

DOI: 10.52897/TMS-2026-30-03



ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК

Теоретико-методологический семинар ИПРЕ РАН

30 марта 2026 года

ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ НА БАЗЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Тема НИР: *Разработка механизмов обеспечения устойчивого развития городов, городских агломераций и природной среды с использованием методов математического моделирования*

*к.т.н., зав. лабораторией
математического моделирования
функционально-пространственного развития городов*

Лосин Леонид Андреевич

Рецензент: д.э.н., проф. Кузнецов Сергей Валентинович

Тема НИР (2025–2027 гг.): Разработка механизмов обеспечения устойчивого развития городов, городских агломераций и природной среды с использованием методов математического моделирования.

Раздел темы НИР: Разработка методов обоснования и прогнозирования развития городов и агломераций на основе математического моделирования.

Научное направление ИПРЭ РАН: Математическое моделирование в задачах городской и региональной экономики.

Соответствие темы НИР Программе фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 годы): пункт 5.6.3.1. Разработка теории и инструментальной базы анализа пространственной экономики, исследование закономерностей трансформации социально-экономического пространства РФ; системный анализ развития российских регионов и их взаимодействий



ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
РЕГИОНАЛЬНОЙ
ЭКОНОМИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК

Уровни транспортного планирования



ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
РЕГИОНАЛЬНОЙ
ЭКОНОМИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК

1-й уровень - взаимосвязи города и транспортной системы

2-й уровень - интермодальная координация

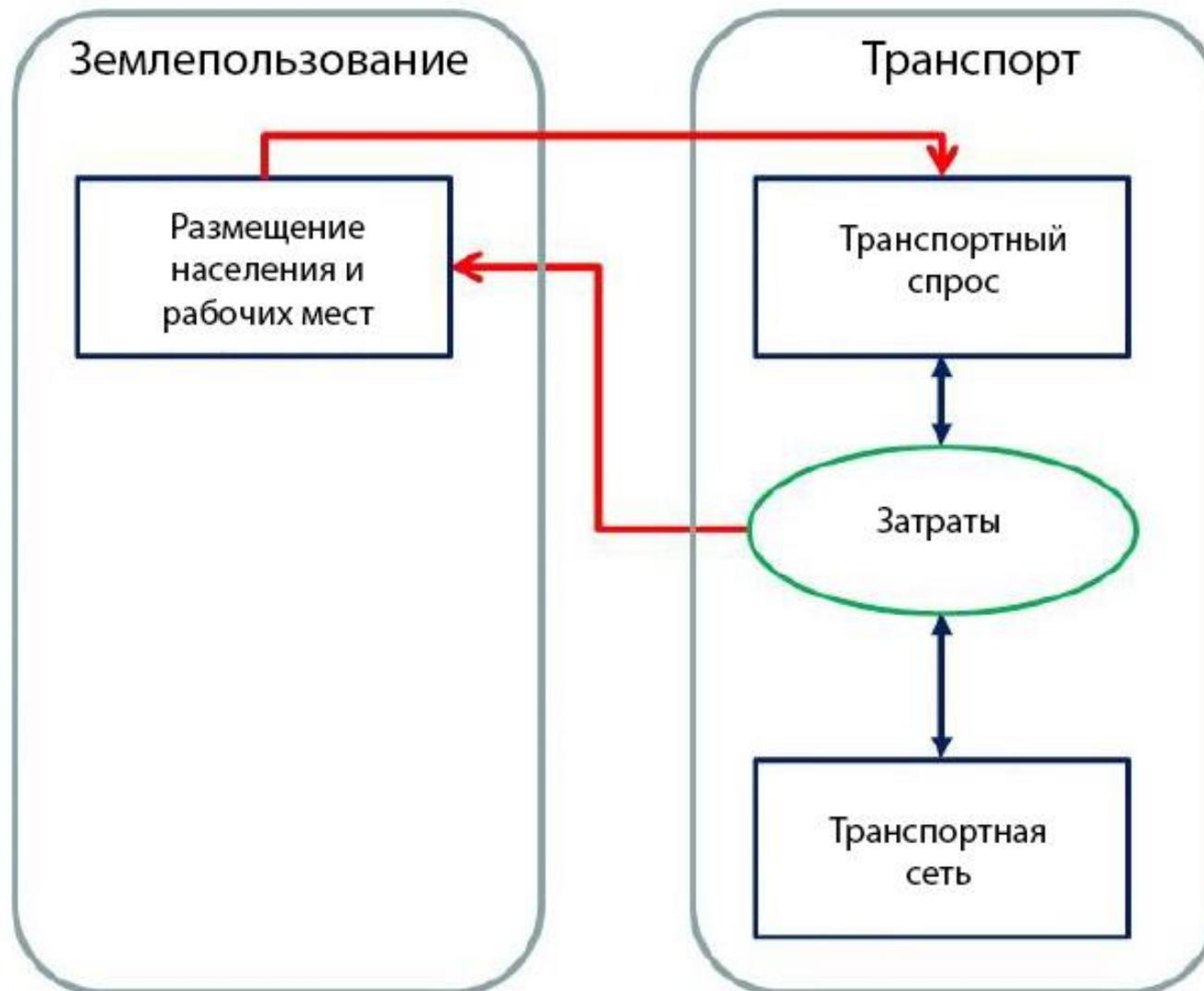
3-й уровень - вид транспорта или маршрутная сеть

4-й уровень - отдельные объекты инфраструктуры

Взаимосвязь территориальных и транспортных аспектов при построении моделей



ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
РЕГИОНАЛЬНОЙ
ЭКОНОМИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК



