существенными ограничениями, которые носят преимущественно

институциональный характер. Анализ узких мест показывает, что физические инфраструктурные диспропорции многократно усугубляются рассогласованностью технологических стандартов, сложностью пограничных процедур и фрагментарностью цифрового обмена данными. Преодоление этих барьеров требует перехода от точечных инфраструктурных инвестиций к сквозному управлению цепями поставок. Именно гармонизация нормативной базы, внедрение единых цифровых платформ и координация действий национальных железнодорожных и портовых операторов выступают критическими условиями для реализации потенциала новых географических реалий.

Таким образом, география внешнеторговых связей динамично изменяется под влиянием макрополитических факторов. Пространственная реорганизация экономики, наблюдаемая в настоящее время на евразийском континенте, носит не временный, а системный характер. Успешная адаптация к новым условиям будет зависеть от способности национальных и региональных акторов трансформировать вынужденные логистические обходные пути в устойчивые экономические коридоры. Дальнейшие исследования в области экономической географии должны быть сфокусированы на оценке долгосрочных эффектов этой пространственной перестройки, в частности, на изучении влияния формирующихся логистических агломераций на социальное и экономическое развитие приграничных и внутриконтинентальных территорий.

Список литературы

1. Fortescue S. The Reorientation of Russia’s Trade Corridors Since the Invasion of Ukraine // Post-Communist Economies. 2024. Vol. 36. No. 4. P. 405–431. DOI: 10.1080/14631377.2024.2324223.
2. Гришкова Д. Ю., Чигрин Н. С. Анализ логистических рисков в условиях переориентации грузопотоков в восточном направлении // Социально-экономический и гуманитарный журнал. 2024. № 2. С. 83–89. DOI: 10.36718/2500-1825-2024-2-83-89.

3. Notteboom T., Haralambides H., Cullinane K. The Red Sea Crisis: Ramifications for Vessel Operations, Shipping Networks, and Maritime Supply Chains // Maritime Economics & Logistics. 2024. Vol. 26. P. 1–20. DOI: 10.1057/s41278-024-00287-z.

4. Зоидов К. Х., Медков А. А., Зоидов З. К. Проблемы и перспективы меридиональной трансформации транспортно-транзитной системы России с использованием традиционных маршрутов международного транспортного коридора «Север–Юг» // Региональные проблемы преобразования экономики. 2023. № 12. С. 125–142. DOI: 10.26726/1812-7096-2023-12-125-142.

5. Yap W. Y., Yang D. Geopolitical Tension and Shipping Network Disruption: Analysis of the Red Sea Crisis on Container Port Calls // Journal of Transport Geography. 2024. Vol. 121. Art. 104004. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2024.104004.

6. Тарасова О. В., Урина У. С., Горюшкина Е. А. Оценка вариантов использования мощностей Восточного полигона // Проблемы прогнозирования. 2025. № 2 (209); англ. версия: Studies on Russian Economic Development. 2025. Vol. 36. No. 2. P. 260–270. DOI: 10.1134/S1075700724700734.

7. Mikhailova D., Tabata S. Prospects for the Development of the Northern Sea Route After February 2022: An Analysis of Russia's Policy in the New Conditions // Polar Science. 2024. Vol. 41. Art. 101054. DOI: 10.1016/j.polar.2024.101054.

8. Москвичев О. В., Пацев Ю. П. Развитие контрейлерного сообщения на маршруте международного транспортного коридора «Север–Юг» // Транспорт и информационные технологии. 2024. Т. 14. № 2. С. 194–215. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-2-284.

9. Bedoya-Maya F., Beckers J., Cant J., Martínez-Moya J., van Hassel E., Vanelslander T. Container Port Competitiveness Amid Disruptions: Insights from the European Maritime Network During the Red Sea Crisis // Journal of Transport Geography. 2025. Vol. 128. Art. 104304. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2025.104304.

10. Еремин С. В. Глобальные мировые торгово-экономические трансформации — предпосылки к реинжинирингу транснациональных логистических коммуникаций России (на примере Восточного полигона) // Мир транспорта и

технологических машин. 2024. № 2-2 (85). С. 26–31. DOI: 10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-26-31.

11. Yermekbayev A., Delovarova L., Kaliyeva A. Trans-Caspian International Transport Route: A Kazakhstani Perspective on Challenges, Opportunities, and Prospects // International Journal. 2024. Vol. 79. No. 2. P. 312–329. DOI: 10.1177/00207020241257636.
12. Заостровских Е. А. Возможность восстановления прежнего роста контейнерных перевозок на Восточном полигоне // Региональные проблемы. 2025. Т. 28. № 4. С. 101–106. DOI: 10.31433/2618-9593-2025-28-4-101-106.
13. Nurseiit N. Attractiveness and Prospects of the Middle Corridor for Cargo Transportation Between Europe and Asia // Journal of Eurasian Studies. 2026. Vol. 17. No. 1. P. 167–182. DOI: 10.1177/18793665251388115.
14. Прудникова А. А., Пинчук У. В. Трансформация морской логистики России в новых геоэкономических условиях // Мировая экономика и мировые финансы. 2025. Т. 4. № 2. С. 36–43. DOI: 10.24412/2949-6454-2025-0140.
15. Liu J., Yu W., Fu X., Liu J. Assessing the Port Resilience Under the Red Sea Crisis // Journal of Transport Geography. 2026. Vol. 130. Art. 104474. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2025.104474.
16. Дегтерева Е. А., Бирюкова О. В., Сабанцев А. И. Международный транспортный коридор «Север–Юг» в условиях переориентации торговых потоков РФ в страны Глобального Юга // Вестник МГИМО Университета. 2026. Т. 19. № 2. С. 149–171. DOI: 10.24833/2071-8160-2026-2-107-149-171.
17. Gunnarsson B. On the Vulnerabilities of the Northern Sea Route's Maritime Transportation System // Arctic Review on Law and Politics. 2024. Vol. 15. P. 94–118. DOI: 10.23865/arctic.v15.6409.

References

1. Fortescue S. The Reorientation of Russia's Trade Corridors Since the Invasion of Ukraine // Post-Communist Economies. 2024. Vol. 36. No. 4. P. 405–431. DOI: 10.1080/14631377.2024.2324223.

2. Grishkova D. Yu., Chigrin N. S. Analiz logisticheskix riskov v usloviyax pereorientacii gruzopotokov v vostochnom napravlenii // Social`no-e`konomicheskij i gumanitarny`j zhurnal. 2024. № 2. S. 83–89. DOI: 10.36718/2500-1825-2024-2-83-89.

3. Notteboom T., Haralambides H., Cullinane K. The Red Sea Crisis: Ramifications for Vessel Operations, Shipping Networks, and Maritime Supply Chains // Maritime Economics & Logistics. 2024. Vol. 26. P. 1–20. DOI: 10.1057/s41278-024-00287-z.

4. Zoidov K. X., Medkov A. A., Zoidov Z. K. Problemy` i perspektivy` meridional`noj transformacii transportno-tranzitnoj sistemy` Rossii s ispol`zovaniem tradicionny`x marshrutov mezhdunarodnogo transportnogo koridora «Sever–Yug» // Regional`ny`e problemy` preobrazovaniya e`konomiki. 2023. № 12. S. 125–142. DOI: 10.26726/1812-7096-2023-12-125-142.

5. Yap W. Y., Yang D. Geopolitical Tension and Shipping Network Disruption: Analysis of the Red Sea Crisis on Container Port Calls // Journal of Transport Geography. 2024. Vol. 121. Art. 104004. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2024.104004.

6. Tarasova O. V., Urina U. S., Goryushkina E. A. Ocenka variantov ispol`zovaniya moshhnostej Vostochnogo poligona // Problemy` prognozirovaniya. 2025. № 2 (209); angl. versiya: Studies on Russian Economic Development. 2025. Vol. 36. No. 2. P. 260–270. DOI: 10.1134/S1075700724700734.

7. Mikhailova D., Tabata S. Prospects for the Development of the Northern Sea Route After February 2022: An Analysis of Russia's Policy in the New Conditions // Polar Science. 2024. Vol. 41. Art. 101054. DOI: 10.1016/j.polar.2024.101054.

8. Moskvichev O. V., Pacev Yu. P. Razvitie kontrejlernogo soobshheniya na marshrute mezhdunarodnogo transportnogo koridora «Sever–Yug» // Transport i informacionny`e texnologii. 2024. T. 14. № 2. S. 194–215. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-2-284.

9. Bedoya-Maya F., Beckers J., Cant J., Martínez-Moya J., van Hassel E., Vanelslander T. Container Port Competitiveness Amid Disruptions: Insights from the European Maritime Network During the Red Sea Crisis // Journal of Transport

Geography. 2025. Vol. 128. Art. 104304. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2025.104304.

10. Eremin S. V. Global`ny`e mirovy`e torgovo-e`konomicheskie transformacii — predposy`lki k reinzhiniringu transnacional`ny`x logisticheskix kommunikacij Rossii (na primere Vostochnogo poligona) // Mir transporta i texnologicheskix mashin. 2024. № 2-2 (85). S. 26–31. DOI: 10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-26-31.

11. Yermekbayev A., Delovarova L., Kaliyeva A. Trans-Caspian International Transport Route: A Kazakhstani Perspective on Challenges, Opportunities, and Prospects // International Journal. 2024. Vol. 79. No. 2. P. 312–329. DOI: 10.1177/00207020241257636.

12. Zaostrovskix E. A. Vozmozhnost` vosstanovleniya prezhnego rosta kontejnerny`x perevozok na Vostochnom poligone // Regional`ny`e problemy`. 2025. T. 28. № 4. S. 101–106. DOI: 10.31433/2618-9593-2025-28-4-101-106.

13. Nurseiit N. Attractiveness and Prospects of the Middle Corridor for Cargo Transportation Between Europe and Asia // Journal of Eurasian Studies. 2026. Vol. 17. No. 1. P. 167–182. DOI: 10.1177/18793665251388115.

14. Prudnikova A. A., Pinchuk U. V. Transformaciya morskoj logistiki Rossii v novy`x geoe`konomicheskix usloviyax // Mirovaya e`konomika i mirovy`e finansy`. 2025. T. 4. № 2. S. 36–43. DOI: 10.24412/2949-6454-2025-0140.

15. Liu J., Yu W., Fu X., Liu J. Assessing the Port Resilience Under the Red Sea Crisis // Journal of Transport Geography. 2026. Vol. 130. Art. 104474. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2025.104474.

16. Degtereva E. A., Biryukova O. V., Sabancev A. I. Mezhdunarodny`j transportny`j koridor «Sever–Yug» v usloviyax pereorientacii torgovy`x potokov RF v strany` Global`nogo Yuga // Vestnik MGIMO Universiteta. 2026. T. 19. № 2. S. 149–171. DOI: 10.24833/2071-8160-2026-2-107-149-171.

17. Gunnarsson B. On the Vulnerabilities of the Northern Sea Route’s Maritime Transportation System // Arctic Review on Law and Politics. 2024. Vol. 15. P. 94–118. DOI: 10.23865/arctic.v15.6409.

Статья поступила в редакцию 10.12.2025; одобрена после рецензирования 21.01.2026; принята к публикации 30.08.2026.

The article was submitted 10.12.2025; approved after peer review 21.01.2026; accepted for publication 30.08.2026.

Научная статья

УДК 911.375

ТИПЫ СЖАТИЯ РОССИЙСКИХ МОНОГОРОДОВ: ДЕМОГРАФИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА, НОЧНАЯ ОСВЕЩЁННОСТЬ И ДЕГРАДАЦИЯ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

Черных Владимир Николаевич, кандидат географических наук, младший научный сотрудник, Байкальский институт природопользования СО РАН, Россия, Улан-Удэ, v.chernykh@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются различия демографической и пространственной трансформации российских моногородов в постсоветский период. Цель исследования заключается в разработке сравнительной типологии городского сжатия с использованием демографических показателей, динамики ночной освещённости и характеристик использования городской застройки. Рассмотрены восемь моногородов с различными территориальными и отраслевыми особенностями. Выделены три аналитических типа: инфраструктурный диссонанс, точечная деградация и циклическая адаптация. Первый характеризуется расхождением между сокращением населения и сохранением протяжённой инженерной инфраструктуры; второй — локальным формированием недоиспользуемых промышленных и жилых территорий; третий объединяет сравнительные случаи с менее выраженной демографической убылью. Показано, что снижение ночной освещённости не является самостоятельным доказательством пустования зданий, а типологизация городов требует разграничения фактических наблюдений и косвенных пространственных индикаторов. Сделан вывод о необходимости дифференцированного подхода к управлению территориальной адаптацией моногородов с учётом ограничений инженерной инфраструктуры.

Ключевые слова: сжатие городов; российские моногорода; депопуляция; ночная освещённость; жилищная вакантность; пространственная

трансформация.

Original article

TYPES OF CONTRACTION OF RUSSIAN SINGLE-INDUSTRY TOWNS: DEMOGRAPHIC DYNAMICS, NIGHTTIME ILLUMINATION, AND URBAN DEGRADATION

Chernykh Vladimir Nikolaevich, Candidate of Geographical Sciences, Junior Researcher, Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, Russia, v.chernykh@mail.ru

Abstract. This article examines the differences in the demographic and spatial transformation of Russian single-industry towns in the post-Soviet period. The aim of the study is to develop a comparative typology of urban compression using demographic indicators, night-time illumination dynamics, and characteristics of urban development use. Eight single-industry towns with different territorial and industrial characteristics are considered. Three analytical types are distinguished: infrastructural dissonance, localized degradation, and cyclical adaptation. The first is characterized by a discrepancy between population decline and the preservation of extensive engineering infrastructure; the second is characterized by the localized formation of underutilized industrial and residential areas; the third unites comparative cases with less pronounced demographic decline. It is shown that a decrease in night-time illumination is not an independent proof of vacant buildings, and the typology of cities requires distinguishing between actual observations and indirect spatial indicators. A conclusion is drawn regarding the need for a differentiated approach to managing the territorial adaptation of single-industry towns, taking into account the limitations of engineering infrastructure.

Keywords: urban shrinkage; Russian single-industry towns; depopulation; nighttime lights; housing vacancy; spatial transformation.

Актуальность исследования. Пространственная эволюция городских систем в условиях постиндустриального перехода все чаще сопровождается феноменом депопуляции и экономического спада. Для монопрофильных поселений, историческое формирование которых было непосредственно связано с эксплуатацией конкретных природных ресурсов или функционированием градообразующих предприятий, этот процесс приобретает необратимый характер. Исчерпание сырьевой базы и последующая утрата конкурентных преимуществ в глобальных цепочках создания стоимости неизбежно ведут к оттоку человеческого капитала [1]. В результате традиционная концепция городского роста, доминировавшая в отечественной географии и градостроительном планировании на протяжении десятилетий, сталкивается с необходимостью осмысления новой реальности устойчивого сжатия освоенного пространства [2].

Долгое время сжимающиеся города определялись преимущественно на основе официальной статистики естественного и миграционного движения населения. Однако подобный одномерный подход существенно искажает реальную картину [3]. Как показывают современные зарубежные изыскания, сокращение численности жителей далеко не всегда сопровождается пропорциональным уменьшением застроенных территорий [4-6]. Напротив, инерционное расширение периферийных районов или сохранение высоких темпов жилищного строительства на фоне убывающего населения приводят к парадоксальному эффекту снижения плотности городской ткани. Таким образом, демографические показатели, выступая важным индикатором, не способны в полной мере отразить глубинные структурные сдвиги, происходящие в физическом пространстве моногородов, поскольку административные границы часто включают обширные неосвоенные или сельскохозяйственные земли, что снижает точность пространственного анализа.

Более информативными признаками кризисного состояния поселения являются не только убыль населения, но и растущая вакантность жилищного

фонда и деградация инженерной инфраструктуры. Покинутые жилые дома, заброшенные объекты социально-бытового назначения и пустующие производственные площадки формируют специфический ландшафт упадка [7], [8]. Этот процесс носит цикличный характер: снижение качества городской среды провоцирует дальнейший отток наиболее мобильного населения, что, в свою очередь, усугубляет проблему пустующего жилья и снижает налоговую базу муниципалитетов. Для российских моногородов, где значительная часть застройки возводилась в советский период ведомственным способом и сегодня физически устарела, проблема жилищной вакантности приобретает особенно острые социальные и пространственные формы, требующие отдельного географического изучения.

Преодоление методологических ограничений, присущих работе с административно-статистическими данными, требует привлечения альтернативных инструментов пространственного анализа. В последние годы исследователи успешно апробировали подход, базирующийся на интеграции снимков ночной освещенности и высокоразрешающей космической съемки. Интенсивность искусственного света в ночное время служит надежным прокси-индикатором концентрации социально-экономической активности и фактического освоения территорий. Совместное использование этих массивов данных позволяет локализовать зоны депопуляции, оценить интенсивность использования городского пространства и выявить территории, пригодные для дальнейшего использования либо требующие экологической реабилитации и реновации. Отказ от привязки к административным границам в пользу анализа реальных физических контуров застройки существенно повышает достоверность выделяемых типов сжимающихся поселений.

Адаптация передовых методов геопространственного мониторинга к отечественным реалиям открывает новые возможности для типологизации депрессивных поселений. Российские моногорода обладают уникальной историко-географической спецификой, обусловленной масштабами ресурсной

экономики и особенностями расселения, что делает прямое заимствование зарубежных классификаций некорректным. В связи с этим целью настоящего исследования выступает разработка научно обоснованной классификации типов сжатия российских моногородов на основе комплексного анализа демографической динамики, пространственно-временных паттернов ночной освещенности и показателей деградации городской застройки. Полученные результаты позволят детализировать картину пространственной трансформации монопрофильных поселений и сформировать эмпирическую базу для выработки дифференцированных стратегий адаптивного управления их территориальным развитием в условиях продолжающейся структурной перестройки национальной экономики.

Степень разработанности проблемы исследования. Традиционная парадигма отечественной географии расселения на протяжении десятилетий опиралась на концепцию неуклонного роста урбанизированных территорий. Однако постиндустриальный переход и структурные сдвиги в ресурсной экономике обнажили феномен устойчивого сжатия городского пространства. Если в западной и восточноазиатской географической литературе проблемы депопуляции и упадка монопрофильных поселений изучаются достаточно давно, то российский научный дискурс лишь недавно начал системно осмыслять эту реальность [9], [10].

Современные исследования всё чаще обращаются к данным дистанционного зондирования Земли, в частности к снимкам ночной освещённости (NTL), рассматривая их как универсальный прокси-индикатор социально-экономической активности [11-13]. Тем не менее применение в России методик, разработанных для стран с высокой плотностью застройки и иными климатическими условиями, связано с серьёзными методологическими ограничениями. Интенсивность искусственного света в условиях Севера и Сибири искажается факторами снежного покрова, полярных ночей, а также спецификой работы промышленных предприятий, таких как факельные

установки газодобывающих комплексов или металлургических комбинатов. Кроме того, переход на светодиодное освещение в муниципальных образованиях искусственно завышает показатели яркости без реального роста экономической базы.

Ключевым пробелом в существующей литературе остаётся отсутствие типологии сжатия, которая учитывала бы разнородность этого процесса. Демографический спад, экономическая стагнация и физическая деградация застроенной территории часто протекают асинхронно. Город может терять население, но продолжать обслуживать инфраструктуру, рассчитанную на пиковые показатели советского периода [14-16]. Настоящее исследование направлено на преодоление одномерных подходов к оценке сжимающихся городов через разработку многофакторной типологии, основанной на кластеризации эмпирических данных, и выявление пространственного несоответствия между масштабом городской инфраструктуры и реальной численностью жителей.

Материалы и методы исследования. В работе используется сравнительно-типологический подход к изучению пространственной трансформации российских моногородов за 2002–2021 гг. Основную аналитическую группу образуют поселения, для которых рассматривается сокращение численности населения на 15 % и более относительно начала периода. Дополнительно в исследование включены сравнительные случаи с менее выраженной или неустойчивой демографической динамикой, позволяющие разграничить устойчивое сокращение населения и структурную перестройку городской территории без значительной депопуляции. Таким образом, исследуемая совокупность не определяется исключительно порогом убыли 15 %. Для сопоставления рассматриваются восемь городов: Воркута, Мончегорск, Киселёвск, Чусовой, Ленинск-Кузнецкий, Прокопьевск, Губкинский и Красноуральск. Основными аналитическими признаками выступают изменение численности населения, миграционное сальдо, динамика

ночной освещённости, характер использования жилищного фонда и состояние производственных территорий. По сочетанию указанных признаков формируется сравнительная типология пространственной трансформации.

Информационную базу составили данные переписей населения 2002, 2010 и 2021 годов, ежегодная миграционная статистика Росстата, а также сведения о занятости в градообразующем секторе. Для оценки пространственной активности привлекались растровые данные VIIRS за период 2012–2022 гг. При этом ночная освещённость использовалась как дополнительный пространственный слой, требующий обязательной корректировки с учётом техногенных засветок и климатических аномалий.

Для оценки пространственного сжатия используются сведения об изменении численности населения, динамике ночной освещённости VIIRS и структуре городской застройки. Снижение яркости ночного освещения рассматривается как косвенный признак изменения интенсивности использования территории, но не является достаточным доказательством пустования конкретного здания. Для идентификации жилищной вакантности необходимо учитывать сведения о фактическом заселении, состоянии помещений либо независимые данные соответствующего пространственного разрешения.

На первом этапе был сформирован массив показателей, включающий темп изменения численности населения, миграционное сальдо, динамику занятости, изменение интегральной яркости NTL, расчётный коэффициент жилищной вакантности и долю неиспользуемых производственных площадей. Для систематизации различий между моногородами используется сравнительная типологизация по пяти группам признаков: демографическая динамика, миграционный баланс, изменение ночной освещённости, предполагаемая доля неиспользуемого жилищного фонда и трансформация производственной застройки. На основании сочетания признаков выделены три аналитических типа: «инфраструктурный диссонанс», «точечная деградация» и «циклическая

адаптация».

Результаты исследования. Сравнительная оценка выделенных городов позволила сформировать три аналитических типа пространственной трансформации. Первый тип характеризуется выраженным расхождением между сокращением численности населения и сохранением протяжённой инженерно-коммунальной инфраструктуры. Второй тип связан с локальной деградацией отдельных промышленных и жилых участков при относительной устойчивости центральных частей городской территории. Третий тип включает сравнительные случаи с менее выраженными либо неоднородными изменениями численности населения и хозяйственной активности. Города третьего типа не следует автоматически относить к группе поселений, сокративших население не менее чем на 15 %. Их включение позволяет сопоставлять демографическое сжатие и пространственную адаптацию, но не расширяет исходное определение сжимающегося города (таблица 1).

Таблица 1 - Сравнительная типология пространственной трансформации российских моногородов

Характеристика / Кластер	Кластер I: «Инфраструктурный диссонанс»	Кластер II: «Точечная деградация»	Тип III: «Циклическая адаптация» — сравнительные случаи за пределами основной группы выраженного демографического сжатия
Города (примеры)	Воркута, Мончегорск	Киселёвск, Чусовой	Губкинский, Красноуральск
Темп убыли населения (2002-2021)	Критический (> 30%)	Умеренный (15–25%)	Незначительный или волнообразный (< 10%)
Миграционное сальдо	Стабильно отрицательное	Отрицательное, с периодами стабилизации	Близко к нулю за счёт вахтовой миграции
Динамика NTL (с поправкой на факелы)	Резкое снижение (до 40%)	Локальное снижение в периферийных зонах	Стабильное, слабое колебание
Доля жилищной вакантности	Высокая (> 25%), очаговая	Средняя (15-20%), рассредоточенная	Низкая (< 10%)
Площадь заброшенных территорий	Масштабная, слияние с природным ландшафтом	Точечная, вдоль транспортных коридоров	Минимальная, редевелопмент площадок

Источник: разработано автором.

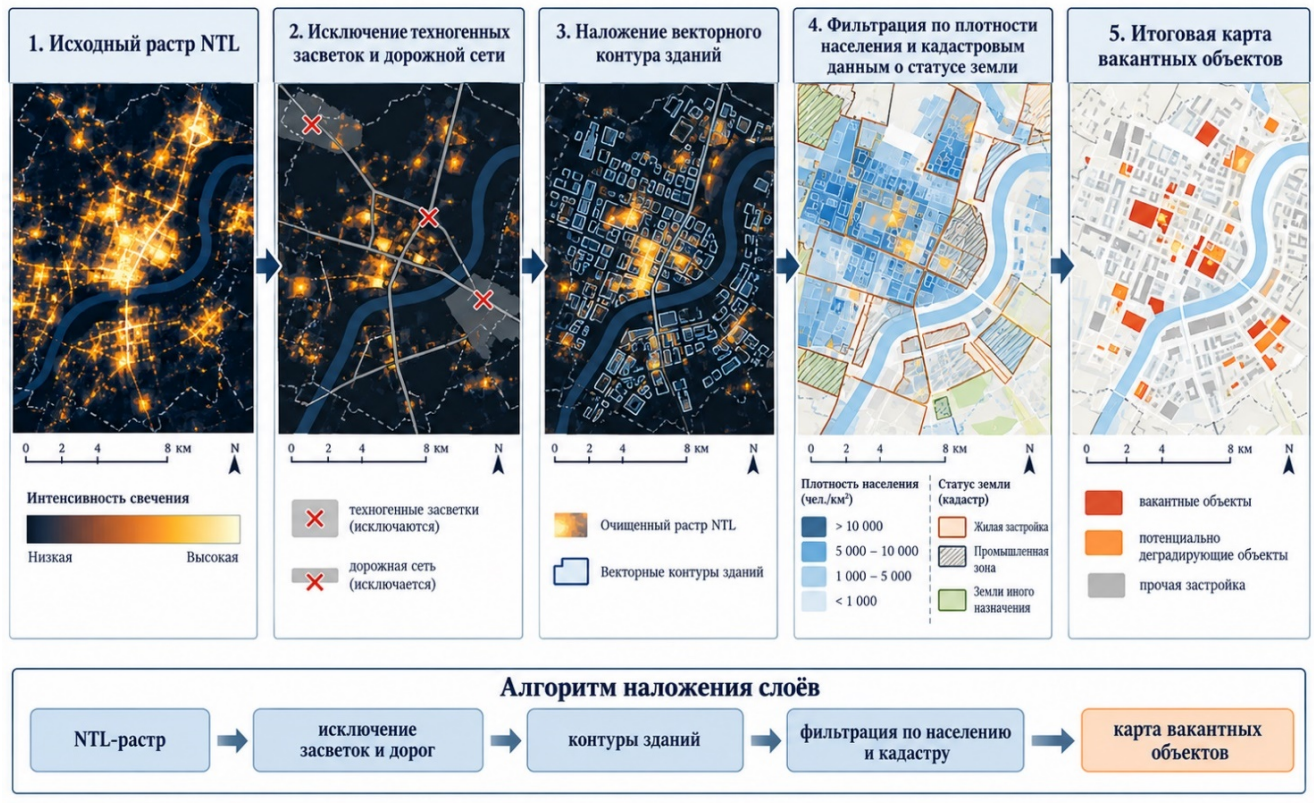


Рисунок 1 - Концептуальная схема многоисточниковой идентификации вакантности и деградации застройки (источник: разработано автором)

Анализ выявил фундаментальное несоответствие между демографическим и физическим сжатием. Наиболее ярко этот диссонанс проявляется в поселениях Кластера I. Воркута и Мончегорск потеряли значительную часть жителей, однако физический контур городской застройки и протяжённость инженерных сетей сократились непропорционально мало.

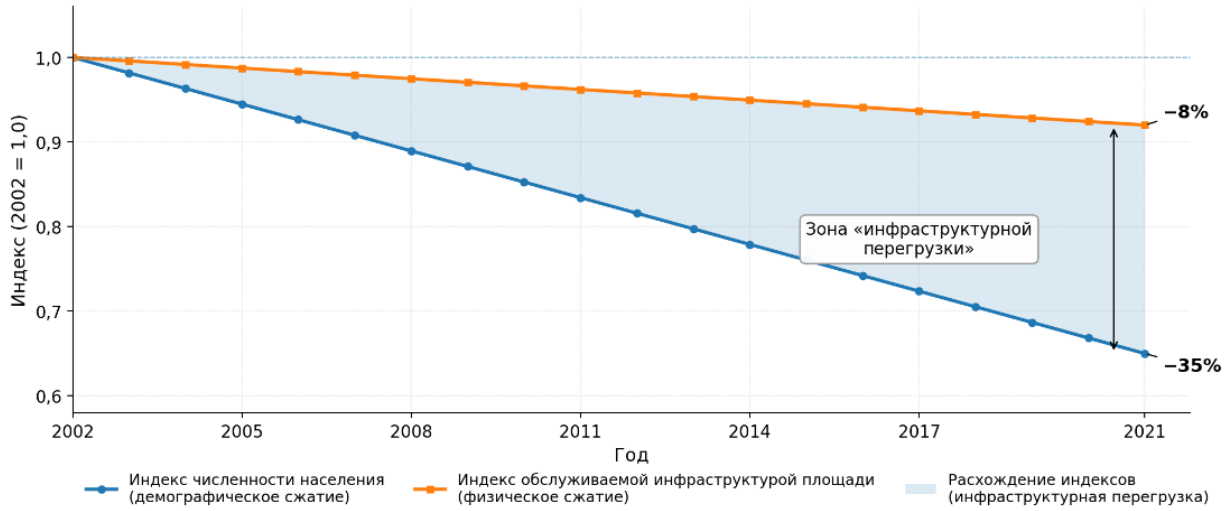


Рисунок 2 - Динамика расхождения индексов демографического и физического сжатия в моногородах Кластера I (2002–2021 гг.) (источник: разработано автором)

В городах Кузбасса (Кластер II) процесс сжатия носит характер точечной деградации. Закрытие нерентабельных шахт привело к формированию обширных заброшенных промышленных территорий, фрагментирующих городскую застройку. При этом центральные части городов сохраняют высокую плотность застройки и низкую вакантность, тогда как периферийные рабочие посёлки фактически превращаются в заброшенные территории, что подтверждается как снижением яркости NTL, так и полевыми обследованиями.

Специфика Кластера III (Губкинский) обусловлена тем, что снижение численности постоянного населения компенсируется притоком вахтового персонала, что поддерживает спрос на жильё и стабилизирует показатели ночной освещённости. Однако здесь возникает иная проблема: искажение данных NTL из-за работы газодобывающей инфраструктуры, что потребовало дополнительной фильтрации данных перед их использованием в анализе.

Обсуждение результатов исследования. Полученные результаты заставляют пересмотреть устоявшиеся подходы к управлению сжимающимися территориями. Концепция «умного сжатия», предполагающая плановую консолидацию инфраструктуры и реновацию, часто преподносится в литературе как универсальная и безальтернативная стратегия. Однако проведённый анализ

показывает, что применимость этих мер во многом зависит от типа пространственной трансформации.

Для моногородов Кластера I, где зафиксирован максимальный разрыв между численностью жителей и масштабом инфраструктуры, стратегия умного сжатия теоретически обоснована, однако её практическая реализация требует значительных затрат на демонтаж избыточных сетей и переселение жителей из зон высокой вакантности в компактные ядра. Игнорирование этого несоответствия повышает нагрузку на муниципальные бюджеты вследствие необходимости обслуживать пустующие кварталы.

В поселениях Кластера II, где доминирует точечная деградация и обилие заброшенных территорий, приоритетом становится не столько снос жилья, сколько экологическая реабилитация и изменение функционального зонирования промышленных зон. Здесь ночная освещённость выступает надёжным индикатором лишь при условии её верификации кадастровыми данными, поскольку многие промышленные площадки остаются собственностью банкротящихся предприятий и формально не числятся заброшенными.

Необходимо также подчеркнуть методологические ограничения использования данных NTL в российских широтах. Снежный покров, обладающий высоким альбедо, многократно усиливает рассеянный свет уличных фонарей, создавая иллюзию стабильности освоенного пространства. В то же время промышленные факелы в Губкинском или Киселёвске генерируют аномальные пики яркости, не имеющие отношения к жизнедеятельности городского населения. Именно поэтому слои ночной освещённости не могут подменять собой демографическую статистику и данные о жилищном фонде, а должны интегрироваться в единую геоинформационную модель.

Выявленная типология несоответствия между демографическим и физическим масштабом города имеет важное практическое значение для территориального планирования. Признание того факта, что городская

территория может «сжиматься» в экономическом и демографическом смыслах, сохраняя при этом избыточный физический масштаб, требует разработки новых нормативов обеспеченности инфраструктурой для депрессивных регионов. Переход от обслуживания всей исторически сложившейся застройки к приоритетному обслуживанию компактных узлов расселения становится важным условием устойчивого функционирования моногородов в условиях продолжающейся структурной перестройки национальной экономики.

Выводы. Проведённое исследование выявило существенное несоответствие, характерное для современных российских моногородов: физический контур их застройки изменяется значительно медленнее, чем демографические и экономические показатели. Обращение к данным ночной освещенности, скорректированным с учетом климатических и техногенных факторов, позволило зафиксировать устойчивое сохранение обширных зон низкой активности на периферии исторически сложившихся поселений. Как показал анализ, городская ткань не «сжимается» синхронно с оттоком населения. Напротив, наблюдается расширение зон пустующей застройки: покинутые жилые кварталы и заброшенные промышленные площадки формируют территории выраженной физической деградации, который административная статистика зачастую просто не в состоянии корректно отразить из-за привязки к жестким границам муниципалитетов.

Интерпретация результатов многомерной кластеризации (см. Таблицу 1) подводит к важному выводу о невозможности применения универсальных рецептов территориального управления. Выявленные типы сжатия диктуют совершенно различные подходы к организации городского пространства. В поселениях, где зафиксирован максимальный разрыв между численностью жителей и масштабом обслуживаемой инфраструктуры, адаптационные меры должны быть направлены на жесткую консолидацию жилого фонда. В таких случаях муниципалитетам приходится переходить от обслуживания разветвлённой сети инфраструктуры к приоритетному обслуживанию

компактных ядер расселения, что требует колоссальных капиталовложений в демонтаж избыточных коммуникаций и переселение граждан из зон высокой вакантности.

В то же время для городов, переживающих точечную деградацию и накопление массивов заброшенных территорий, приоритеты пространственной адаптации смещаются в плоскость экологической реабилитации и функционального редевелопмента. Визуализация расхождения индексов демографического и физического сжатия (Рисунок 2) наглядно подтверждает, что инерционное сохранение дорожной сети и инженерных узлов в условиях убывающего населения ведет к хроническому дефициту местных бюджетов. Следовательно, стратегия адаптации здесь должна опираться на точное картирование вакантных объектов, полученное посредством наложения растровых моделей населения на векторные контуры застройки. Только такой многоисточниковый подход позволяет отделить реально деградирующие жилые массивы от временно неосвещенных промышленных зон или транспортных артерий.

Концепция «умного сжатия», разработанная преимущественно в зарубежной литературе, требует адаптации к российским условиям, в которых развитие градообразующей базы моногородов во многом определяется ресурсной специализацией и природно-климатическими факторами. Особое значение при проектировании пространственной адаптации северных и сибирских моногородов имеет сохранение устойчивости инженерных систем. В условиях централизованного теплоснабжения отключение отдельных участков или сокращение тепловой нагрузки может влиять на гидравлические режимы и экономику эксплуатации общей сети. Однако степень этих последствий определяется конкретной конфигурацией системы, техническим состоянием оборудования, сезонными условиями и возможностями локальной реконструкции.

Таким образом, будущее российских моногородов лежит не в плоскости

искусственного стимулирования демографического роста, который в большинстве случаев уже невозможен в силу объективных макроэкономических тенденций. Ключевым направлением территориального развития становится адаптивное управление, учитывающее фактическую интенсивность использования городского пространства. Переход от нормативов, рассчитанных на пиковые показатели советской индустриальной эпохи, к гибким стандартам, базирующимся на фактической плотности расселения и интенсивности использования застройки, становится не просто инструментом оптимизации расходов. Это необходимое условие для выживания монопрофильных поселений, позволяющее трансформировать неизбежное пространственное сжатие из фактора системного кризиса в управляемый процесс качественного обновления городской среды.

Список литературы

1. Кириллов П. Л., Махрова А. Г., Балабан М. О., Гао Л. Сжимающиеся города в России в постсоветский период // Региональные исследования. 2023. № 1 (79). С. 4–18. DOI: 10.5922/1994-5280-2023-1-1.

2. Tan Z., Xiang S., Wang J., Chen S. Identification and Measurement of Shrinking Cities Based on Integrated Time-Series Nighttime Light Data: An Example of the Yangtze River Economic Belt // Remote Sensing. 2023. Vol. 15. No. 15. Art. 3797. DOI: 10.3390/rs15153797.

3. Барышкин П. А., Макушин М. А. Городское сжатие в моногородах России: экономико-географический анализ // Природные опасности: связь науки и практики: материалы III Международной научно-практической конференции. Саранск: Изд-во Мордовского университета, 2023. С. 679–684.

4. He T., Song H., Chen W. Recognizing the Transformation Characteristics of Resource-Based Cities Using Night-Time Light Remote Sensing Data: Evidence from 126 Cities in China // Resources Policy. 2023. Vol. 85, Pt. A. Art. 104013. DOI: 10.1016/j.resourpol.2023.104013.

5. Li Y., Meng X., Zhao H., Li W., Long Y. Identifying Abandoned Buildings in

Shrinking Cities with Mobile Sensing Images // Urban Informatics. 2023. Vol. 2. Art. 3. DOI: 10.1007/s44212-023-00025-5.

6. Барышкин П. А., Алексеенко Н. А., Медведев А. А., Батунова Е. Ю., Хропов А. Г. Картографирование структуры жилищного фонда моногородов в целях анализа городского сжатия // Геодезия и картография. 2025. № 1. С. 30–40. DOI: 10.22389/0016-7126-2025-1015-1-30-40.

7. Sun H., Zhou G., Liu Y., Fu H., Jin Y. Housing Vacancy Identification in Shrinking Cities Based on Multi-Source Data: A Case Study of Fushun City in Northeast China // Journal of Geographical Sciences. 2024. Vol. 34. No. 1. P. 89–111. DOI: 10.1007/s11442-024-2196-0.

8. Han J., Hu Z., Sajadi P., Li S., Zhang Y., Cui R., Pilla F. Evaluating Urban Development in China's Resource-Based Cities: A New Perspective Using Nighttime Light Data // International Journal of Digital Earth. 2024. Vol. 17. No. 1. Art. 2349747. DOI: 10.1080/17538947.2024.2349747.

9. Sarif N., Roy A. K. Measuring Urban Shrinkage in India Using Night-Light Data from DMSP-OLS and VIIRS-NPP Satellite Sensors // Cities. 2024. Vol. 152. Art. 105176. DOI: 10.1016/j.cities.2024.105176.

10. Барышкин П. А., Алексеенко Н. А. Изменение территориальной структуры жилищного фонда моногорода на примере г. Кировска Мурманской области // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2025. Т. 80. № 4. С. 3–14. DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.4.1.

11. Chen S., Cheng C. Monitoring Fine-Scale Urban Shrinkage Space with NPP-VIIRS Imagery // Remote Sensing. 2025. Vol. 17. No. 4. Art. 688. DOI: 10.3390/rs17040688.

12. Dong B., Zhang R., Li S., Ye Y., Huang C. A Meta-Analysis for the Nighttime Light Remote Sensing Data Applied in Urban Research: Key Topics, Hotspot Study Areas and New Trends // Science of Remote Sensing. 2025. Vol. 11. Art. 100186. DOI: 10.1016/j.srs.2024.100186.

13. Yu W., Zhang S., Zhong Y., Wang H., Yang Y., Pang E., Jing T., Zou H., Zhou H. How Can Resource-Based Cities Respond to Urban Shrinkage Within a Resilience

Framework // Journal of Cleaner Production. 2025. Vol. 530. Art. 146886. DOI: 10.1016/j.jclepro.2025.146886.

14. Кириллов П. Л., Махрова А. Г., Сафронов С. Г. Сжимающиеся города постсоветской России и Казахстана: общие и индивидуальные тенденции // Известия РАН. Серия географическая. 2026. Т. 90. № 1. С. 82–98. DOI: 10.7868/S2658697526010062.

15. Smirnov I. P., Lebedev P. S., Smirnova A. A. Small Cities of Central Russia: Spatial Growth in the Context of Demographic Shrinkage // Bulletin of the RAS. Geography. 2026. Vol. 90. No. 1. P. 99–112. DOI: 10.7868/S2658697526010078.

16. Zheng H., Zhang R., Wang R., Xu J., Li X. Environmental Drivers of Urban Shrinkage in the Tokyo Metropolitan Area: A Machine Learning Analysis of Nonlinearity and Spatial Heterogeneity // Habitat International. 2026. Vol. 172. Art. 103795. DOI: 10.1016/j.habitatint.2026.103795.

References

1. Kirillov P. L., Maxrova A. G., Balaban M. O., Gao L. Szhimayushhiesya goroda v Rossii v postsovetskij period // Regional`ny`e issledovaniya. 2023. № 1 (79). S. 4–18. DOI: 10.5922/1994-5280-2023-1-1.

2. Tan Z., Xiang S., Wang J., Chen S. Identification and Measurement of Shrinking Cities Based on Integrated Time-Series Nighttime Light Data: An Example of the Yangtze River Economic Belt // Remote Sensing. 2023. Vol. 15. No. 15. Art. 3797. DOI: 10.3390/rs15153797.

3. Bary`shkin P. A., Makushin M. A. Gorodskoe szhatie v monogorodax Rossii: e`konomiko-geograficheskij analiz // Prirodny`e opasnosti: svyaz` nauki i praktiki: materialy` III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Saransk: Izd-vo Mordovskogo universiteta, 2023. S. 679–684.

4. He T., Song H., Chen W. Recognizing the Transformation Characteristics of Resource-Based Cities Using Night-Time Light Remote Sensing Data: Evidence from 126 Cities in China // Resources Policy. 2023. Vol. 85, Pt. A. Art. 104013. DOI: 10.1016/j.resourpol.2023.104013.

5. Li Y., Meng X., Zhao H., Li W., Long Y. Identifying Abandoned Buildings in Shrinking Cities with Mobile Sensing Images // Urban Informatics. 2023. Vol. 2. Art. 3. DOI: 10.1007/s44212-023-00025-5.

6. Bary`shkin P. A., Alekseenko N. A., Medvedev A. A., Batunova E. Yu., Xropov A. G. Kartografirovanie struktury` zhilishhnogo fonda monogorodov v celyax analiza gorodskogo szhatiya // Geodeziya i kartografiya. 2025. № 1. S. 30–40. DOI: 10.22389/0016-7126-2025-1015-1-30-40.

7. Sun H., Zhou G., Liu Y., Fu H., Jin Y. Housing Vacancy Identification in Shrinking Cities Based on Multi-Source Data: A Case Study of Fushun City in Northeast China // Journal of Geographical Sciences. 2024. Vol. 34. No. 1. P. 89–111. DOI: 10.1007/s11442-024-2196-0.

8. Han J., Hu Z., Sajadi P., Li S., Zhang Y., Cui R., Pilla F. Evaluating Urban Development in China's Resource-Based Cities: A New Perspective Using Nighttime Light Data // International Journal of Digital Earth. 2024. Vol. 17. No. 1. Art. 2349747. DOI: 10.1080/17538947.2024.2349747.

9. Sarif N., Roy A. K. Measuring Urban Shrinkage in India Using Night-Light Data from DMSP-OLS and VIIRS-NPP Satellite Sensors // Cities. 2024. Vol. 152. Art. 105176. DOI: 10.1016/j.cities.2024.105176.

10. Bary`shkin P. A., Alekseenko N. A. Izmenenie territorial`noj struktury` zhilishhnogo fonda monogoroda na primere g. Kirovska Murmanskoj oblasti // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya. 2025. T. 80. № 4. S. 3–14. DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.4.1.

11. Chen S., Cheng C. Monitoring Fine-Scale Urban Shrinkage Space with NPP-VIIRS Imagery // Remote Sensing. 2025. Vol. 17. No. 4. Art. 688. DOI: 10.3390/rs17040688.

12. Dong B., Zhang R., Li S., Ye Y., Huang C. A Meta-Analysis for the Nighttime Light Remote Sensing Data Applied in Urban Research: Key Topics, Hotspot Study Areas and New Trends // Science of Remote Sensing. 2025. Vol. 11. Art. 100186. DOI: 10.1016/j.srs.2024.100186.

13. Yu W., Zhang S., Zhong Y., Wang H., Yang Y., Pang E., Jing T., Zou H., Zhou H.

How Can Resource-Based Cities Respond to Urban Shrinkage Within a Resilience Framework // Journal of Cleaner Production. 2025. Vol. 530. Art. 146886. DOI: 10.1016/j.jclepro.2025.146886.

14. Kirillov P. L., Maxrova A. G., Safronov S. G. Szhimayushhiesya goroda postsovetskoj Rossii i Kazaxstana: obshhie i individual`ny`e tendencii // Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya. 2026. T. 90. № 1. S. 82–98. DOI: 10.7868/S2658697526010062.

15. Smirnov I. P., Lebedev P. S., Smirnova A. A. Small Cities of Central Russia: Spatial Growth in the Context of Demographic Shrinkage // Bulletin of the RAS. Geography. 2026. Vol. 90. No. 1. P. 99–112. DOI: 10.7868/S2658697526010078.

16. Zheng H., Zhang R., Wang R., Xu J., Li X. Environmental Drivers of Urban Shrinkage in the Tokyo Metropolitan Area: A Machine Learning Analysis of Nonlinearity and Spatial Heterogeneity // Habitat International. 2026. Vol. 172. Art. 103795. DOI: 10.1016/j.habitatint.2026.103795.

Статья поступила в редакцию 05.02.2026; одобрена после рецензирования 26.03.2026; принята к публикации 30.08.2026.

The article was submitted 05.02.2026; approved after peer review 26.03.2026; accepted for publication 30.08.2026.

Научная статья

УДК 911.3:338.43:551.583

АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ И РЫНОЧНЫЕ ФАКТОРЫ ИЗМЕНЕНИЙ В РАЗМЕЩЕНИИ ТОВАРНОГО РАСТЕНИЕВОДСТВА НА ЮГЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И В ЧЕРНОЗЕМЬЕ

Хомидов Анвар Шеринович, кандидат географических наук, ведущий специалист, Национальная академия наук Таджикистана, Таджикистан, Душанбе, anvar.khomidov@rambler.ru

Аннотация. Пространственная организация российского товарного растениеводства меняется под совместным воздействием агроклиматических, рыночных, технологических и земельно-ресурсных факторов. Повышение теплообеспеченности расширяет потенциальный ареал теплолюбивых и позднеспелых культур, однако само по себе не предопределяет географию фактического производства: хозяйства принимают решение о структуре посевов с учётом увлажнения, ценовой конъюнктуры, доступности переработки, транспортных издержек, качества земель и применяемых технологий. Цель исследования состояла в установлении характера пространственной трансформации товарного растениеводства Юга Европейской России и Центрально-Чернозёмного региона и в проверке гипотезы о том, что наблюдаемые изменения нельзя свести к единому северо-восточному перемещению зон производства.

Информационную основу составили длительные региональные ряды Росстата по посевным площадям, валовым сборам и урожайности, актуальные материалы Росгидромета, результаты исследований агроклиматической динамики, публикации о землепользовании и данные дистанционного зондирования. Анализ охватывает подсолнечник, сою, рапс и сахарную свёклу; для пространственных сопоставлений использован преимущественно период 2005–2024 гг., а для сои, по которой имеется сопоставимый детализированный ряд, —

2007–2023 гг. Изменение валового производства анализируется с раздельным учётом динамики посевной площади и урожайности.

Установлено, что наиболее отчётливое изменение географии произошло в соеводстве. Совокупная доля Белгородской, Воронежской, Курской, Липецкой и Тамбовской областей в российской площади сои увеличилась примерно с 4,8 % в 2007 г. до 32,8 % в 2023 г., тогда как доля Краснодарского края сократилась с 18,7 до 4,7 %. Подсолнечник демонстрирует иную траекторию: традиционное южное ядро сохраняется, но относительная концентрация производства в нём ослабевает на фоне расширения посевов в других регионах. У сахарной свёклы пространственные изменения сильнее привязаны к перерабатывающей базе и транспортно-сырьевым связям, чем к простой широтной закономерности. Рапс показывает широкую территориальную экспансию, причём в 2024 г. увеличение его валового сбора произошло преимущественно вследствие расширения посевной площади при одновременном снижении средней урожайности. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что северный и северо-восточный сдвиг проявляется лишь частично и по-разному для отдельных культур. Потепление формирует новые агроклиматические возможности, но реальная территориальная структура товарного растениеводства складывается в результате взаимодействия природной пригодности земель с экономической доходностью, инфраструктурой переработки и технологической адаптацией.

Ключевые слова: товарное растениеводство; агроклиматические ресурсы; территориальная специализация; посевные площади; валовой сбор; рыночные факторы.

Original article

SPATIAL TRANSFORMATION OF COMMERCIAL CROP PRODUCTION IN THE SOUTH OF EUROPEAN RUSSIA AND THE BLACK EARTH REGION: THE ROLE OF AGROCLIMATIC AND MARKET FACTORS

Khomidov Anvar Sherinovich, Candidate of Geographical Sciences, Leading Specialist, National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan, anvar.khomidov@rambler.ru

Abstract. The spatial organization of Russian commercial crop production is changing under the combined influence of agroclimatic, market, technological, and land-resource factors. Increased heat availability expands the potential range of heat-loving and late-ripening crops, but does not in itself determine the geography of actual production: farms decide on cropping patterns based on moisture, price conditions, processing availability, transportation costs, land quality, and the technologies used. The aim of the study was to establish the nature of the spatial transformation of commercial crop production in southern European Russia and the Central Black Earth Region and to test the hypothesis that the observed changes cannot be reduced to a single northeastward shift in production zones.

The information base consisted of long-term regional Rosstat data on sown areas, gross harvests, and yields, current Roshydromet data, the results of studies on agroclimatic dynamics, publications on land use, and remote sensing data. The analysis covers sunflower, soybeans, rapeseed, and sugar beet; the period 2005–2024 is primarily used for spatial comparisons, while 2007–2023 is used for soybeans, for which a comparable detailed dataset is available. Changes in gross production are analyzed separately by area and yield.

It was found that the most pronounced geographic shift occurred in soybean production. The combined share of the Belgorod, Voronezh, Kursk, Lipetsk, and Tambov regions in Russia's soybean area increased from approximately 4.8% in 2007 to 32.8% in 2023, while the share of Krasnodar Krai decreased from 18.7% to 4.7%.

Sunflower production is showing a different trajectory: the traditional southern core remains, but the relative concentration of production there is weakening amid the expansion of crops in other regions. In sugar beet, spatial changes are more closely tied to the processing base and transport and raw material connections than to a simple latitudinal pattern. Rapeseed exhibits extensive territorial expansion, with the increase in its gross harvest in 2024 primarily due to an expansion of the cultivated area, while the average yield decreased. The results obtained suggest a partial, crop-specific nature of the northern and northeastern shift. Warming creates new agroclimatic opportunities, but the actual territorial structure of commercial crop production is determined by the interaction between the natural suitability of the land, economic profitability, processing infrastructure, and technological adaptation.

Keywords: commercial crop production; agroclimatic resources; regional specialization; sown area; gross harvest; market factors.

Введение. Сельскохозяйственное пространство Европейской России в течение последних двух десятилетий меняется не только количественно. Изменяется само соотношение территорий, культур и хозяйственных функций. Регионы, которые ещё в начале XXI в. занимали периферийное положение в производстве отдельных масличных культур, превратились в крупные специализированные зоны; одновременно в старых центрах доля некоторых культур в общероссийской структуре стала уменьшаться, хотя абсолютные объёмы сельскохозяйственной деятельности там остаются значительными. Такая динамика требует именно экономико-географического объяснения. Простое сопоставление валовых сборов не показывает, за счёт чего выросло производство, а перенос климатического тренда непосредственно на карту сельского хозяйства смешивает природную возможность выращивания культуры с экономическим решением о её размещении.

Официальная статистика позволяет рассматривать эти изменения на длинном временном отрезке. В актуальном сборнике «Регионы России.

Социально-экономические показатели. 2025» приложение по субъектам содержит годовые динамические ряды за 2000–2024 гг.; публикация «Сельское хозяйство в России. 2025» объединяет сведения о посевных площадях, валовых сборах, урожайности и переработке. Это особенно важно для поставленной задачи, поскольку короткий интервал в три-пять лет плохо отделяет долговременную перестройку специализации от реакции хозяйств на отдельный урожайный год, ценовой цикл или засуху.

Климатический фон действительно изменяется. Исследование Е. В. Гуреевой для Нечерноземной зоны России за 1981–2023 гг. выявило увеличение суммы активных температур приблизительно на 200–250 °С, уменьшение осадков вегетационного периода на 20–40 мм и снижение гидротермического коэффициента Селянинова на 0,1–0,3; изотермы суммы активных температур сместились в сторону более высоких широт на 150–200 км [2]. Сходный по смыслу результат получен М. Е. Белышкиной применительно к возможности возделывания сои в Центральном Нечерноземье [9]. Однако одновременно с увеличением тепловых ресурсов меняется влагообеспеченность, а потому более продолжительный тёплый период нельзя считать безусловным улучшением агроклиматических условий.

Именно это различие между климатической пригодностью и фактическим размещением производства имеет принципиальное значение. Международная работа S. Heikonen и соавторов показывает, что потепление способно повышать потенциальное разнообразие культур в средних и высоких широтах, тогда как низкие широты, напротив, сталкиваются с сокращением климатически подходящих ниш [11]. Но карта потенциальной пригодности не является картой будущих посевов. Землепользователь выбирает культуру из экономически приемлемых вариантов: оценивает ожидаемую выручку, затраты, наличие семян и техники, условия сбыта и расстояние до переработчика. К этому добавляется разное качество земель и различная способность хозяйств компенсировать дефицит влаги посредством орошения или более совершенной агротехники.

На этом основании в работе проверяется гипотеза о пространственно неоднородной трансформации товарного растениеводства. Предполагается, что потепление облегчает продвижение части культур в более северные районы, но направление фактического сдвига различается в зависимости от биологии культуры и её места в производственно-сбытовой цепочке. Для сои можно ожидать выраженного роста роли Центрально-Черноземного региона. Для сахарной свёклы более существенным ограничением остаётся доступность переработки, поскольку увеличение расстояния перевозки сырья повышает издержки. У подсолнечника сохранение традиционного южного ядра сочетается с расширением ареала производства, а у рапса реакция посевных площадей на изменение цен может проявляться быстрее, чем долгосрочные агроклиматические изменения.

Объектом исследования является территориальная система товарного растениеводства Юга Европейской России и Центрально-Черноземного региона. В южную сравнительную группу включаются прежде всего Краснодарский и Ставропольский края, Ростовская и Волгоградская области; центрально-черноземное ядро представлено Белгородской, Воронежской, Курской, Липецкой и Тамбовской областями. Для отдельных сопоставлений учитываются соседние регионы, если динамика конкретной культуры показывает выход за пределы названного ядра.

Предмет исследования — пространственные изменения специализации, выраженные в долговременном перераспределении посевных площадей, валового производства и относительного веса регионов, а также совокупность условий, при которых эти изменения закрепляются. Такая постановка непосредственно относится к проблематике экономической географии: речь идёт о территориальной организации производства, изменении региональной специализации, взаимодействии природных предпосылок с рыночными и инфраструктурными факторами и преобразовании сельскохозяйственного землепользования.

Цель работы заключается в выявлении культурно-специфичных закономерностей пространственной трансформации товарного растениеводства и в оценке того, насколько наблюдаемые изменения соответствуют представлению о северном и северо-восточном смещении зон производства. Поставленная цель требует отказаться от трактовки любого роста валового сбора как пространственной экспансии. Урожай может увеличиться на прежней площади вследствие удачных погодных условий, внедрения более продуктивного сорта или изменения технологии. И наоборот, расширение посевов иногда сопровождается падением урожайности, поэтому само производство растёт значительно медленнее земельной экспансии. События 2024 г. в соеводстве и рапсоводстве дают особенно наглядный пример такого расхождения.

Обзор литературы. Современные исследования аграрного пространства постепенно отходят от представления о сельскохозяйственной специализации как о сравнительно устойчивом отражении природной зональности. Климат остаётся базовым ограничителем, однако границы фактически возделываемых культур двигаются не синхронно с изотермами. В Нечерноземной зоне накопление тепловых ресурсов за последние десятилетия действительно расширило возможности соеводства, но одновременно уменьшение гидротермического коэффициента усилило роль влагообеспеченности [2, 9]. В Башкортостане пространственные проявления потепления также оказались неодинаковыми; изменение теплового режима сопровождается усилением засушливости в ряде территорий [12]. Следовательно, климатический сдвиг может одновременно снять одно ограничение и усилить другое.

Публикации последних лет по соеводству позволяют увидеть, как эта природная возможность превращается в экономико-географическое изменение. М. О. Синеговский установил, что в 2023 г. Центральный федеральный округ стал крупнейшим российским производителем сои с валовым сбором около 3 млн т. В начале XXI в. значительная часть центральных областей практически не

имела крупного соевого производства, тогда как к 2023 г. Курская, Белгородская, Воронежская, Тамбовская, Орловская и Липецкая области входили в число ведущих российских регионов по площади культуры [3]. Автор отдельно подчёркивает, что увеличение производства связано одновременно с расширением посевов и с ростом продуктивности. Для экономико-географического анализа этот вывод особенно ценен: новая специализация складывается не как простое движение границы возделывания, а как закрепление культуры внутри высокоинтенсивного аграрного района.

Сама площадь пашни тоже не является неподвижным фоном. D. I. Rukhovich и соавторы на основе ретроспективного картографирования за 1985–2025 гг. показывают масштабное выбытие, последующее перераспределение и частичное возвращение российских пахотных земель в хозяйственный оборот [4]. Для оценки нынешних сдвигов это означает необходимость отличать замещение одной культуры другой от освоения ранее неиспользовавшейся пашни. На снимке одного года оба процесса могут выглядеть как расширение земледелия, но их экономико-географический смысл различен. Первое отражает изменение специализации уже освоенной территории; второе меняет саму интенсивность использования земельного фонда.

Дистанционное зондирование существенно расширяет возможности такого разграничения, хотя только при правильной постановке задачи. K. Dubrovin с соавторами использовали многолетние спутниковые ряды для картирования пахотных земель в Хабаровском крае [7]. C. Abys, S. Skakun и L. Shumilo показали применимость временных рядов Sentinel-1 для сезонного картирования озимых в России: к началу августа точность пользователя достигала 0,84, а точность производителя — 0,93 [8]. Эти результаты подтверждают, что спутниковые данные пригодны для аграрного мониторинга, но лишь при оценке ошибок классификации. Обычная карта Land Cover не даёт достаточных оснований для утверждения, что конкретный участок занят соей, рапсом или подсолнечником.

Не менее существен организационный уровень сельского хозяйства. К. А. Морачевская, Е. А. Лыжина, А. Б. Себенцов и М. С. Карпенко показали, что распространение агрохолдингов меняет отраслевую и территориальную структуру сельского хозяйства, причём для анализа авторы привлекали не только статистику, но и данные компаний, информационные системы и полевые материалы [5]. Отсюда следует важное терминологическое ограничение. Пространственная концентрация посевов сама по себе ещё не доказывает существование агропромышленного кластера. Последний предполагает устойчивое территориальное сопряжение производства сырья, переработки, хранения, корпоративных структур и логистики. Когда такая информационная база отсутствует, корректнее говорить о пространственном ядре специализации либо о кластере интенсивного товарного земледелия.

Связь между природными условиями и результатом производства дополнительно усложняет технологическая неоднородность хозяйств. Работа М. Г. Загоруйко, М. Е. Белышкиной и М. С. Садаева на материале Саратовской области показывает, насколько сильно орошение меняет допустимые условия соеводства в засушливой среде [13]. Л. А. Журавлева, А. Алдибаб и Ю. Н. Грепчук обращают внимание на влияние внутриполевой пространственной неоднородности свойств земель и дифференцированных технологий на урожайность [17]. Поэтому одинаковая погодная аномалия не приводит к одинаковому производственному результату даже в соседних хозяйствах.

Наконец, в исследовании J. M. Galeana-Pizaña и соавторов, опубликованном в 2026 г., изменение сельскохозяйственного землепользования анализируется на муниципальном уровне через национальный, региональный и соседский эффекты. Авторы отдельно обосновывают использование посевной площади: этот показатель аддитивен и пространственно сопоставим, в отличие от валового выпуска, который одновременно зависит от площади и продуктивности [6]. Для российской задачи такой выбор особенно оправдан, поскольку увеличение урожая без расширения земли не должно

интерпретироваться как пространственный сдвиг.

Совокупность рассмотренных работ приводит к иной постановке вопроса, чем простое выявление направления движения агроклиматических зон. Исследовать следует не то, перемещается ли сельское хозяйство на север вообще, а то, какие культуры, на каких территориях и при каких экономических условиях превращают новую климатическую возможность в устойчивую производственную специализацию. Именно в этом месте соединяются физико-географическая динамика, экономика землепользования и территориальная организация аграрного производства.

Методы исследования. Основу количественного анализа составляют статистические сведения о посевных площадях, урожайности и валовом сборе основных товарных культур, приведённые по регионам юга Европейской России и Центрального Черноземья. Для подсолнечника и сахарной свёклы используется сравнительный период 2005–2024 гг.; для сои — детализированные показатели 2007–2023 гг. с отдельным привлечением сведений за 2024 год. Дополнительные материалы об агроклиматических условиях, рыночных факторах и развитии переработки используются для содержательной интерпретации изменений территориальной специализации. Валовой сбор определяется через произведение убранной площади и урожайности, рассчитываемой на один гектар убранной площади. Посевная площадь учитывается отдельно как характеристика территориального размещения культуры.

Таблица 1 — Информационная база и аналитическое назначение показателей

Блок данных	Основные показатели	Пространственный уровень	Назначение в исследовании
Росстат	посевная площадь, валовой сбор, урожайность	субъект РФ	выявление долговременного перераспределения производства
Росгидромет и современные агроклиматические исследования	сумма активных температур, продолжительность вегетации, осадки, ГТК, засушливость, температурные экстремумы	регион / агроклиматическая зона	оценка изменения природных ограничений
Landsat, Sentinel-1, Sentinel-2	пахотные земли, устойчивость использования, специфические классы при наличии обучающей выборки	поле / пиксель / муниципальная территория	разграничение устойчивого землепользования, залежи и повторного освоения
Рыночные и отраслевые материалы	изменение спроса, экспорт, развитие переработки	РФ / регион	объяснение хозяйственного выбора культуры
Данные о технологиях	орошение, сортовой состав, интенсивность земледелия	регион / хозяйство	отделение климатического воздействия от технологической адаптации

Источник: разработано автором по [1–17].

Агроклиматический блок нельзя сводить к средней годовой температуре. Для растениеводства важнее тепло, накопленное в период биологически активных температур, продолжительность безморозного и вегетационного периодов, количество осадков в критические фазы развития, гидротермический коэффициент, число эпизодов засухи и воздействие экстремальной жары. Доклад Росгидромета за 2025 г. продолжает государственный ряд мониторинга климатических аномалий и содержит отдельный анализ агроклиматических условий [10]. Эти показатели позволяют проверить, улучшилась ли именно сельскохозяйственная температурная пригодность территории.

Первое аналитическое разграничение касается площади и продуктивности.

Валовой сбор культуры Q определяется произведением посевной либо убранной площади A на урожайность Y. Для двух моментов времени изменение выпуска представляется как

$$\Delta Q = Y_0 \Delta A + A_0 \Delta Y + \Delta A \Delta Y \quad (1)$$

Первое слагаемое характеризует эффект изменения земельной площади при исходной урожайности; второе отражает изменение продуктивности на исходной площади; третье показывает совместное действие обоих процессов. Такая запись не требует причинного толкования и вместе с тем не позволяет ошибочно объявить любой прирост валового сбора территориальным расширением производства.

Для анализа долговременного перераспределения земель применим пространственный вариант метода shift-share. В качестве базового показателя выступает площадь конкретной культуры. Изменение площади региона сопоставляется с общероссийской динамикой и динамикой соседних территорий, после чего можно отделить общий отраслевой рост от локального структурного преимущества. Современный пример применения пространственного shift-share к сельскохозяйственным землям показывает, что именно площадь наиболее удобна для такого разложения [6].

Дальнейшее объяснение предполагает факторную модель, где зависимой переменной выступает изменение площади культуры либо её доли в региональной структуре посевов:

$$\Delta lnA_{i,c,t} = \beta_1 SAT_{i,t} + \beta_2 HTC_{i,t} + \beta_3 Drought_{i,t} + \beta_4 lnP_{c,t} + \beta_5 Proc_{i,c,t} + \beta_6 Acc_i + \beta_7 Irr_{i,t} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{i,c,t} \quad (2)$$

где SAT характеризует теплообеспеченность; HTC — гидротермический режим; Drought — повторяемость засушливых условий; P — ценовую конъюнктуру; Proc — наличие и мощность переработки; Acc — транспортную доступность; Irr — развитие орошения; μ_i и λ_t отвечают за устойчивые региональные особенности и общие годовые воздействия. В настоящей работе эта спецификация задаёт рамку интерпретации и препятствует сведению

обнаруженного сдвига к одной причине. Там, где сопоставимого открытого ряда по перерабатывающим мощностям нет, его отсутствие прямо учитывается как ограничение.

При анализе данных дистанционного зондирования применяется такой же осторожный подход. Многолетние Landsat-ряды пригодны для фиксации устойчивого использования пахотных земель, их выбытия и повторного освоения [4]. При необходимости различать конкретные культуры оптические снимки дополняются сезонной спектральной динамикой и радиолокационными данными Sentinel-1. Результат классификации должен сопровождаться матрицей ошибок, общей точностью, точностью пользователя и точностью производителя. Без этой процедуры пиксельная карта не рассматривается как достаточное доказательство изменения специализации.

Логика исследования представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 — Схема факторного разложения пространственной трансформации товарного растениеводства (источник: разработано автором)

Такая последовательность позволяет разграничить наблюдаемый факт и его причинное объяснение. Повышение температуры отражает изменение природного фона, а расширение посевной площади — хозяйственную реакцию.

Результаты исследования и их обсуждение. Наиболее ясно

пространственная перестройка проявляется в соеводстве. В 2007 г. посевная площадь сои в России составляла 777,6 тыс. га, в 2023 г. — 3667,0 тыс. га. Но важен не только почти пятикратный общероссийский прирост. Изменилось соотношение территорий. В Курской области площадь выросла с 0,7 до 345,8 тыс. га, в Воронежской — с 5,5 до 214,8 тыс. га, в Тамбовской — с 0,3 до 204,6 тыс. га, в Липецкой — с 0,7 до 151,6 тыс. га. Белгородская область, где в 2007 г. уже имелось 30,2 тыс. га сои, к 2023 г. достигла 284,8 тыс. га. Между тем Краснодарский край увеличил площадь значительно умереннее — со 145,6 до 172,1 тыс. га [3].

Таблица 2 — Перераспределение посевной площади сои между регионами, 2007–2023 гг.

Регион	2007 г., тыс. га	2023 г., тыс. га	Доля в РФ в 2007 г., %	Доля в РФ в 2023 г., %	Характер изменения
Курская область	0,7	345,8	0,09	9,43	формирование одного из крупнейших новых ядер
Белгородская область	30,2	284,8	3,88	7,77	закрепление крупной специализации
Воронежская область	5,5	214,8	0,71	5,86	быстрое расширение
Тамбовская область	0,3	204,6	0,04	5,58	переход от практически отсутствующего производства к крупному
Липецкая область	0,7	151,6	0,09	4,13	устойчивое расширение
Краснодарский край	145,6	172,1	18,72	4,69	небольшой абсолютный рост при резком снижении относительной доли
Российская Федерация	777,6	3667,0	100,0	100,0	общенациональная экспансия культуры

Источник: рассчитано автором по данным М. О. Синеговского [3].

Особенно показательна совокупная динамика пяти областей Центрально-Чернозёмного экономического района. Их площадь сои выросла с 37,4 тыс. га в 2007 г. до 1201,6 тыс. га в 2023 г.; доля в российской площади культуры поднялась примерно с 4,8 до 32,8 %. Это уже смена положения макрорегиона в территориальном разделении труда. Центральное Черноземье превратилось в одно из основных звеньев российского соевого производства. В 2023 г.

Центральный федеральный округ одновременно вышел на первое место по валовому сбору, получив около 3 млн т сои.

При этом сводить полученный результат к потеплению было бы неправильно. Климатическая динамика уменьшила риск недобора тепла и расширила выбор скороспелых сортов, что особенно ясно видно по исследованиям Центрального Нечерноземья [2, 9]. Однако устойчивое увеличение площади в черноземных областях совпало с высокой аграрной освоенностью, развитой товарной инфраструктурой и возможностью включить сою в интенсивные севообороты. Синеговский отмечает также влияние спроса и изменения рыночных стимулов; продуктивность культуры в центральных областях росла быстрее, чем в ряде её исторических дальневосточных районов [3]. Климат в данном случае создал дополнительные возможности, однако закрепление новой специализации определяется хозяйственными условиями.

В 2024 году в рассматриваемом статистическом ряду посевная площадь сои составляет 4,327 млн га, валовой сбор — 7,04 млн т, урожайность — 16,7 ц/га. При этом прямое умножение посевной площади на указанную урожайность даёт 7,226 млн т, что отличается от приведённого валового сбора. Расхождение возникает вследствие использования разных площадных оснований: посевная площадь не тождественна площади, с которой фактически убран урожай. Если урожайность 16,7 ц/га и сбор 7,04 млн т относятся к одному сопоставимому ряду, расчётная убранная площадь составляет приблизительно 4,216 млн га.

Ещё выразительнее тот же механизм проявился у рапса. В 2024 г. площадь озимого и ярового рапса увеличилась почти на 30 %, до 2,7405 млн га. Валовой сбор вырос на 10,9 %, до 4,6602 млн т, но средняя урожайность снизилась на 13,9 %. Если анализировать только валовой сбор, масштаб земельного перераспределения оказывается существенно недооценён. Для экономической географии именно расширение площади свидетельствует о том, что хозяйства изменили структуру использования пашни.

Таблица 3 — Различие площадной и урожайностной составляющих роста масличных культур в России в 2024 г.

Культура	Изменение площади к 2023 г.	Изменение средней урожайности	Изменение валового сбора	Основная интерпретация
Соя	+18,0 %	примерно −13 %	+3,1 %	рост производства поддержан главным образом расширением площади
Рапс	+29,8 %	−13,9 %	+10,9 %	земельная экспансия значительно сильнее прироста выпуска

Источник: рассчитано и обобщено автором по данным ФГБУ «Центр Агроаналитики» и отраслевой статистики [15, 16].

Рапс вместе с тем не даёт основания говорить о простом продвижении от Юга к Черноземью. Его посевы растут в нескольких направлениях, включая Центральную Россию, Сибирь и другие районы. География культуры оказывается более рассредоточенной, чем у сахарной свёклы, а решение о расширении площади сильнее реагирует на сравнительную доходность и возможности переработки маслосемян. Уже в 2025 г. аналитические данные фиксировали сохранение масштабной площади рапса, а в 2026 г. отраслевые оценки вновь указывали на дальнейшее расширение. Это скорее расширение посевов рапса в нескольких территориальных центрах, чем единонаправленное смещение зоны его выращивания.

У подсолнечника картина отличается ещё сильнее. Между 2005 и 2024 гг. площадь культуры в Ростовской области сократилась примерно с 1,194 млн до 954,9 тыс. га, то есть приблизительно на 20 %. В Воронежской области она выросла с 431,9 до 535,7 тыс. га, или на 24 %, а в Тамбовской — с 223,7 до 363,5 тыс. га, то есть на 62,5 %. С одной стороны, это действительно указывает на усиление роли более северных чернозёмных территорий. С другой — Ростовская область в 2024 г. всё ещё входила в тройку крупнейших регионов России по площади подсолнечника. Южное ядро не исчезло и не было механически перенесено севернее. Оно стало частью более широкой и менее концентрированной пространственной системы.

Таблица 4 — Изменение посевных площадей отдельных культур в регионах Юга и Черноземья, 2005–2024 гг.

Культура и регион	2005 г., тыс. га	2024 г., тыс. га	Изменение, %	Пространственный смысл
Подсолнечник, Ростовская область	1194,2	954,9	−20,0	сохранение крупного южного ядра при уменьшении площади относительно начала периода
Подсолнечник, Воронежская область	431,9	535,7	+24,0	усиление позиции Центрального Черноземья
Подсолнечник, Тамбовская область	223,7	363,5	+62,5	значительное расширение в более северной части чернозёмной зоны
Сахарная свёкла, Липецкая область	46,3	114,8	+147,9	усиление специализированного свеклосахарного ядра
Сахарная свёкла, Тамбовская область	61,1	116,7	+91,0	длительное расширение при сохранении перерабатывающей привязки
Сахарная свёкла, Воронежская область	110,1	129,8	+17,9	умеренное расширение внутри традиционного пояса

Источник: рассчитано автором по длинным региональным рядам Росстата [1].

Динамика подсолнечника также свидетельствует о существенном влиянии рыночного спроса. В 2024 г. Россия поставила на зарубежные рынки более 5,7 млн т подсолнечного масла; физический экспорт увеличился примерно на 31 % и впервые превысил 5 млн т за год. Такой спрос поддерживает экономическую привлекательность выращивания подсолнечника не только в традиционных районах специализации. Поэтому климатическое расширение возможного ареала совпадает с устойчивым экономическим стимулом к выращиванию масличных. Если рассматривать лишь погодные условия, этот механизм останется за пределами объяснения.

Сахарная свёкла образует иную территориальную систему. Её сырьё связано с сезонной переработкой и крупнотоннажными перевозками, вследствие чего пространственная близость к сахарным заводам существенно ограничивает мобильность производства. За 2005–2024 гг. площадь свёклы в Липецкой области выросла почти в 2,5 раза, в Тамбовской — почти вдвое, тогда как

Воронежская область увеличила площадь заметно меньше. Наблюдается не простая линия перемещения к северу, а перераспределение внутри уже сформированного свеклосахарного пояса. Преимущество получают территории, где агроклиматическая пригодность сочетается с доступностью переработки и хранения, развитой транспортной инфраструктурой и организационными возможностями крупных сельхозпроизводителей.

Подобная зависимость объясняет, почему термин «агропромышленный кластер» требует осторожности. Крупная посевная площадь сахарной свёклы либо сои не доказывает кластерную организацию производства. Исследование деятельности агрохолдингов в российском регионе показывает, что для анализа их территориального воздействия приходится привлекать данные о компаниях, производственных объектах и фактических хозяйственных связях наряду с официальной статистикой [5]. В рассматриваемом массиве таких унифицированных данных по всей совокупности южных и чернозёмных регионов нет. Поэтому выявленные территории обозначаются как ядра товарной специализации и пространственной концентрации земледелия. Это более узкий термин, но он соответствует имеющейся доказательной базе.

Долговременные изменения площади нельзя интерпретировать и без учёта судьбы самой пашни. Современное картографическое исследование российских земель показало, что история сельскохозяйственного использования с 1985 по 2025 г. включает массовое выбытие низкопродуктивных участков и последующее возвращение части земель в оборот [4]. Для Центрального Черноземья этот процесс менее выражен, чем для зон с низким естественным плодородием, но он всё же влияет на структуру доступных площадей. Работа Н. В. Яковенко с соавторами, посвящённая Центрально-Чернозёмному региону, также фиксирует сложную перестройку землепользования, которую нельзя свести к изменению одной культуры [14].

Именно здесь дистанционные данные становятся особенно ценными. Они позволяют увидеть, расширилась ли культура внутри непрерывно используемой

пашни или хозяйства вернули в обработку участок, ранее выведенный из оборота. Однако выводы по отдельным культурам должны опираться на сезонную сигнатуру и проверенную классификацию. Российские исследования 2024–2025 гг. показывают, что сочетание многолетних рядов и алгоритмов классификации даёт приемлемую точность, но ошибка различения классов остаётся измеряемой величиной, а не технической мелочью [7, 8].

Агроклиматическая составляющая пространственной перестройки проявляется неодинаково по культурам. Для сои рост суммы активных температур имеет очевидное значение, поскольку культура чувствительна к продолжительности тёплого периода. В Нечерноземье расширение тепловых ресурсов уже позволило использовать более широкий набор сортов [2, 9]. Подсолнечник также выигрывает от увеличения продолжительности вегетации, но в южной части его ареала возрастает риск дефицита влаги и экстремальной жары. Для сахарной свёклы сочетание тепла и влаги важнее простого повышения температуры. Рапс, особенно при разделении озимой и яровой форм, реагирует на климатический режим иначе. Следовательно, единый показатель «потепление» неизбежно скрывает разнонаправленные биологические реакции.

Влагообеспеченность становится принципиальным ограничителем там, где тепло перестало быть главным дефицитом. Гуреева фиксирует одновременное увеличение суммы температур и снижение ГТК в Нечерноземье [2]. Исследование сои при орошении в Саратовской области показывает, что в засушливых условиях технологическое управление водой способно существенно изменить устойчивость культуры [13]. Поэтому пространственная экспансия может идти двумя путями: хозяйство либо перемещает культуру в район с более подходящим естественным балансом тепла и влаги, либо сохраняет/расширяет производство в более сухой зоне, компенсируя ограничение технологиями. В обоих случаях на карте фиксируется наличие посевов, однако причины их размещения принципиально различны.

Влияние технологий видно и по урожайности сои. В 2023 г., по данным М.

О. Синеговского, средняя урожайность в Белгородской области достигала 2,55 т/га, в Курской — 2,45, в Липецкой — 2,34 т/га, тогда как в Амурской области она составляла 1,58, в Приморском крае — 1,18 т/га [3]. Это различие нельзя объяснить широтой или только суммой температур. Речь идёт о сочетании сортов, структуры хозяйств, уровня интенсивности и агроклиматических условий. Центральное Черноземье оказалось территорией, где культура встроилась в высокоинтенсивную систему производства.

Сводное сопоставление позволяет оценить степень подтверждения исходной гипотезы по каждой культуре.

Таблица 5 — Факторная интерпретация пространственной трансформации исследуемых культур

Культура	Агроклиматическое расширение возможностей	Рыночный фактор	Значение переработки и логистики	Роль технологии	Характер пространственного сдвига
Соя	высокое	высокое	высокое	высокое	наиболее выраженное усиление Центрального Черноземья
Рапс	среднее–высокое	высокое	высокое	среднее–высокое	многоцентровое расширение, не сводимое к одному направлению
Подсолнечник	среднее	высокое	высокое	высокое	диффузия при сохранении мощного южного ядра
Сахарная свёкла	среднее	среднее–высокое	очень высокое	высокое	перестройка внутри специализированного производственно-перерабатывающего пояса

Источник: авторское обобщение результатов [1–17].

Пространственное расширение посевов отдельных товарных культур происходит под совместным воздействием агроклиматических, рыночных и технологических факторов. Изменение теплообеспеченности и продолжительности вегетационного периода может расширять потенциальный ареал выращивания культуры, однако фактический переход к устойчивой специализации зависит от уровня урожайности, наличия переработки, транспортной доступности, экономической привлекательности и применяемой агротехники. Представленные статистические данные показывают перераспределение посевных площадей между регионами.

Соя действительно демонстрирует крупный сдвиг в сторону центрально-чернозёмных территорий. Рапс быстро расширяется, но его движение пространственно шире. Подсолнечник сохраняет мощные позиции на Юге, одновременно увеличивая присутствие в ряде чернозёмных областей. Посевы сахарной свёклы перераспределяются преимущественно внутри зон, где переработка сырья экономически доступна. Поэтому понятие «северо-восточного сдвига» имеет смысл лишь как одна из возможных составляющих общей трансформации.

Эта особенность согласуется с более широкими оценками последствий климатического изменения для земледелия. Современные глобальные модели действительно предполагают рост потенциальной пригодности части средних и высоких широт для большего числа культур [11]. Даже на ещё более высоких широтах, где потепление снимает температурный барьер, дальнейшее продвижение сельского хозяйства ограничивают свойства земель и мерзлотные процессы [18]. Иными словами, климатическая граница почти нигде не совпадает с фактической хозяйственной границей: между ними располагаются почвенные, инфраструктурные, институциональные и экономические фильтры.

Для Юга Европейской России это положение приобретает дополнительный смысл. Потепление не обязательно выталкивает производство из южных регионов. При наличии орошения, засухоустойчивых сортов, развитой переработки и хорошей логистики хозяйства могут удерживать высокотоварную специализацию даже при ухудшении естественной влагообеспеченности. Южные регионы утрачивают прежнюю исключительность как территории, где условия теплообеспеченности и продолжительности вегетационного периода для ряда теплолюбивых культур долгое время не имели сопоставимых альтернатив севернее.

В Черноземье происходит обратный процесс. Снятие части тепловых ограничений дополняет исходные преимущества высокоплодородных земель и развитого товарного сельского хозяйства. Там, где рядом имеются

переработчики и сложившаяся аграрная инфраструктура, новая культура получает возможность быстро занять значительную площадь. Поэтому рост сои в Курской, Белгородской, Воронежской, Тамбовской и Липецкой областях следует рассматривать не как механическую миграцию южной культуры, а как изменение специализации высокоинтенсивного макрорегиона.

Показательно и то, что повышение региональной роли не обязательно означает непрерывный рост каждого года. Посевные площади реагируют на цены, севооборот, погоду предыдущего сезона и производственные ограничения. Устойчивый пространственный сдвиг обнаруживается в изменении многолетнего среднего уровня и относительного положения территории. По этой причине интервалы 15–20 лет намного информативнее сравнения двух соседних сезонов.

Результаты имеют прикладное значение для территориальной аграрной политики. Пространственное планирование не должно исходить из предположения, что будущая специализация автоматически последует за движением климатических изотерм. Для сои перспективные зоны должны оцениваться одновременно по тепло- и влагообеспеченности, сортовому ресурсу, доступу к переработке и логистике. В рапсоводстве существенна возможность быстрой реакции на рыночный спрос без чрезмерного нарушения севооборота. Для подсолнечника важным становится управление риском засушливости в старых южных районах при одновременном контроле агроэкологических последствий расширения культуры. Свеклосахарный комплекс требует согласования посевной зоны с размещением перерабатывающих мощностей, поскольку территориальный разрыв между сырьём и заводом быстро увеличивает издержки.

Наконец, пространственная концентрация нуждается в самостоятельной оценке устойчивости. Рост одной прибыльной культуры может повысить специализацию региона, но чрезмерная доля этой культуры создаёт ограничения для севооборота, увеличивает фитосанитарные риски и усиливает зависимость

хозяйств от одного сегмента рынка. Современные исследования Центрального Черноземья уже обращают внимание на необходимость рассматривать землепользование одновременно в экономическом и экологическом измерениях [14]. Поэтому территориальная адаптация сельского хозяйства к изменяющемуся климату не сводится к максимальному расширению наиболее рентабельных культур; она предполагает согласование производственной специализации с ресурсными пределами агроландшафта.

Выводы. Проведённый анализ показывает, что пространственная трансформация товарного растениеводства Юга Европейской России и Центрального Черноземья носит выраженно дифференцированный характер. Гипотеза о едином северном либо северо-восточном перемещении производства подтверждается лишь частично. Повышение теплообеспеченности действительно изменило исходную агроклиматическую конфигурацию: территории, где ранее недостаток суммы активных температур ограничивал выращивание отдельных теплолюбивых культур, получили более широкие возможности.

Самый убедительный пример крупного пространственного сдвига даёт соя. В 2007–2023 гг. пять областей Центрально-Черноземного экономического района увеличили совокупную площадь культуры с 37,4 до 1201,6 тыс. га. Их доля в общероссийских посевах поднялась приблизительно с 4,8 до 32,8 %. Одновременно доля Краснодарского края уменьшилась с 18,7 до 4,7 %, несмотря на небольшой абсолютный рост площади. Такая динамика означает изменение территориального разделения труда: Центральное Черноземье стало одним из главных российских районов соеводства.

Причины этого сдвига выходят за рамки климатической составляющей. Рост суммы активных температур облегчил выращивание сои в более высоких широтах, но снижение гидротермического коэффициента ограничивает эффект потепления. Важную роль сыграли плодородные почвы, интенсивность сельского хозяйства, сорта, технологии, спрос на белковое и масличное сырьё,

развитие переработки и способность крупных производителей быстро перестраивать структуру посевов. Тем самым климатическая возможность превращается в устойчивую производственную специализацию лишь при благоприятном сочетании экономических и технологических условий.

Рапс подтверждает необходимость отделять площадь от урожайности. В 2024 г. его российские посевы увеличились почти на 30 %, тогда как средняя урожайность снизилась на 13,9 %. Валовой сбор вырос значительно слабее площади — на 10,9 %. Сходная, хотя менее контрастная, ситуация сложилась с соей. Пространственное расширение в обоих случаях было сильнее, чем можно было бы заключить по одному валовому сбору. Поэтому при географическом анализе землепользования именно площадь должна выступать основным индикатором территориального перераспределения, тогда как урожайность характеризует интенсивность использования этой площади.

В Ростовской области площадь подсолнечника в 2024 г. оставалась одной из крупнейших в стране, хотя была ниже уровня 2005 г. Одновременно Воронежская и Тамбовская области заметно расширили посевы. Корректнее говорить о снижении относительной исключительности Юга и о формировании более широкого пояса товарного производства, чем о переносе прежнего ядра на север. Сильный экспортный спрос на подсолнечное масло дополнительно поддерживает этот процесс и делает рыночный фактор сопоставимым по значению с агроклиматическим.

Сахарная свёкла показывает ещё один тип пространственной перестройки. Значительный рост посевов в Липецкой и Тамбовской областях не образует простой широтной последовательности. География свекловодства связана с размещением сахарных заводов, транспортной доступностью и способностью территории поддерживать устойчивую сырьевую зону. Поэтому в данном случае хозяйственная инфраструктура жёстче ограничивает пространственный выбор, чем у относительно транспортабельных маслосемян.

Результаты не дают достаточного основания называть выявленные

концентрации агропромышленными кластерами. Для такого вывода необходимы пространственно согласованные сведения о предприятиях, мощностях переработки, хранении, логистических потоках, корпоративных связях и фактическом взаимодействии участников. Использование этого термина только на основании значительной площади посевов выходило бы за пределы того, что позволяют утверждать полученные данные. В рамках данного исследования обоснованно говорить о ядрах товарной специализации и пространственных концентрациях интенсивного земледелия.

Методически существенным результатом выступает разграничение трёх уровней изменения. Первый связан с агроклиматической пригодностью территории и задаёт допустимый набор культур. Второй отражает перераспределение земли между культурами и регионами под влиянием экономического выбора. Третий определяется урожайностью, которую формируют погода конкретного года, сорт, технология, удобрения и орошение. Смешение этих уровней ведёт к завышенной роли климата в объяснении географии сельского хозяйства.

Дистанционное зондирование дополняет статистический подход, прежде всего при анализе устойчивого использования пашни и повторного освоения земель. Вместе с тем стандартный Land Cover не должен использоваться как прямое доказательство изменения площади конкретной культуры. Для этого требуются классификация, сезонные ряды Sentinel/Landsat либо Sentinel-1 и количественная проверка точности. Такая постановка особенно важна при изучении постсоветских аграрных территорий, где возвращение залежных земель в оборот может ошибочно приниматься за простую замену культур.

В практическом отношении полученные результаты требуют перехода от универсальных представлений о «сдвиге земледелия на север» к дифференцированному территориальному прогнозированию. Для каждой культуры необходимо отдельно оценивать изменение тепловых и водных ресурсов, устойчивость почв, допустимую структуру севооборотов,

транспортное положение, переработку и потенциальную рентабельность. Только такая система позволяет определить, где климатическое изменение действительно создаёт новое конкурентное преимущество, а где оно сопровождается усилением засушливости и требует дополнительных затрат на адаптацию.

Тем самым пространственная реорганизация растениеводства предстает не как однонаправленное следствие глобального потепления, а как результат взаимодействия природных условий с рынком и уже сложившейся хозяйственной географией. Климат изменяет набор возможных вариантов размещения; хозяйства, инфраструктура и экономические связи определяют, какие из них превращаются в устойчивую специализацию территории.

Список литературы

1. Федеральная служба государственной статистики. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2025. М.: Росстат, 2025.
2. Gureeva E. V. Changes in regional climatic characteristics in the Non-Chernozem zone of the Russian Federation and their impact on soybean yields // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 510. Art. 01016. DOI: 10.1051/e3sconf/202451001016.
3. Sinegovsky M. O. Soybean cultivation in Russia under modern conditions // Vestnik of the Russian Agricultural Science. 2024. No. 5. P. 11–16. DOI: 10.31857/S2500208224050037.
4. Rukhovich D. I., Koroleva P. V., Shapovalov D. A., Komissarov M. A., Pham T. G. Transformation of Arable Lands in Russia over Last Half Century—Analysis Based on Detailed Mapping and Retrospective Monitoring of Soil–Land Cover and Decipherment of Big Remote Sensing Data // Sustainability. 2025. Vol. 17. No. 13. Art. 6203. DOI: 10.3390/su17136203.
5. Морачевская К. А., Лыжина Е. А., Себенцов А. Б., Карпенко М. С. Адаптация территориальной организации сельского хозяйства периферийного региона к деятельности агрохолдингов // Балтийский регион. 2024. Т. 16, № 4. С.

121–144. DOI: 10.5922/2079-8555-2024-4-6.

6. Galeana-Pizaña J. M., Cruz-Bello G. M., Jiménez-Ortega A. D., Mokondoko P. Spatial interdependencies and agricultural land-use transitions in Mexico: a shift-share decomposition (2003–2023) // The Annals of Regional Science. 2026. Vol. 75. Art. 44. DOI: 10.1007/s00168-026-01482-x.

7. Dubrovin K., Verkhoturov A., Stepanov A., Aseeva T. Multi-Year Cropland Mapping Based on Remote Sensing Data: A Case Study for the Khabarovsk Territory, Russia // Remote Sensing. 2024. Vol. 16. No. 9. Art. 1633. DOI: 10.3390/rs16091633.

8. Abys C., Skakun S. V., Shumilo L. In-season winter cropland mapping with Sentinel-1 // Science of Remote Sensing. 2025. Vol. 12. Art. 100272. DOI: 10.1016/j.srs.2025.100272.

9. Белышкина М. Е. Влияние условий влагообеспеченности вегетационного периода на продуктивность сортов сои различного эколого-географического происхождения в условиях Центрального Нечерноземья // Природообустройство. 2024. № 3. С. 21–30. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-3-21-30.

10. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2025 год. М., 2026. 129 с. ISBN 978-5-906099-58-7.

11. Heikonen S., Heino M., Jalava M., Siebert S., Viviroli D., Kummu M. Climate change threatens crop diversity at low latitudes // Nature Food. 2025. Vol. 6. P. 331–342. DOI: 10.1038/s43016-025-01135-w.

12. Исмагилов К. Р., Исмагилов Р. Р., Русаков И. А. Проявление глобального изменения агроклиматических ресурсов на территории Республики Башкортостан // Успехи современного естествознания. 2024. № 4. С. 85–91. DOI: 10.17513/use.38253.

13. Загоруйко М. Г., Белышкина М. Е., Садаев М. С. Семеноводство сои на орошении в условиях Левобережья Саратовской области // Природообустройство. 2024. № 2. С. 28–34. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-2-28-

34.

14. Яковенко Н. В., Колотушкин А. А., Комов И. В. Системный анализ модели землепользования Центрально-Черноземного региона: структурные трансформации, экологические риски и перспективы устойчивого развития // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2025. Т. 13, № 4. С. 157–176. DOI: 10.34220/2308-8877-2025-13-4-157-176.

15. ФГБУ «Центр Агроаналитики». Дайджест «Масличные»: в России в 2024 году собрали рекордный урожай сои и рапса. 2025.

16. Масложировой Союз России. В 2024 году российский экспорт подсолнечного масла обновил рекорд. 2025.

17. Журавлева Л. А., Алдибаб А., Грепчук Ю. Н. Влияние пространственной неоднородности свойств сельскохозяйственных полей на урожайность // Аграрный научный журнал. 2024. № 7. С. 99–104. DOI: 10.28983/asj.y2024i7pp99-104.

18. Зубарев Н. Ю., Глезман Л. В., Федосеева С. С., Зубарев Ю. Н. Устойчивое развитие регионов-лидеров сельскохозяйственного производства // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 7. С. 1117–1128. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-07-1117-1128.

19. Федеральная служба государственной статистики. Сельское хозяйство в России. 2025. М.: Росстат, 2025.

References

1. Federal`naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki. Regiony` Rossii. Social`no-e`konomicheskie pokazateli. 2025. M.: Rosstat, 2025.

2. Gureeva E. V. Changes in regional climatic characteristics in the Non-Chernozem zone of the Russian Federation and their impact on soybean yields // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 510. Art. 01016. DOI: 10.1051/e3sconf/202451001016.

3. Sinegovsky M. O. Soybean cultivation in Russia under modern conditions // Vestnik of the Russian Agricultural Science. 2024. No. 5. P. 11–16. DOI: 10.31857/S2500208224050037.

4. Rukhovich D. I., Koroleva P. V., Shapovalov D. A., Komissarov M. A., Pham T. G. Transformation of Arable Lands in Russia over Last Half Century—Analysis Based on Detailed Mapping and Retrospective Monitoring of Soil–Land Cover and Decipherment of Big Remote Sensing Data // Sustainability. 2025. Vol. 17. No. 13. Art. 6203. DOI: 10.3390/su17136203.

5. Morachevskaya K. A., Ly`zhina E. A., Sebenczov A. B., Karpenko M. S. Adaptaciya territorial`noj organizacii sel`skogo xozyajstva periferijnogo regiona k deyatel`nosti agroxoldingov // Baltijskij region. 2024. T. 16, № 4. S. 121–144. DOI: 10.5922/2079-8555-2024-4-6.

6. Galeana-Pizaña J. M., Cruz-Bello G. M., Jiménez-Ortega A. D., Mokondoko P. Spatial interdependencies and agricultural land-use transitions in Mexico: a shift-share decomposition (2003–2023) // The Annals of Regional Science. 2026. Vol. 75. Art. 44. DOI: 10.1007/s00168-026-01482-x.

7. Dubrovin K., Verkhoturov A., Stepanov A., Aseeva T. Multi-Year Cropland Mapping Based on Remote Sensing Data: A Case Study for the Khabarovsk Territory, Russia // Remote Sensing. 2024. Vol. 16. No. 9. Art. 1633. DOI: 10.3390/rs16091633.

8. Abys C., Skakun S. V., Shumilo L. In-season winter cropland mapping with Sentinel-1 // Science of Remote Sensing. 2025. Vol. 12. Art. 100272. DOI: 10.1016/j.srs.2025.100272.

9. Bely`shkina M. E. Vliyanie uslovij vlagoobespechennosti vegetacionnogo perioda na produktivnost` sortov soi razlichnogo e`kologo-geograficheskogo proisxozhdeniya v usloviyax Central`nogo Nechernozem`ya // Prirodoobustrojstvo. 2024. № 3. S. 21–30. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-3-21-30.

10. Federal`naya sluzhba po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushhej sredy`. Doklad ob osobennostyax klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2025 god. M., 2026. 129 s. ISBN 978-5-906099-58-7.

11. Heikonen S., Heino M., Jalava M., Siebert S., Viviroli D., Kummu M. Climate change threatens crop diversity at low latitudes // Nature Food. 2025. Vol. 6. P. 331–342. DOI: 10.1038/s43016-025-01135-w.

12. Ismagilov K. R., Ismagilov R. R., Rusakov I. A. Proyavlenie global`nogo izmeneniya agroklimaticheskix resursov na territorii Respubliki Bashkortostan // Uspexi sovremennogo estestvoznaniya. 2024. № 4. S. 85–91. DOI: 10.17513/use.38253.

13. Zagorujko M. G., Bely`shkina M. E., Sadaev M. S. Semenovodstvo soi na oroshenii v usloviyax Levoberezh`ya Saratovskoj oblasti // Prirodoobustrojstvo. 2024. № 2. S. 28–34. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-2-28-34.

14. Yakovenko N. V., Kolotushkin A. A., Komov I. V. Sistemny`j analiz modeli zemlepol`zovaniya Central`no-Chernozyomnogo regiona: strukturny`e transformacii, e`kologicheskie riski i perspektivy` ustojchivogo razvitiya // Aktual`ny`e napravleniya nauchny`x issledovanij XXI veka: teoriya i praktika. 2025. T. 13, № 4. S. 157–176. DOI: 10.34220/2308-8877-2025-13-4-157-176.

15. FGBU «Centr Agroanalitiki». Dajdzhest «Maslichny`e»: v Rossii v 2024 godu sobrali rekordny`j urozhaj soi i rapsa. 2025.

16. Maslozhirovoj Soyuz Rossii. V 2024 godu rossijskij e`ksport podsolnechnogo masla obnovil rekord. 2025.

17. Zhuravleva L. A., Aldibab A., Grepchuk Yu. N. Vliyanie prostranstvennoj neodnorodnosti svojstv sel`skoxozyajstvenny`x polej na urozhajnost` // Agrarny`j nauchny`j zhurnal. 2024. № 7. S. 99–104. DOI: 10.28983/asj.y2024i7pp99-104.

18. Zubarev N. Yu., Glezman L. V., Fedoseeva S. S., Zubarev Yu. N. Ustojchivoe razvitie regionov-liderov sel`skoxozyajstvennogo proizvodstva // Agrarny`j vestnik Urala. 2025. T. 25, № 7. S. 1117–1128. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-07-1117-1128.

19. Federal`naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki. Sel`skoe xozyajstvo v Rossii. 2025. M.: Rosstat, 2025.

Статья поступила в редакцию 27.11.2025; одобрена после рецензирования 15.01.2026; принята к публикации 30.08.2026.

The article was submitted 27.11.2025; approved after peer review 15.01.2026; accepted for publication 30.08.2026.

1.6.21. Геоэкология

Научная статья

УДК 551.34:504.062.2

ДЕГРАДАЦИЯ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ И РИСКИ ДЛЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

Макаханюк Жанна Сергеевна, кандидат географических наук, Российский государственный социальный университет, Россия, Москва, zhanna.makakhaniuk@inbox.ru

Аннотация. В статье рассматриваются геоэкологические предпосылки развития деформаций инфраструктурных объектов в Арктической зоне при изменении состояния многолетнемерзлых грунтов. Цель исследования заключается в систематизации факторов риска, связанных с температурным режимом грунтов, их льдистостью, литологическим составом и техногенной нагрузкой. Рассмотрены возможности использования радиолокационной интерферометрии, термометрических наблюдений и сценарного моделирования. Предложена типология геокриологических условий, различающихся потенциальной интенсивностью осадок. Сопоставлены сценарные вероятности накопленной деформации более 50 мм при различных климатических условиях. Показано, что вероятности превышения единого расчётного порога нельзя непосредственно интерпретировать как вероятности нарушения индивидуальных допустимых деформаций разных инженерных сооружений. Дополнительно разграничены скорость вертикального смещения и накопленная за определённый период осадка. Сделан вывод о необходимости комплексного мониторинга состояния грунтов и инженерных конструкций с учётом конкретных геокриологических условий и нормативных требований.

Ключевые слова: многолетняя мерзлота; геоэкологический риск; Арктическая зона; радиолокационная интерферометрия; осадка грунтов;

инфраструктурная устойчивость.

Original article

PERMAFROST DEGRADATION AND RISKS TO ARCTIC INFRASTRUCTURE

Makakhaniuk Zhanna Sergeevna, Candidate of Geographical Sciences, Russian State Social University, Moscow, Russia, zhanna.makakhaniuk@inbox.ru

Abstract. This article examines the geoecological prerequisites for the development of deformations of infrastructure facilities in the Arctic zone due to changes in the state of permafrost soils. The objective of the study is to systematize risk factors associated with soil temperature, ice content, lithological composition, and anthropogenic load. The possibilities of using radar interferometry, thermometric observations, and scenario modeling are considered. A typology of geocryological conditions with different potential settlement intensity is proposed. Scenario probabilities of accumulated deformation greater than 50 mm under various climatic conditions are compared. It is shown that the probabilities of exceeding a single design threshold cannot be directly interpreted as the probabilities of violating individual permissible deformations of various engineering structures. Additionally, a distinction is made between the rate of vertical displacement and the settlement accumulated over a certain period. A conclusion is drawn regarding the need for comprehensive monitoring of the state of soils and engineering structures, taking into account specific geocryological conditions and regulatory requirements.

Keywords: permafrost; geoecological risk; Russian Arctic; radar interferometry; ground subsidence; infrastructure resilience.

Введение. Масштабное хозяйственное освоение приполярных территорий существенно изменило роль Арктики. Регион, ранее отличавшийся ограниченной хозяйственной доступностью, стал зоной интенсивной добычи

природных ресурсов и промышленного развития. Важной особенностью данной территории является широкое распространение многолетнемерзлых пород, в которых лед выступает породообразующим компонентом и влияет на литогенез и геоэкологические характеристики криосферы [1], [2]. Уникальные физико-химические свойства водяного льда, заключающиеся в аномальном расширении при кристаллизации и минимальной температуре фазовых переходов, предопределяют крайнюю термодинамическую нестабильность мерзлых геосистем. Техногенные воздействия и климатические изменения нарушают динамическое равновесие в системе «лед–вода–температура» и могут приводить к развитию необратимых разрушительных процессов [3-5]. Понимание механизмов изменения криолитозоны является необходимым условием разработки стратегии экологически рационального природопользования в полярных регионах.

Прогнозируемые климатические сдвиги выступают мощным катализатором деградационных процессов в криосфере, существенно модифицируя физико-географическую среду Арктики. Реакция мерзлотной толщи на повышение температур носит дифференцированный характер и напрямую зависит от ее первоначального термического состояния, льдонасыщенности и литологического состава вмещающих пород. В зонах распространения холодной непрерывной мерзлоты потепление проявляется преимущественно в увеличении мощности сезонно-талого слоя, что само по себе способно дестабилизировать верхние горизонты литосферы и изменить гидрологический режим территорий. Более выраженные изменения наблюдаются в теплых прерывистых и островных мерзлых породах, где формирование сквозных таликов приводит к утрате льда в структуре пород и последующему просадочному уплотнению грунтов с образованием термокарстовых впадин.

Особую тревогу вызывает эволюция приморских ландшафтов и акваторий. Увеличение продолжительности безледного периода и подъем уровня Мирового

океана многократно усиливают энергию термоабразии. Береговая линия, сложенная сильнольдистыми отложениями, отступает колоссальными темпами, затопляя шельфовые зоны и уничтожая наземные экосистемы [6]. Подобная трансформация не только меняет физико-географический облик полярных регионов, но и создает предпосылки для высвобождения законсервированных в мерзлоте загрязняющих веществ. Токсичные компоненты и тяжелые металлы, ранее законсервированные в мерзлоте, начинают мигрировать с надмерзлотными водами и накапливаться в устьевых зонах рек и зонах конвергенции арктических течений, что формирует долгосрочные угрозы для биоресурсов Северного Ледовитого океана.

Концентрация хозяйственных объектов в пределах криолитозоны создает зоны повышенного геоэкологического и технического риска. Пространственный анализ распределения инфраструктурных сетей и поселений свидетельствует, что значительная их часть расположена на территориях с высокой потенциальной опасностью просадок. К числу наиболее уязвимых регионов относятся нефтегазодобывающие комплексы севера Западной Сибири, транспортные артерии, пересекающие районы вечной мерзлоты, а также крупные индустриальные центры, такие как Норильск, Воркута и Якутск. Ошибки, допущенные при проектировании и эксплуатации в период интенсивного промышленного освоения, когда преобладал подход, основанный на преодолении природных ограничений, сегодня приводят к системным проблемам и значительным затратам на поддержание объектов в рабочем состоянии [7].

Механическое нарушение почвенно-растительного покрова или изменение гидрологического режима может быстро привести к развитию комплекса разрушительных процессов. Увеличение притока тепла к поверхности грунта провоцирует протаивание подземных льдов, что неминуемо ведет к развитию термокарста и термоэрозии. Фундаменты сооружений теряют несущую способность, здания деформируются, а дорожные покрытия разрушаются, что

приводит к формированию участков сильно нарушенного техногенного рельефа. Ситуация многократно осложняется при авариях на линейных объектах. Разливы нагретых нефтепродуктов, возможные на таких магистралях, как нефтепровод «Заполярье – Пурпе», оказывают интенсивное тепловое воздействие на мерзлый массив. Локализация подобных аварий в условиях Крайнего Севера крайне затруднена, а тепловое воздействие вызывает значительные деформации грунтового основания, повышая вероятность повторных разрывов и дальнейшей деградации мерзлых грунтов [8].

Преодоление указанных рисков требует отказа от унифицированных подходов к строительству в пользу геоэкологически адаптированных технологий. Необходим баланс экономических и экологических требований, предполагающий заблаговременное регулирование теплового режима грунтов. Применение свайных фундаментов с вентилируемыми подпольными пространствами, термостабилизирующих устройств и специфических теплоизоляционных экранов позволяет сохранить мерзлое состояние оснований. Наряду с этим, критически важна организация поверхностного стока для предотвращения заболачивания и минимизация площади техногенного воздействия, включая полный отказ от гусеничного транспорта вне дорог [9]. Только строжайшая регламентация землепользования, основанная на глубоком мерзлотно-фациальном анализе, и обязательная рекультивация нарушенных ландшафтов способны обеспечить устойчивое функционирование инфраструктуры в условиях динамично меняющейся криосферы.

Обзор литературы. Как отмечалось выше, устойчивость арктических геосистем в значительной степени определяется состоянием многолетнемерзлых пород и динамическим равновесием в системе «лед–вода–температура». Техногенные и климатические воздействия нарушают это равновесие и способствуют развитию термокарста и термоэрозии [10], [11]. Любое внешнее вмешательство, будь то техногенная нагрузка или климатические флуктуации, неизбежно нарушает этот хрупкий паритет, запуская цепь необратимых

деструктивных последствий, таких как термокарст и термоэрозия.

Масштабное вовлечение околополюсных пространств в орбиту хозяйственного освоения изменило статус региона. Исторически сложившаяся концентрация народнохозяйственных объектов в пределах криолитозоны сформировала зоны колоссального геоэкологического и технического риска. Пространственный анализ, проведенный F.E. Nelson и соавторами, свидетельствует, что значительная часть существующей инфраструктуры, включая нефтегазодобывающие комплексы Надым-Пур-Тазовского района, городские агломерации Норильска и Якутска, а также транспортные артерии, расположена на территориях с высокой потенциальной опасностью просадок. Ошибки, допущенные при проектировании в период индустриальной экспансии, когда доминировал подход силового преодоления природных барьеров, сегодня оборачиваются системными кризисами [12-14]. Экономическая целесообразность таких проектов оказывается под вопросом: капиталоемкость освоения арктических ресурсов, по оценкам Н.В. Чухаревой, многократно превышает затраты на добычу в традиционных районах, а риски техногенных катастроф требуют колоссальных превентивных вложений [15].

Особую тревогу вызывает эксплуатация линейных сооружений в условиях криолитозоны. Транспортировка высокотемпературных сред, характерная для таких магистралей, как нефтепровод «Заполярье – Пурпе», оказывает катастрофическое тепловое воздействие на мерзлый массив. Аварийные разливы нефти, нагретой до 60 °С, вызывают мгновенное протаивание подземных льдов, что ведет к потере несущей способности грунтового основания и формированию замкнутого круга техногенной деградации [16]. Таким образом, необходим переход к технологиям, учитывающим геоэкологические условия территории и баланс экономических и экологических требований. Одним из основных условий безопасной эксплуатации является заблаговременная стабилизация теплового режима грунтов.

Организация и методология исследования. В качестве ключевых

объектов исследования выбраны территории активного хозяйственного освоения: промышленные узлы Ямало-Ненецкого автономного округа (включая коридор магистрального нефтепровода «Заполярье – Пурпе») и урбанизированная территория Норильского промышленного района. Выбор этих территорий обусловлен высокой концентрацией инфраструктурных объектов на сильнольдистых грунтах и наличием интенсивных источников техногенного теплового воздействия.

Для анализа геоэкологических предпосылок деформаций инфраструктуры Арктической зоны рассматриваются данные дистанционного зондирования, температурного мониторинга мерзлых грунтов и опубликованные оценки развития криогенных процессов. Метод PS-InSAR используется как инструмент определения относительных смещений устойчивых радиолокационных отражателей вдоль линии визирования спутника. Преобразование таких смещений в вертикальную составляющую требует обоснования геометрии наблюдения и допущения о направлении деформации. Прогнозные вероятности осадки рассматриваются в контексте климатических сценариев SSP2-4.5 и SSP5-8.5. Для интеграции разнородных данных в единую систему координат разработана методика построения матриц геоэкологического риска. В отличие от классического индекса осадки F.E. Nelson, разработанная авторами модель включает коэффициент техногенной тепловой нагрузки (K_{tech}), учитывающий как фоновое потепление климата, так и локальное тепловое воздействие промышленных объектов и потенциальных аварийных разливов.

Количественная оценка неопределенности прогнозов осуществлялась с применением метода Монте-Карло. Вариабельность климатических моделей CMIP6 и погрешность интерферометрических измерений, связанная с атмосферными задержками и фазовым шумом, были описаны с помощью вероятностных распределений. Это позволило перейти от детерминированных карт просадок к картам вероятности превышения критических деформаций для фундаментов зданий и осевых линий трубопроводов [17]. ГИС-моделирование

выполнялось в среде ArcGIS Pro с использованием растровых моделей цифрового рельефа и векторных слоев инженерных сетей.

Результаты проведения исследования и их обсуждение. Анализ интерферометрических данных выявил выраженную пространственную неоднородность деформаций земной поверхности. При сопоставлении геодезических наблюдений и прогнозов необходимо разграничивать скорость вертикального смещения, выражаемую в миллиметрах в год, и накопленную деформацию за определённый период. В Норильском промышленном районе максимальные скорости просадки (до 42 мм/год) зафиксированы в районах расположения шламохранилищ и старых промышленных площадок, сложенных пылеватыми суглинками с высоким содержанием льда. В коридоре нефтепровода «Заполярье – Пурпе» зоны интенсивной осадки (15-25 мм/год) приурочены преимущественно к участкам пересечения водотоков и местам расположения линейных насосных станций, где тепловое воздействие на грунты максимально. Пространственное сопоставление участков повышенной температуры мерзлых грунтов и зон отрицательных вертикальных смещений позволяет обсуждать возможную связь теплового режима с развитием осадок.

Для систематизации полученных данных и прогнозирования поведения оснований сооружений была разработана матрица геоэкологического риска (Таблица 1). Матрица учитывает литолого-фациальный состав и объемную льдистость пород, а также суммарное климатическое и техногенное тепловое воздействие.

Таблица 1 - Матрица геоэкологического риска деградации оснований инфраструктурных объектов

Литологический состав и льдистость грунтов	Фоновый климатический режим (без техногенеза)	Умеренная техногенная нагрузка (нагрев до +2...+4 °С)	Критическая техногенная нагрузка (аварийный нагрев > +10 °С)
Скальные и крупнообломочные (льдистость < 10%)	Риск низкий. Осадка < 5 мм/год.	Риск низкий. Осадка 5-10 мм/год.	Риск умеренный. Локальная осадка до 20 мм/год.
Песчаные и супесчаные (льдистость 10-30%)	Риск умеренный. Осадка 10-20 мм/год.	Риск высокий. Осадка 20-40 мм/год.	Риск критический. Развитие термокарста, осадка > 50 мм/год.
Глинистые и пылеватые, сильнольдистые (льдистость > 40%)	Риск высокий. Осадка 20-35 мм/год.	Риск критический. Осадка 40-80 мм/год.	Риск катастрофический. Полная потеря несущей способности, осадка > 100 мм/год.

Источник: разработано автором.

Наиболее уязвимыми объектами являются сооружения, возведенные на пылевато-глинистых отложениях четвертичного возраста даже при фоновом потеплении. Применение свайных фундаментов с вентилируемыми подпольями, о которых писал В.И. Соломатин, снижает риски, однако их эффективность падает при превышении проектных температурных режимов.

Зоны критического риска для линейных и точечных объектов показаны на концептуальной карте-схеме (Рисунок 1).

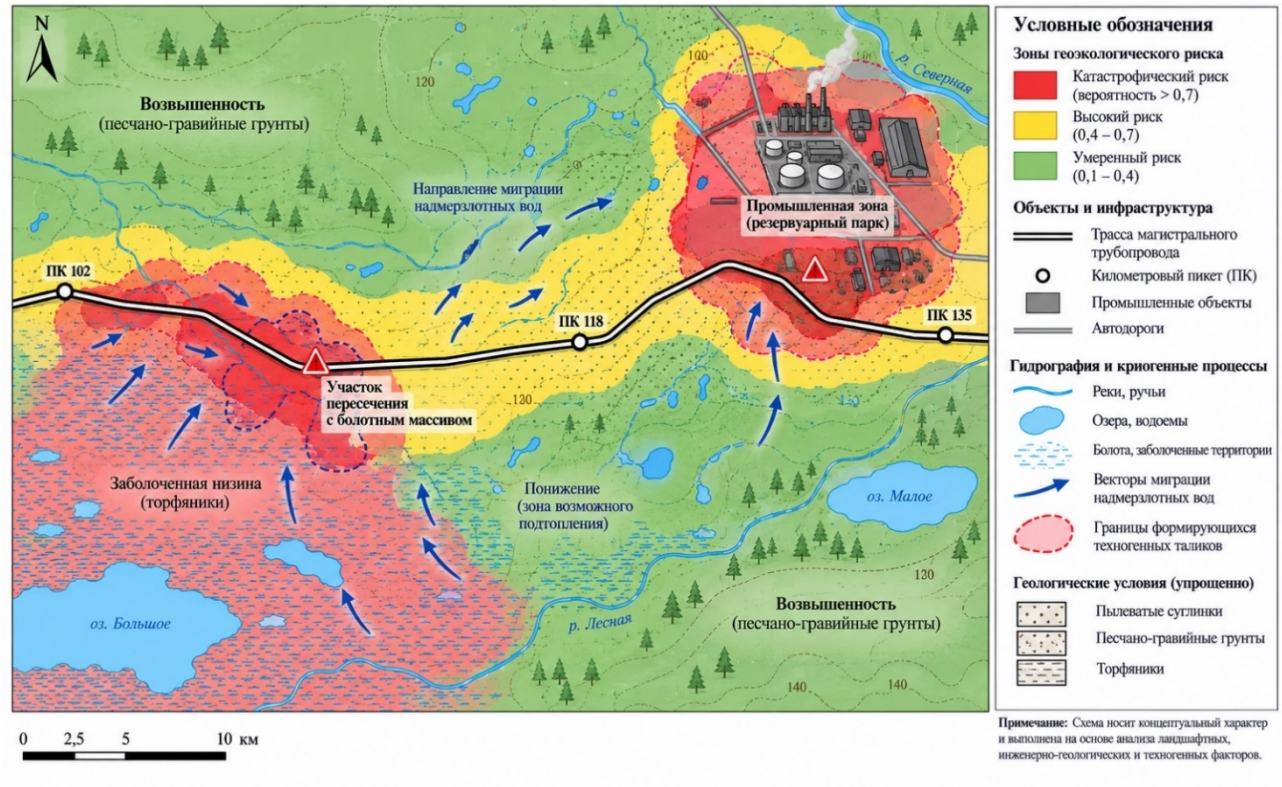


Рисунок 1 - Концептуальная схема зонирования геоэкологического риска на примере фрагмента коридора магистрального трубопровода и прилегающей промышленной зоны (источник: разработано автором)

В таблице 2 приведены сценарные вероятности накопленной осадки более 50 мм. Для промышленных резервуаров соответствующий показатель при SSP5-8.5 составляет 82 %. Вместе с тем указанный результат нельзя непосредственно интерпретировать как вероятность превышения предельной деформации 60 мм, поскольку речь идёт о разных пороговых событиях. Для определения вероятности нарушения конкретного допустимого предела необходимо рассчитать распределение осадки относительно соответствующего значения.

Таблица 2 - Сценарная вероятность накопленной осадки более 50 мм и сравнительные деформационные ограничения инфраструктурных объектов

Объект / Сценарий CMIP6	Вероятность осадки > 50 мм (SSP2-4.5)	Вероятность осадки > 50 мм (SSP5-8.5)	Критическая деформация для объекта (по СНиП)
Участок МН «Заполярье-Пурпе» (суглинки)	34%	68%	40 мм (риск разрыва)
Жилой фонд Норильска (свайные фундаменты)	12%	29%	80 мм (риск нарушения геометрии)
Промышленные резервуары (Норильск)	45%	82%	60 мм (риск разгерметизации)

Источник: разработано автором.

Анализ данных Таблицы 2 показывает, что при реализации пессимистичного сценария SSP5-8.5 вероятность превышения допустимых деформаций фундаментов промышленных резервуаров составляет более 80 %. Это создает прямую угрозу техногенных аварий, аналогичных тем, что описаны в работах по оценке рисков на магистральных трубопроводах.

Важным аспектом обсуждения является учет неопределенности прогнозов. Разброс значений в ансамбле климатических моделей CMIP6 для арктического региона достигает 20-30%, что формирует широкие доверительные интервалы (Рисунок 2).

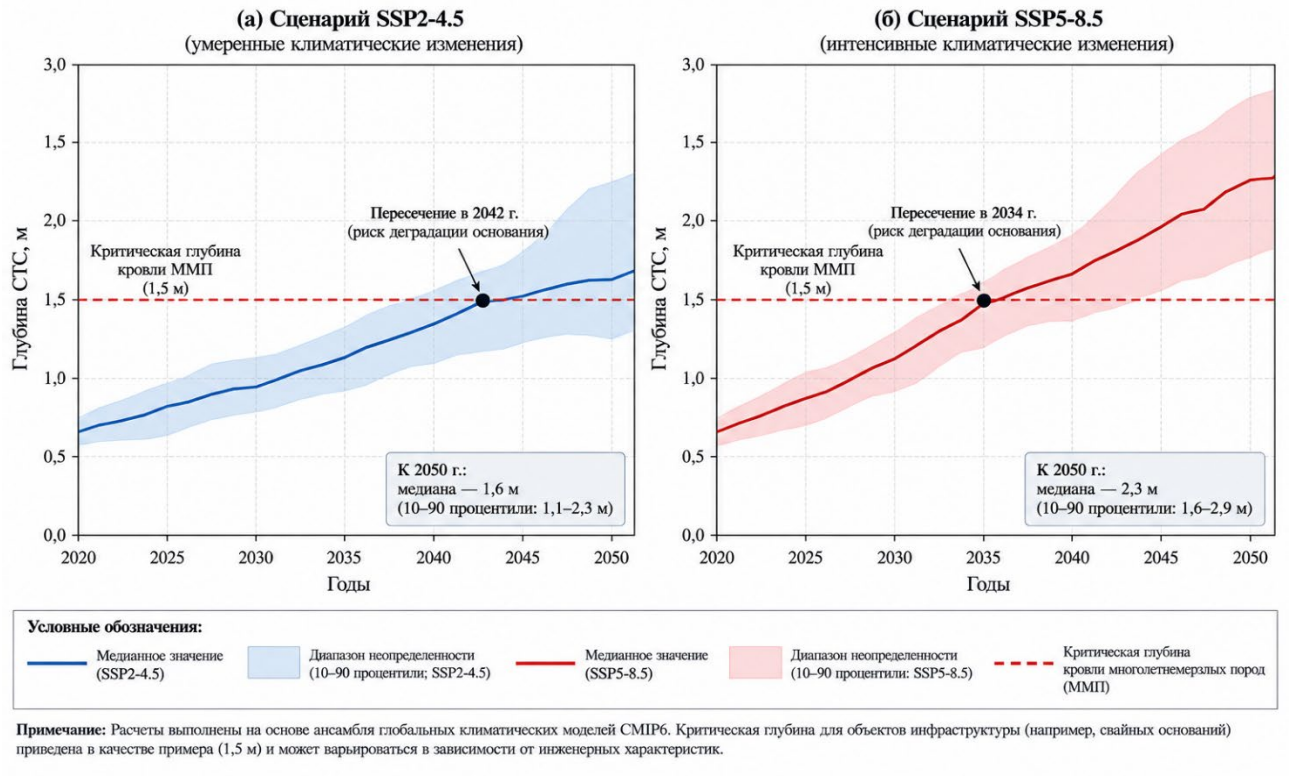


Рисунок 2 - Графики прогнозируемого увеличения мощности сезонно-талого слоя (СТС) с учетом неопределенности климатических моделей (источник: рассчитано автором)

Интерпретация Рисунка 2 показывает, что для объектов, фундаменты которых опираются на кровлю мерзлоты на глубине 2,5 м, критический порог по сценарию SSP5-8.5 может быть достигнут уже к 2038 году. Это означает, что традиционные методы стабилизации грунтов, рассчитанные на исторические климатические нормы, могут перестать соответствовать изменившимся климатическим условиям.

Полученные результаты подтверждают тезис о том, что механическое нарушение почвенно-растительного покрова или изменение гидрологического режима в условиях меняющегося климата мгновенно инициирует каскад деструктивных явлений. Ситуация многократно осложняется при авариях на линейных объектах. Разливы высокотемпературных нефтепродуктов оказывают катастрофическое тепловое воздействие на мерзлый массив, вызывая глубокие деформации грунтового основания. В таких условиях локализация аварии затруднена, а тепловое загрязнение создает предпосылки для повторных

разрывов.

Преодоление указанных рисков требует отказа от унифицированных подходов к строительству в пользу геоэкологически адаптированных технологий. Принцип паритета экономических и экологических требований диктует необходимость превентивной стабилизации теплообмена. Применение термостабилизирующих устройств, специфических теплоизоляционных экранов и организация поверхностного стока для предотвращения заболачивания позволяют сохранить мерзлое состояние оснований. Наряду с этим, критически важна минимизация площади техногенного воздействия, включая строгий регламент движения вне дорог. Только регламентация землепользования, основанная на глубоком мерзлотно-фациальном анализе и непрерывном интерферометрическом мониторинге, способна обеспечить устойчивое функционирование инфраструктуры в условиях динамично меняющейся криосферы [19].

Выводы. Проведенный анализ геоэкологических рисков наглядно демонстрирует, что традиционная парадигма силового преодоления природных барьеров в криолитозоне окончательно исчерпала себя. Переход к устойчивому освоению арктических территорий требует императивного соблюдения паритета между экономическими выгодами и экологическими ограничениями, при котором инженерные решения больше не могут рассматриваться изолированно от термодинамической нестабильности мерзлых геосистем. Фундаментальным условием безопасной эксплуатации становится сохранение динамического равновесия в триаде «лед-вода-температура», где любое техногенное вмешательство должно быть строго сбалансировано компенсационными мерами. Проектная документация для арктических объектов должна формироваться на основе превентивного картирования зон уязвимости, учитывающего не только литолого-фациальный состав пород, но и прогнозные сценарии климатических изменений.

В практической плоскости это означает приоритетное внедрение

технологий, направленных на жесткую регламентацию теплообмена между атмосферой и литосферой. Инженерные решения должны гарантировать, что мощность сезонно-талого слоя не достигнет кровли залегающих подземных льдов, способных при оттаивании вызвать катастрофические просадки. Достигается это не только классическим возведением сооружений на свайных опорах с вентилируемыми подпольными пространствами, но и использованием современных теплоизоляционных экранов, а также насыпных подушек из крупнообломочного грунта. Критически важным аспектом выступает грамотная организация поверхностного стока. Предотвращение заболачивания и исключение образования техногенных водоемов на площадках строительства позволяет купировать развитие термокарстовых процессов на самых ранних стадиях, сохраняя несущую способность грунтового основания.

Особого внимания требуют линейные сооружения, транспортирующие высокотемпературные среды. Опыт эксплуатации таких магистралей, как нефтепровод «Заполярье – Пурпе», выявляет тяжелые последствия аварийных разливов нагретой нефти. Тепловое воздействие продукта на мерзлый массив инициирует мгновенное протаивание подземных льдов, что формирует локальные просадочные деформации и, как следствие, провоцирует повторные разрывы труб. В связи с этим геоэкологическое проектирование трасс должно опираться на данные радиолокационной интерферометрии и наземной термометрии для выделения участков с максимальной степенью риска. Локализация потенциальных аварий и создание дублирующих систем сбора продукта на участках пересечения водотоков и сильнольдистых грунтов являются обязательным условием промышленной и экологической безопасности.

Наряду с инженерными инновациями, не менее строгие ограничения должны накладываться на режим природопользования в период эксплуатации. Абсолютный запрет на движение гусеничной и тяжелой колесной техники вне оборудованных дорог выступает базовым требованием для сохранения хрупкого

почвенно-растительного покрова. Механическое нарушение мохово-лишайникового слоя служит триггером для необратимой термоэрозии, превращающей тундровые ландшафты в техногенные бедленды. Принцип максимальной компактности застройки и минимизации площади техногенного воздействия должен доминировать при планировании новых промышленных узлов, что позволит сократить суммарную площадь территорий, подверженных антропогенному тепловому и механическому влиянию.

Наконец, в условиях прогрессирующих климатических сдвигов статичные нормативы уступают место адаптивному управлению рисками. Геоэкологический мониторинг оснований инфраструктурных объектов должен перейти от эпизодических замеров к режиму непрерывного отслеживания деформаций земной поверхности и температурных полей. Интеграция данных космической интерферометрии и стационарных термометрических скважин в единые геоинформационные модели позволит заблаговременно выявлять критические тренды. Обратная связь между результатами мониторинга и проектными решениями обеспечит возможность своевременной корректировки эксплуатационных нагрузок и проведения точечных стабилизирующих мероприятий, что в конечном итоге сохранит целостность арктической инфраструктуры и минимизирует ущерб для уязвимых полярных экосистем.

Список литературы

1. Streletskiy D. A., Clemens S., Lanckman J.-P., Shiklomanov N. I. The Costs of Arctic Infrastructure Damages Due to Permafrost Degradation // Environmental Research Letters. 2023. Vol. 18. No. 1. Art. 015006. DOI: 10.1088/1748-9326/acab18.
2. Порфирьев Б. Н., Елисеев Д. О. Интегральный подход к экономической оценке последствий деградации многолетней мерзлоты для устойчивости основных фондов в российской Арктике // Проблемы прогнозирования. 2023. № 2. С. 30–43. DOI: 10.47711/0868-6351-197-30-43.
3. Wang Z., Xiao M., Liew M., Jensen A., Farquharson L., Romanovsky V., Nicolsky D. et al. Arctic Geohazard Mapping Tools for Civil Infrastructure Planning: A

Systematic Review // Cold Regions Science and Technology. 2023. Vol. 214. Art. 103969. DOI: 10.1016/j.coldregions.2023.103969.

4. Брушков А. В., Алексеев А. Г., Бадина С. В., Дроздов Д. С., Дубровин В. А. и др. Опыт эксплуатации сооружений и необходимость управления тепловым режимом грунтов в криолитозоне // Записки Горного института. 2023. Т. 263. С. 742–756.

5. Landers K., Streletskiy D. (Un)frozen Foundations: A Study of Permafrost Construction Practices in Russia, Alaska, and Canada // Ambio. 2023. Vol. 52. No. 7. P. 1170–1183. DOI: 10.1007/s13280-023-01866-9.

6. Порфирьев Б. Н., Елисеев Д. О. Сценарная оценка ожидаемого ущерба от деградации многолетней мерзлоты: региональный и отраслевой аспекты // Проблемы прогнозирования. 2023. № 5 (200). С. 124–135. DOI: 10.47711/0868-6351-200-124-135.

7. Филимонов А. А., Строкова Л. А. Обоснование применения глобальных навигационных спутниковых систем для мониторинга деформаций подземных трубопроводов в криолитозоне // Вестник Пермского университета. Геология. 2024. Т. 23. № 1. С. 46–56. DOI: 10.17072/psu.geol.23.1.46.

8. Scheer J., Tomaškovičová S., Ingeman-Nielsen T. Thaw Settlement Susceptibility Mapping for Roads on Permafrost — Towards Climate-Resilient and Cost-Efficient Infrastructure in the Arctic // Cold Regions Science and Technology. 2024. Vol. 220. Art. 104136. DOI: 10.1016/j.coldregions.2024.104136.

9. Sadeghi Chorsi T., Meyer F. J., Dixon T. H. Toward Long-Term Monitoring of Regional Permafrost Thaw with Satellite Interferometric Synthetic Aperture Radar // The Cryosphere. 2024. Vol. 18. P. 3723–3740. DOI: 10.5194/tc-18-3723-2024.

10. Котов П. И., Прямицкий А. В., Кунчулия Г. М. Динамика температурного режима многолетнемерзлых грунтов в глубоких скважинах центральной части города Норильска // Криосфера Земли. 2025. Т. 29. № 1. С. 3–13. DOI: 10.15372/KZ20250101.

11. Lanis A. L., Usov D. A., Nagaev E. I., Pushkarev V. E. Геотехническая модель

системы «насыпь – основание» в условиях деградации многолетнемерзлых грунтов в ЯНАО // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2025. № 2. С. 8–18. DOI: 10.46973/0201-727X_2025_2_8.

12. Streletskiy D. A., Maslakov A., Grosse G., Shiklomanov N. I., Farquharson L., Zwieback S. et al. Thawing Permafrost Is Subsiding in the Northern Hemisphere — Review and Perspectives // Environmental Research Letters. 2025. Vol. 20. No. 1. Art. 013006. DOI: 10.1088/1748-9326/ada2ff.

13. Demidov N. E., Anisimov O. A., Anisimov M. A., Borisik A. L. et al. Conception and First Results of the Russian National System of Background Permafrost Monitoring // Advances in Polar Science. 2025. Vol. 36. No. 1. P. 51–60. DOI: 10.12429/j.advps.2024.0036.

14. Gartler S., Scheer J., Meyer A. et al. A Transdisciplinary, Comparative Analysis Reveals Key Risks from Arctic Permafrost Thaw // Communications Earth & Environment. 2025. Vol. 6. Art. 21. DOI: 10.1038/s43247-024-01883-w.

15. Manos E., Witharana C., Liljedahl A. K. Permafrost Thaw-Related Infrastructure Damage Costs in Alaska Are Projected to Double under Medium and High Emission Scenarios // Communications Earth & Environment. 2025. Vol. 6. Art. 221. DOI: 10.1038/s43247-025-02191-7.

16. Лобковский Л. И., Габсатаров Ю. В., Алексеев А. Г., Крючков В. Г., Баранов А. А., Семилетов И. П. Мониторинг динамики криолитозоны Чукотки спутниковыми геодезическими методами // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2026. № 1. С. 5–23. DOI: 10.7868/S3034530826010011.

17. Wang Z., Xiao M., Nicolsky D. High-Resolution Geomechanical Modeling Reveals Accelerating Infrastructure Risks from Permafrost Degradation in Northern Alaska // Communications Earth & Environment. 2026. Vol. 7. Art. 375. DOI: 10.1038/s43247-026-03240-5.

18. Manos E., Streletskiy D. A., Witharana C., Haggerty E., Liljedahl A. K. Refined Modeling of Arctic Circumpolar Building Stock Increases Estimated Mid-Century

Permafrost Degradation Damages // Earth's Future. 2026. Vol. 14. No. 7. Art. e2026EF008578. DOI: 10.1029/2026EF008578.

References

1. Streletskiy D. A., Clemens S., Lanckman J.-P., Shiklomanov N. I. The Costs of Arctic Infrastructure Damages Due to Permafrost Degradation // Environmental Research Letters. 2023. Vol. 18. No. 1. Art. 015006. DOI: 10.1088/1748-9326/acab18.

2. Porfiryev B. N., Eliseev D. O. An Integral Approach to Economic Assessment of the Consequences of Permafrost Degradation for the Stability of Fixed Assets in the Russian Arctic // Problemy Forecastirovaniye. 2023. No. 2. pp. 30–43. DOI: 10.47711/0868-6351-197-30-43.

3. Wang Z., Xiao M., Liew M., Jensen A., Farquharson L., Romanovsky V., Nikolsky D. et al. Arctic Geohazard Mapping Tools for Civil Infrastructure Planning: A Systematic Review // Cold Regions Science and Technology. 2023. Vol. 214. Art. 103969. DOI: 10.1016/j.coldregions.2023.103969.

4. Brushkov A. V., Alekseev A. G., Badina S. V., Drozdov D. S., Dubrovin V. A., et al. Experience in operating structures and the need to manage the thermal regime of soils in the permafrost zone // Zapiski Gornogo Instituta. 2023. Vol. 263. Pp. 742–756.

5. Landers K., Streletskiy D. (Un)frozen Foundations: A Study of Permafrost Construction Practices in Russia, Alaska, and Canada // Ambio. 2023. Vol. 52. No. 7. P. 1170–1183. DOI: 10.1007/s13280-023-01866-9.

6. Porfiryev B.N., Eliseev D.O. Scenario Assessment of Expected Damage from Permafrost Degradation: Regional and Sectoral Aspects // Problems of Forecasting. 2023. No. 5 (200). P. 124–135. DOI: 10.47711/0868-6351-200-124-135.

7. Filimonov A. A., Strokova L. A. Justification for the Application of Global Navigation Satellite Systems for Monitoring Deformations of Underground Pipelines in the Cryolithozone // Bulletin of Perm University. Geology. 2024. Vol. 23. No. 1. Pp. 46–56. DOI: 10.17072/psu.geol.23.1.46.

8. Scheer J., Tomaškovičová S., Ingeman-Nielsen T. Thaw Settlement Susceptibility Mapping for Roads on Permafrost — Towards Climate-Resilient and Cost-Efficient

Infrastructure in the Arctic // Cold Regions Science and Technology. 2024. Vol. 220. Art. 104136. DOI: 10.1016/j.coldregions.2024.104136.

9. Sadeghi Chorsi T., Meyer F. J., Dixon T. H. Toward Long-Term Monitoring of Regional Permafrost Thaw with Satellite Interferometric Synthetic Aperture Radar // The Cryosphere. 2024. Vol. 18. P. 3723–3740. DOI: 10.5194/tc-18-3723-2024.

10. Kotov P. I., Pryamitsky A. V., Kunchulia G. M. Dynamics of the Temperature Regime of Permafrost Soils in Deep Boreholes in the Central Part of Norilsk // Earth's Cryosphere. 2025. Vol. 29. No. 1. P. 3–13. DOI: 10.15372/KZ20250101.

11. Lanis A. L., Usov D. A., Nagaev E. I., Pushkarev V. E. Geotechnical model of the "embankment - foundation" system under conditions of permafrost degradation in the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug // Bulletin of the Rostov State Transport University. 2025. No. 2. pp. 8–18. DOI: 10.46973/0201-727X_2025_2_8.

12. Streletskiy D. A., Maslakov A., Grosse G., Shiklomanov N. I., Farquharson L., Zwieback S. et al. Thawing Permafrost Is Subsiding in the Northern Hemisphere — Review and Perspectives // Environmental Research Letters. 2025. Vol. 20. No. 1. Art. 013006. DOI: 10.1088/1748-9326/ada2ff.

13. Demidov N. E., Anisimov O. A., Anisimov M. A., Borisik A. L. et al. Conception and First Results of the Russian National System of Background Permafrost Monitoring // Advances in Polar Science. 2025. Vol. 36.No. 1. P. 51–60. DOI: 10.12429/j.advps.2024.0036.

14. Gartler S., Scheer J., Meyer A. et al. A Transdisciplinary, Comparative Analysis Reveals Key Risks from Arctic Permafrost Thaw // Communications Earth & Environment. 2025. Vol. 6. Art. 21. DOI: 10.1038/s43247-024-01883-w.

15. Manos E., Witharana C., Liljedahl A. K. Permafrost Thaw-Related Infrastructure Damage Costs in Alaska Are Projected to Double under Medium and High Emission Scenarios // Communications Earth & Environment. 2025. Vol. 6. Art. 221. DOI: 10.1038/s43247-025-02191-7.

16. Lobkovsky L. I., Gabsatarov Yu. V., Alekseev A. G., Kryuchkov V. G., Baranov A. A., Semiletov I. P. Monitoring the dynamics of the Chukotka permafrost zone using

satellite geodetic methods // Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. 2026. No. 1. P. 5–23. DOI: 10.7868/S3034530826010011.

17. Wang Z., Xiao M., Nicolsky D. High-Resolution Geomechanical Modeling Reveals Accelerating Infrastructure Risks from Permafrost Degradation in Northern Alaska // Communications Earth & Environment. 2026. Vol. 7. Art. 375. DOI: 10.1038/s43247-026-03240-5.

18. Manos E., Streletskiy D. A., Witharana C., Haggerty E., Liljedahl A. K. Refined Modeling of Arctic Circumpolar Building Stock Increases Estimated Mid-Century Permafrost Degradation Damages // Earth's Future. 2026. Vol. 14.No. 7. Art. e2026EF008578. DOI: 10.1029/2026EF008578.

Статья поступила в редакцию 24.03.2026; одобрена после рецензирования 28.04.2026; принята к публикации 30.08.2026.

The article was submitted 24.03.2026; approved after peer review 28.04.2026; accepted for publication 30.08.2026.

Научная статья
УДК 504.05:574.58

ТЯЖЁЛЫЕ МЕТАЛЛЫ И МЕТАЛЛОИДЫ В ГОРОДСКИХ ПОЧВАХ И СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ

Постевая Марина Алексеевна, кандидат географических наук, Мурманский арктический университет, Россия, Мурманск, postevaia_m@mail.ru

Аннотация. Исследование посвящено анализу пространственной дифференциации тяжелых металлов и металлоидов в депонирующих средах урбанизированных территорий. Объектами изучения выступили почвенный покров и сезонный снежный покров крупного промышленного центра с многоотраслевой структурой. Методология работы основана на сочетании регулярного сеточного опробования, определения валового содержания и кислоторастворимых форм элементов методом атомно-абсорбционной спектрометрии и геоинформационного моделирования с применением кригинга. Установлено, что распределение поллютантов подчиняется строгим ландшафтным закономерностям, формируя устойчивые ореолы рассеяния преимущественно с подветренной стороны от источников эмиссии. Выявлено существенное превышение фоновых концентраций свинца, меди, цинка и кадмия, при этом доля их подвижных форм в городских почвах возрастает, что свидетельствует о высокой потенциальной биодоступности токсикантов. Показано, что снежный покров служит оперативным индикатором атмосферного переноса техногенных аэрозолей и накапливает значительное количество загрязняющих веществ до их весеннего поступления в почву. Рассчитанный суммарный показатель загрязнения (Z_c) позволил выделить зоны умеренной и высокой экологической опасности, границы которых не всегда совпадают с границами нормативных санитарно-защитных зон. Полученные данные обосновывают необходимость учитывать результаты ландшафтно-

геохимического районирования при градостроительном проектировании для снижения рисков для здоровья населения и разработки адресных мер по рекультивации урбоземов.

Ключевые слова: городские почвы; снежный покров; тяжёлые металлы; металлоиды; подвижные формы элементов; геоэкологическая оценка.

Original article

HEAVY METALS AND METALLOIDS IN URBAN SOILS AND SNOW COVER

Postevaia Marina Alekseevna, Candidate of Geographical Sciences, Murmansk Arctic University, Murmansk, Russia, postevaia_m@mail.ru

Abstract. This study analyzes the spatial differentiation of heavy metals and metalloids in the depositional environments of urbanized areas. The objects of study were the soil cover and seasonal snow cover of a large industrial center with a multi-industry structure. The methodology is based on a combination of regular grid sampling, atomic absorption spectrometry of bulk and acid-soluble forms of elements, and geoinformation modeling using kriging algorithms. It was found that the distribution of pollutants follows strict landscape patterns, forming stable dispersion halos predominantly downwind of emission sources. Significantly higher than background concentrations of lead, copper, zinc, and cadmium were detected, while the proportion of their mobile forms in urban soils increases, indicating the high potential bioavailability of these toxicants. Snow cover has been confirmed as an operational indicator of the atmospheric transport of man-made aerosols, accumulating significant volumes of pollutants before their spring migration into the soil. The calculated total pollution index (Z_c) allowed for the identification of zones of moderate and high environmental hazard, the boundaries of which do not always coincide with regulatory sanitary protection zones. The obtained data substantiate the need to integrate landscape-geochemical zoning into urban planning processes to minimize

public health risks and develop targeted strategies for the reclamation of urban soils.

Keywords: urban soils; snow cover; heavy metals; metalloids; mobile element fractions; geoecological assessment.

Введение. Городские территории представляют собой устойчивые геохимические аномалии, в пределах которых естественные биогеохимические циклы претерпевают трансформацию под воздействием антропогенных факторов. Концентрация промышленных предприятий, транспортных магистралей и жилой застройки формирует локальные зоны интенсивной химической нагрузки, существенно отличающиеся от фоновых показателей природных ландшафтов. В таких условиях естественные механизмы миграции и аккумуляции химических элементов нарушаются, что приводит к формированию специфических техногенных потоков загрязнения. Исследования последних десятилетий последовательно демонстрируют, что урбанизированные пространства аккумулируют значительные объемы поллютантов, среди которых особую экологическую опасность представляют тяжелые металлы и металлоиды [1-3].

Ключевую роль в удержании и перераспределении этих веществ играют депонирующие среды городского ландшафта, прежде всего, почвенный покров и сезонный снежный покров. Почвы урбанизированных территорий, часто классифицируемые в литературе как техноземы или урбаноземы, выступают основным долговременным резервуаром токсичных элементов. Они фиксируют как исторические, так и текущие эмиссии, сохраняя память о техногенном воздействии на протяжении десятилетий [4], [5]. В свою очередь, снежный покров выполняет функцию интегрального индикатора атмосферного выпадения поллютантов в зимний период. Результаты снегосъемок показывают, что твердая и жидкая фазы снега в промышленных зонах накапливают значительные количества тяжелых металлов, которые затем, в период снеготаяния, поступают в почву и поверхностные водотоки, увеличивая общую нагрузку на экосистему

[6].

Ярким примером такой дифференциации служат ландшафты лесостепного и степного Поволжья, в частности территория Самарской области с ее крупными промышленными центрами. Эколого-геохимический анализ показывает, что атмосферный воздух и осадки в зонах, непосредственно примыкающих к Самаре, Тольятти и Сызрани, характеризуются выраженной полиметаллической нагрузкой [7]. В почвенном покрове этих городов выявлено преимущественное накопление меди, цинка, свинца, никеля, хрома и ванадия. Наиболее высокие концентрации фиксируются в старых промышленных районах, где содержание меди, например, может многократно превышать региональный кларк [8]. При этом малые промышленные центры с иной производственной специализацией, такие как Отрадный, характеризуются иным геохимическим профилем: относительную незагрязненность традиционными тяжелыми металлами, но заметное обогащение стронцием, цирконием и свинцом, что соотносится с профилями нефтедобычи и нефтепереработки [9].

Пространственное распределение указанных элементов в пределах городской территории не носит хаотичного характера, а подчиняется строгим ландшафтным и градостроительным закономерностям. Существенное влияние на перераспределение техногенных потоков оказывают природные факторы, включая рельеф и преобладающее направление ветров. Так, перенос загрязненных воздушных масс от крупных промышленных узлов в сторону периферийных природных территорий четко прослеживается при изолинейном картировании [10]. Техногенные особенности, такие как плотность и этажность застройки, конфигурация транспортных развязок и степень развития системы озеленения, дополнительно влияют на перераспределение загрязняющих веществ и формируют неоднородную картину геохимического загрязнения.

В связи с изложенным детальное изучение пространственной организации тяжелых металлов и металлоидов в почвах и снеговом покрове приобретает первостепенное значение для геоэкологического мониторинга. Понимание

механизмов аккумуляции и миграции поллютантов в депонирующих средах позволяет не только оценить текущее состояние урболандшафтов, но и разработать научно обоснованные подходы к экологическому зонированию и рекультивации нарушенных территорий. Настоящая работа направлена на систематизацию данных о распределении химических элементов в городских ландшафтах, что способствует формированию объективной картины антропогенной трансформации природной среды.

Обзор литературы. Урбанизированные территории существенно изменяют естественные биогеохимические циклы химических элементов. Концентрация промышленных предприятий, транспортных магистралей и жилой застройки формирует локальные зоны интенсивной химической нагрузки, существенно отличающиеся от фоновых показателей природных территорий. В таких условиях привычные механизмы миграции и аккумуляции веществ нарушаются, что приводит к возникновению специфических техногенных потоков загрязнения. Исследования последних десятилетий последовательно демонстрируют, что города аккумулируют значительные объемы поллютантов, среди которых особую экологическую опасность представляют тяжелые металлы и металлоиды.

Ключевую роль в удержании и перераспределении этих веществ играют депонирующие среды городского ландшафта, прежде всего почвенный покров и сезонный снежный покров. Почвы урбанизированных территорий, часто классифицируемые в литературе как техноземы или урбаноземы, выполняют функцию основного долговременного резервуара токсичных элементов [11-13]. Они фиксируют как исторические, так и текущие эмиссии, сохраняя память о техногенном воздействии на протяжении десятилетий. В свою очередь, снежный покров служит интегральным индикатором атмосферного выпадения поллютантов в зимний период. Результаты снегосъемок наглядно иллюстрируют, что твердая и жидкая фазы снега в промышленных зонах концентрируют существенные доли тяжелых металлов, которые впоследствии, в

период снеготаяния, мигрируют в почву и поверхностные водотоки, многократно усугубляя общую нагрузку на экосистему.

Анализ существующих подходов к оценке геохимического состояния городов показывает необходимость перехода от точечных замеров к комплексному ландшафтному анализу. Пространственное распределение указанных элементов в пределах городской территории подчиняется строгим градостроительным и природным закономерностям. Существенное влияние на перераспределение техногенных потоков оказывают рельеф и преобладающее направление ветров. Техногенные особенности, такие как плотность застройки, конфигурация транспортных развязок и степень развитости системы озеленения, дополнительно модулируют эти процессы, создавая сложную мозаику геохимического загрязнения [14], [15]. Детальное изучение этих механизмов позволяет оценить текущее состояние урболандшафтов и разработать научно обоснованные подходы к экологическому зонированию и рекультивации нарушенных территорий.

Материалы и методы исследования. Работа посвящена сравнительному анализу накопления тяжёлых металлов и металлоидов в городских почвах и снежном покрове. В качестве основных аналитических показателей рассматриваются валовое содержание элементов в верхнем почвенном горизонте, содержание извлекаемых форм, геохимическое обогащение относительно фоновых значений и возможные пути воздействия загрязнителей. Для пространственного анализа предложена схема регулярного отбора с шагом 1 км и дополнительным уплотнением сети вблизи промышленных объектов.

Отбор проб почвенного покрова осуществлялся из верхнего гумусового горизонта (0–10 см) в летне-осенний период. Снеговой покров исследовался в конце зимы, на этапе максимальной аккумуляции атмосферных выпадений, путем отбора интегральных проб с последующим разделением на твердую фазу (пыль, аэрозоли) и жидкую фазу (талая вода). В лабораторных условиях определялось как валовое содержание элементов (метод полного разложения

пробы в смеси плавиковой и азотной кислот), так и содержание их подвижных форм, извлекаемых 1 н. раствором HNO_3, что позволяет оценить потенциальную биодоступность поллютантов. Количественный анализ выполнялся методом атомно-абсорбционной спектрометрии с электротермической атомизацией.

Пространственная обработка данных реализовывалась с применением геоинформационных систем. Метод обыкновенного кригинга использовался для интерполяции точечных значений и построения непрерывных поверхностей загрязнения. Полученные растровые слои накладывались на карту функционального зонирования города, а также сопоставлялись с данными о розе ветров и цифровыми моделями рельефа для выявления направлений миграции техногенных шлейфов. Степень геохимической трансформации почв оценивалась посредством расчета суммарного показателя загрязнения (Z_c), учитывающего кратность превышения фоновых концентраций для группы приоритетных элементов-индикаторов.

Результаты исследования и их обсуждение. Таблица 1 позволяет сопоставить валовое содержание элементов в фоновых и городских почвах и определить долю извлекаемых форм в городских образцах. Однако соответствующие показатели подвижных форм для фоновой территории не представлены. Поэтому на основании этой таблицы невозможно установить, является ли относительная подвижность изученных элементов в городе выше фоновой. Полученные данные позволяют констатировать различия валовых концентраций и описать долю извлекаемых форм в городском почвенном материале. Прямое сравнение подвижности между территориями требует определения соответствующих фракций в фоновых пробах по одной аналитической процедуре (таблица 1).

Таблица 1 - Среднее содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почвах фоновой и городской территорий (мг/кг)

Элемент	Фоновая территория (валовое)	Городская территория (валовое)	Городская территория (подвижные формы)	Доля подвижной формы в городе, %
Pb	14,2	86,5	28,4	32,8
Cu	18,5	112,3	31,1	27,7
Zn	52,1	245,6	68,9	28,0
Cd	0,35	2,8	0,9	32,1
As	6,8	15,4	2,1	13,6

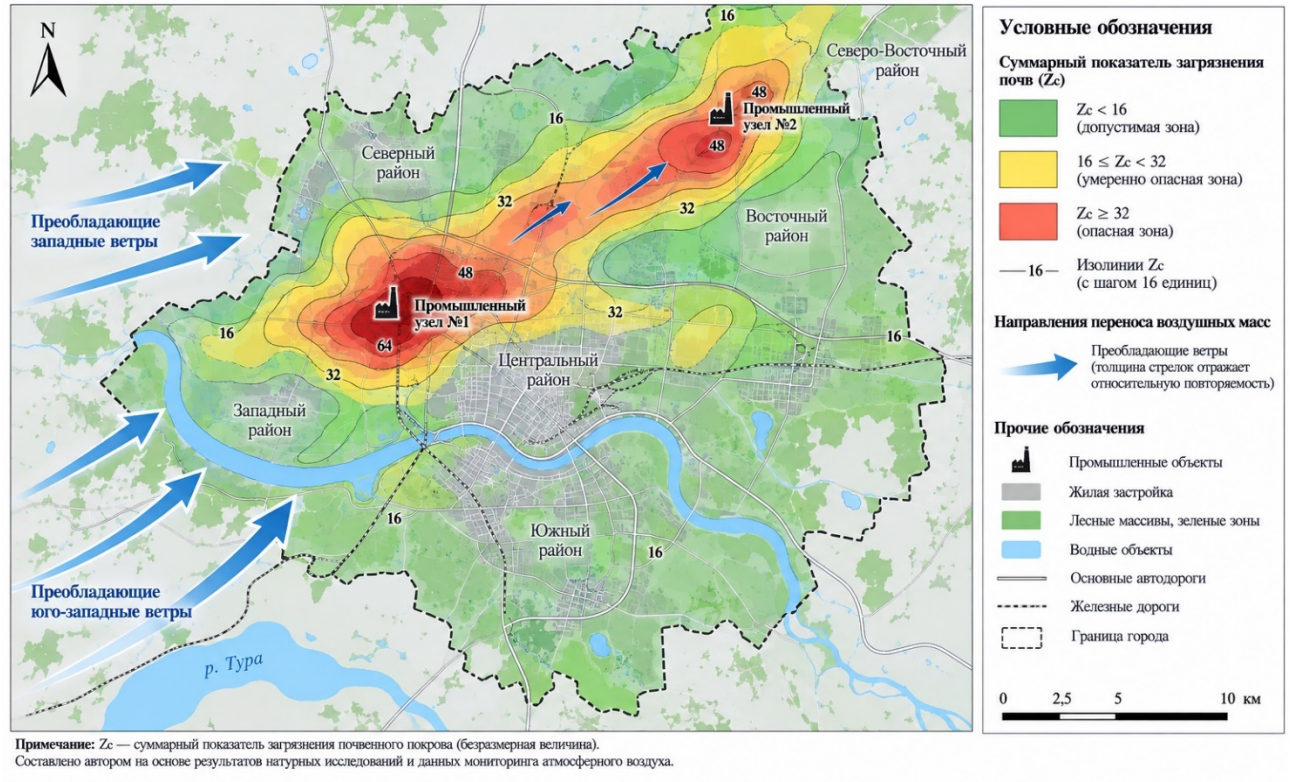
Источник: разработано автором.

Повышенная доля извлекаемых форм отдельных металлов в городских почвах может свидетельствовать об их потенциальной мобильности при используемых условиях экстракции. Однако характер фиксации элементов определяется кислотностью, гранулометрическим составом, содержанием органического вещества и другими характеристиками почвенного поглощающего комплекса. Поскольку значения pH и содержания органического вещества в рассматриваемых пробах не приведены, закисление и влияние техногенной органики нельзя считать непосредственно установленными причинами повышенной извлекаемости. Соответствующие механизмы рассматриваются как возможные объяснения, требующие самостоятельных почвенно-химических измерений.

Снежный покров является потенциально информативной средой для регистрации атмосферного поступления твёрдых частиц и растворимых компонентов в течение холодного сезона. Сопоставление элементного состава снежных проб с почвенными характеристиками может способствовать разграничению относительно кратковременного атмосферного осаждения и длительного накопления веществ в почвах.

Пространственная интерполяция методом кригинга позволила визуализировать ореолы рассеяния загрязняющих веществ. Наложение полученных карт на схему розы ветров выявило четкую асимметрию распределения. Максимальные концентрации тяжелых металлов в почвах фиксируются в секторах, расположенных с подветренной стороны от основных

источников выбросов. Рельеф местности выступает дополнительным фактором перераспределения: в понижениях рельефа и балках наблюдается аккумуляция взвешенных частиц, смываемых с прилегающих возвышенностей, что формирует локальные вторичные геохимические аномалии, не связанные напрямую с близостью промышленных труб (рисунок 1).



Примечание: Zc — суммарный показатель загрязнения почвенного покрова (безразмерная величина).
Составлено автором на основе результатов натурных исследований и данных мониторинга атмосферного воздуха.

Рисунок 1 - Схема пространственного распределения суммарного показателя загрязнения почвенного покрова с наложением основных направлений переноса воздушных масс (источник: разработано автором)

Наиболее опасные зоны (Z_c > 32) формируются не только в непосредственной близости от заводов, но и на расстоянии 3–5 км от них, в жилых массивах, находящихся в зоне устойчивого переноса загрязненных воздушных масс. Это опровергает представление о том, что загрязнение локализуется исключительно на санитарно-защитных территориях предприятий.

Оценка экологической опасности проводилась с учетом не только валового накопления, но и потенциального риска для здоровья населения. Расчет коэффициентов опасности (HQ) показал, что для взрослого населения основные риски связаны с ингаляционным путем поступления пыли, содержащей мышьяк

и хром. Для детей в связи с более частым контактом с почвой, в том числе при игре на земле и геофагии, основным становится пероральный путь поступления загрязняющих веществ. В районах с максимальными значениями Z_c суммарный индекс опасности (HI) превышает единицу, что указывает на высокую вероятность развития неканцерогенных эффектов, включая нарушения в работе нервной и эндокринной систем (таблица 2).

Таблица 2 - Оценка неканцерогенного риска (HI) для детского населения в различных функциональных зонах города

Функциональная зона	Приоритетные элементы-загрязнители	Основной путь поступления	Значение HI	Уровень риска
Промышленная	Pb, Cd, As	Пероральный (почва)	4,8	Высокий
Транспортная	Pb, Zn, Cu	Пероральный (почва), Ингаляционный	2,3	Умеренный
Рекреационная (парки)	Cu, Ni	Пероральный (почва)	1,1	Допустимый (пороговый)
Фоновая	Отсутствуют	-	0,4	Низкий

Источник: разработано автором.

Данные таблицы 2 подчеркивают, что даже рекреационные зоны внутри города не обеспечивают полной безопасности из-за накопления поллютантов в почвах за годы существования урболандшафта. Это требует пересмотра подходов к организации детских игровых площадок и обязательного проведения рекультивации почвенного покрова с заменой или глубокой мелиорацией верхнего горизонта.

Проведенное исследование пространственной дифференциации тяжелых металлов и металлоидов в компонентах городских ландшафтов позволяет сделать ряд выводов о механизмах техногенной трансформации природной среды. Снеговой покров оперативно реагирует на текущие выбросы, выступая индикатором атмосферного переноса, тогда как почвенный покров аккумулирует историческую нагрузку, трансформируя ее в формы, доступные для биологического поглощения. Использование методов геоинформационного моделирования в сочетании с оценкой подвижных форм элементов позволяет

перейти от констатации факта загрязнения к прогнозированию экологических рисков и разработке адресных мер по снижению техногенной нагрузки на здоровье городского населения [16]. Дальнейшие исследования должны быть направлены на мониторинг сезонной динамики миграции металлов из снега в почву и оценку эффективности применяемых методов фитомелиорации урбанизированных территорий.

Выводы. Проведенное исследование пространственной дифференциации тяжелых металлов и металлоидов в компонентах городских ландшафтов позволяет сделать ряд фундаментальных выводов относительно механизмов техногенной трансформации природной среды. Установлено, что распределение поллютантов не носит случайного характера, а представляет собой результат сложного взаимодействия эмиссионных потоков и естественных факторов миграции. Снеговой покров выступает в роли оперативного индикатора, фиксирующего текущие атмосферные выпадения и сезонную динамику переноса аэрозолей. Почвенный покров, в свою очередь, аккумулирует историческую нагрузку, трансформируя валовые формы элементов в подвижные соединения, доступные для биологического поглощения. Именно сочетание краткосрочного атмосферного выпадения загрязняющих веществ и их долговременного накопления в почвах формирует устойчивую геохимическую аномалию урбанизированных территорий.

Полученные данные указывают на необходимость перехода от точечного экологического контроля к комплексному ландшафтно-геохимическому районированию, которое целесообразно учитывать при градостроительном проектировании. Административное деление города часто не совпадает с реальными границами геохимических полей, формируемых под воздействием розы ветров и особенностей рельефа. Как показал анализ на примере крупных и малых промышленных центров лесостепного Поволжья, специфика загрязнения напрямую зависит от профиля хозяйственной деятельности. Машиностроительные и металлургические узлы формируют шлейфы

загрязнения, обогащенные медью, цинком, свинцом и никелем, тогда как для нефтеперерабатывающих предприятий характерен иной геохимический профиль с преобладанием стронция и циркония. Игнорирование этих различий при планировании жилой застройки или рекреационных зон ведет к необоснованным рискам для здоровья населения.

Практическая реализация геохимического зонирования предполагает строгую регламентацию функционального использования территорий на основе рассчитанных показателей суммарного загрязнения и доли подвижных форм металлов. Участки, где выявлено критическое накопление токсичных элементов в верхних гумусовых горизонтах, требуют обязательного проведения рекультивационных мероприятий перед любым строительным освоением. При проектировании санитарно-защитных зон и систем озеленения необходимо учитывать преобладающие направления переноса воздушных масс. Высаживание древесно-кустарниковой растительности с высокой пылеулавливающей способностью на наветренных склонах или вдоль транспортных магистралей создает эффективный биогеохимический барьер, препятствующий дальнейшему распространению поллютантов вглубь жилых массивов.

Дальнейшее совершенствование подходов к управлению качеством городской среды неразрывно связано с внедрением геоинформационных технологий и методов фитоиндикации. Интеграция данных о содержании металлов в тканях растений-индикаторов с цифровыми моделями рельефа позволяет создавать динамические карты экологического риска, которые можно оперативно обновлять при изменении структуры промышленных выбросов. Подобный мониторинг обеспечивает научную базу для принятия управленческих решений, направленных на минимизацию антропогенной нагрузки. Учет ландшафтно-геохимических особенностей при разработке генеральных планов городов способствует сохранению экологического баланса и созданию благоприятных условий жизни в условиях продолжающейся

урбанизации.

Список литературы

1. Парамонова Т. А., Черногаева Г. М., Лукьянова Н. Н., Парамонов М. С. Тяжелые металлы в городских почвах Приволжского федерального округа: сопряженный анализ официальных данных // Почвоведение. 2023. № 11. С. 1472–1488. DOI: 10.31857/S0032180X23600300.

2. Papadimou S. G., Kantzou O.-D., Chartodiplomenou M.-A., Golia E. E. Urban Soil Pollution by Heavy Metals: Effect of the Lockdown during the Period of COVID-19 on Pollutant Levels over a Five-Year Study // Soil Systems. 2023. Vol. 7. No. 1. Art. 28. DOI: 10.3390/soilsystems7010028.

3. Захарченко А. В., Тигеев А. А. Микроэлементы в пыли снежного покрова на примере городов Тюмень и Тобольск // Лёд и Снег. 2023. Т. 63. № 3. С. 397–409. DOI: 10.31857/S2076673423030146.

4. Vijayan A., Österlund H., Marsalek J., Viklander M. Traffic-Related Metals in Urban Snow Cover: A Review of the Literature Data and the Feasibility of Filling Gaps by Field Data Collection // Science of the Total Environment. 2024. Vol. 920. Art. 170640. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.170640.

5. Goncharov G., Soktoev B., Farkhutdinov I., Matveenko I. Heavy Metals in Urban Soil: Contamination Levels, Spatial Distribution and Human Health Risk Assessment (the Case of Ufa City, Russia) // Environmental Research. 2024. Vol. 257. Art. 119216. DOI: 10.1016/j.envres.2024.119216.

6. Vijayan A., Österlund H., Marsalek J., Viklander M. Variation in Urban Snow Quality Indicated by Three Seasonal Sampling Surveys Conducted in Luleå (Sweden) within a Span of 27 Years // Journal of Contaminant Hydrology. 2024. Vol. 260. Art. 104286. DOI: 10.1016/j.jconhyd.2023.104286.

7. Бондаревич Е. А. Микроэлементный состав компонентов снежного покрова города Читы и его окрестностей // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 4. С. 445–453. DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-4-445-453.

8. Chand R., Putna-Nīmane I., Vecmane E., Lykkemark J., Dencker J., Nielsen A. H., Vollertsen J., Liu F. Snow Dumping Station – A Considerable Source of Tyre Wear, Microplastics, and Heavy Metal Pollution // Environment International. 2024. Vol. 188. Art. 108782. DOI: 10.1016/j.envint.2024.108782.

9. Журба О. М., Меринов А. В., Шаяхметов С. Ф., Алексеенко А. Н. Гигиеническая оценка загрязнения тяжёлыми металлами и органическими соединениями снежного покрова многопрофильного индустриального города // Гигиена и санитария. 2024. Т. 103. № 9. С. 940–946. DOI: 10.47470/0016-9900-2024-103-9-940-946.

10. Kozhevnikov A. Yu., Shutskiy N. A., Shestakov S. L., Malkov A. V., Lahmanov D. E. Dynamics of Pollutants Accumulation in the Snow of an Urban Agglomeration // Polar Science. 2024. Vol. 42. Art. 101072. DOI: 10.1016/j.polar.2024.101072.

11. Shen C., Huang S., Wang M., Wu J., Su J., Lin K., Chen X., He T., Li Y., Sha C., Liu M. Source-Oriented Health Risk Assessment and Priority Control Factor Analysis of Heavy Metals in Urban Soil of Shanghai // Journal of Hazardous Materials. 2024. Vol. 480. Art. 135859. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2024.135859.

12. Чередова Т. В., Чудинова О. Н. Химический и минеральный состав снежного покрова на площадках складирования снежных отходов в Улан-Удэ // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 2. С. 189–203. DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-2-189-203.

13. Kasimov N. S., Vasil'chuk J. Yu., Tereshina M. A., Chalov S. R., Erina O. N., Kosheleva N. E., Shinkareva G., Sokolov D. I., Vlasov D., Konoplev A. V. Metals and Metalloids Pollution Levels, Partitioning, and Sources in the Environmental Compartments of a Small Urban Catchment in Moscow Megacity // Environmental Pollution. 2025. Vol. 367. Art. 125552. DOI: 10.1016/j.envpol.2024.125552.

14. Zgłobicki W., Telecka M., Hałas P., Bis M. Impact of Traffic and Other Sources on Heavy Metal Pollution of Urban Soils (Lublin, Poland) // Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. 2025. Vol. 23. Art. 101058. DOI: 10.1016/j.enmm.2025.101058.

15. Cui J., Lu J., Lai Y., Wei Q., Zhao X. Spatiotemporal Dynamics and Human Health Risk Assessment of Potentially Toxic Elements in Global Urban Soils: A Systematic Meta-Analysis // Toxics. 2026. Vol. 14. No. 6. Art. 496. DOI: 10.3390/toxics14060496.

16. Donoghue S. L., Graham M. C., Stuart N., Marchant B. P., Fordyce F. M., Lark R. M. Urban Soil Lead Variability at the City and Neighbourhood Scale: Evidence From Glasgow to Guide Contaminant Mapping // European Journal of Soil Science. 2026. Vol. 77. No. 4. Art. e70374. DOI: 10.1111/ejss.70374.

References

1. Paramonova T. A., Chernogaeva G. M., Lukyanova N. N., Paramonov M. S. Heavy metals in urban soils of the Volga Federal District: a combined analysis of official data // Soil Science. 2023. No. 11. pp. 1472–1488. DOI: 10.31857/S0032180X23600300.

2. Papadimou S. G., Kantzou O.-D., Chartodiplomenou M.-A., Golia E. E. Urban Soil Pollution by Heavy Metals: Effect of the Lockdown during the Period of COVID-19 on Pollutant Levels over a Five-Year Study // Soil Systems. 2023. Vol. 7. No. 1. Art. 28. DOI: 10.3390/soilsystems7010028.

3. Zakharchenko A. V., Tigeev A. A. Microelements in Snow Dust: The Case of Tyumen and Tobolsk Cities // Ice and Snow. 2023. Vol. 63. No. 3. pp. 397–409. DOI: 10.31857/S2076673423030146.

4. Vijayan A., Österlund H., Marsalek J., Viklander M. Traffic-Related Metals in Urban Snow Cover: A Review of the Literature Data and the Feasibility of Filling Gaps by Field Data Collection // Science of the Total Environment. 2024. Vol. 920. Art. 170640. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.170640.

5. Goncharov G., Soktoev B., Farkhutdinov I., Matveenko I. Heavy Metals in Urban Soil: Contamination Levels, Spatial Distribution and Human Health Risk Assessment (the Case of Ufa City, Russia) // Environmental Research. 2024. Vol. 257. Art. 119216. DOI: 10.1016/j.envres.2024.119216.

6. Vijayan A., Österlund H., Marsalek J., Viklander M. Variation in Urban Snow Quality Indicated by Three Seasonal Sampling Surveys Conducted in Luleå (Sweden)

within a Span of 27 Years // Journal of Contaminant Hydrology. 2024. Vol. 260. Art. 104286. DOI: 10.1016/j.jconhyd.2023.104286.

7. Bondarevich E. A. Microelement Composition of Snow Cover Components in Chita and Its Environs // RUDN Bulletin. Series: Ecology and Life Safety. 2024. Vol. 32. No. 4. Pp. 445–453. DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-4-445-453.

8. Chand R., Putna-Nīmane I., Vecmane E., Lykkemark J., Dencker J., Nielsen A. H., Vollertsen J., Liu F. Snow Dumping Station – A Considerable Source of Tire Wear, Microplastics, and Heavy Metal Pollution // Environment International. 2024. Vol. 188. Art. 108782. DOI: 10.1016/j.envint.2024.108782.

9. Zhurba O. M., Merinov A. V., Shayakhmetov S. F., Alekseenko A. N. Hygienic assessment of pollution by heavy metals and organic compounds of the snow cover of a multi-industry industrial city // Hygiene and Sanitation. 2024. Vol. 103. No. 9. pp. 940–946. DOI: 10.47470/0016-9900-2024-103-9-940-946.

10. Kozhevnikov A. Yu., Shutskiy N. A., Shestakov S. L., Malkov A. V., Lahmanov D. E. Dynamics of Pollutants Accumulation in the Snow of an Urban Agglomeration // Polar Science. 2024. Vol. 42. Art. 101072. DOI: 10.1016/j.polar.2024.101072.

11. Shen C., Huang S., Wang M., Wu J., Su J., Lin K., Chen X., He T., Li Y., Sha C., Liu M. Source-Oriented Health Risk Assessment and Priority Control Factor Analysis of Heavy Metals in Urban Soil of Shanghai // Journal of Hazardous Materials. 2024. Vol. 480. Art. 135859. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2024.135859.

12. Cheredova T.V., Chudinova O.N. Chemical and mineral composition of snow cover at snow waste storage sites in Ulan-Ude // Bulletin of RUDN University. Series: Ecology and Life Safety. 2025. Vol. 33. No. 2. pp. 189–203. DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-2-189-203.

13. Kasimov N. S., Vasil’chuk J. Yu., Tereshina M. A., Chalov S. R., Erina O. N., Kosheleva N. E., Shinkareva G., Sokolov D. I., Vlasov D., Konoplev A. V. Metals and Metalloids Pollution Levels, Partitioning, and Sources in the Environmental Compartments of a Small Urban Catchment in Moscow Megacity // Environmental Pollution. 2025. Vol. 367. Art. 125552. DOI: 10.1016/j.envpol.2024.125552.

14. Zgłobicki W., Telecka M., Hałas P., Bis M. Impact of Traffic and Other Sources on Heavy Metal Pollution of Urban Soils (Lublin, Poland) // Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. 2025. Vol. 23. Art. 101058. DOI: 10.1016/j.enmm.2025.101058.
15. Cui J., Lu J., Lai Y., Wei Q., Zhao X. Spatiotemporal Dynamics and Human Health Risk Assessment of Potentially Toxic Elements in Global Urban Soils: A Systematic Meta-Analysis // Toxics. 2026. Vol. 14.No. 6. Art. 496. DOI: 10.3390/toxics14060496.
16. Donoghue S. L., Graham M. C., Stuart N., Marchant B. P., Fordyce F. M., Lark R. M. Urban Soil Lead Variability at the City and Neighborhood Scale: Evidence From Glasgow to Guide Contaminant Mapping // European Journal of Soil Science. 2026. Vol. 77.No. 4. Art. e70374. DOI: 10.1111/ejss.70374.

Статья поступила в редакцию 29.01.2026; одобрена после рецензирования 12.03.2026; принята к публикации 30.08.2026.

The article was submitted 29.01.2026; approved after peer review 12.03.2026; accepted for publication 30.08.2026.

CONTENTS

1.6.13. Economic, social, Political and recreational geography 9

Koshelkov A.M., Nadtochiy V. S. INNOVATIVE FLOWS IN URBAN AGGLOMERATIONS: A STUDY USING SPATIAL ECONOMETRICS..... 9

Boeva A. S. TERRITORIAL HETEROGENEITY OF ELECTORAL BEHAVIOR AND NEIGHBORHOOD EFFECTS IN REGIONAL ELECTION CAMPAIGNS..... 28

Ushnitskaya L. A. MOBILE POSITIONING AND GIS ANALYSIS IN ASSESSING THE TERRITORIAL DISTRIBUTION AND DYNAMICS OF RECREATIONAL LOAD ON A SPECIALLY PROTECTED NATURAL AREA 51

Biksaleev A. A. PERESTROIKA GRUZOVYKH POTOKOV I TRANSPORTNYKH UZLOV V USLOVIYAKH IZMENENII VNESHNOTORGOVOY GEOGRAFII PERESTROIKA CARGO FLOWS AND TRANSPORT HUBS IN THE CONTEXT OF CHANGING FOREIGN TRADE GEOGRAPHY 72

Chernykh V. N. COMPRESSION TYPES OF RUSSIAN SINGLE-INDUSTRY TOWNS: DEMOGRAPHIC DYNAMICS, NIGHT ILLUMINATION, AND URBAN DEGRADATION 90

Khomidov A. S. AGROCLIMATIC AND MARKET FACTORS OF CHANGES IN THE PLACEMENT OF COMMERCIAL CROP PRODUCTION IN THE SOUTH OF EUROPEAN RUSSIA AND IN THE BLACK EARTH 108

1.6.21. Geoecology 140

Makakhanyuk Zh. S. PERMAFROST DEGRADATION AND RISKS FOR THE INFRASTRUCTURE OF THE ARCTIC ZONE 140

Postevaya M. A. HEAVY METALS AND METALLOIDS IN URBAN SOILS AND SNOW COVER..... 160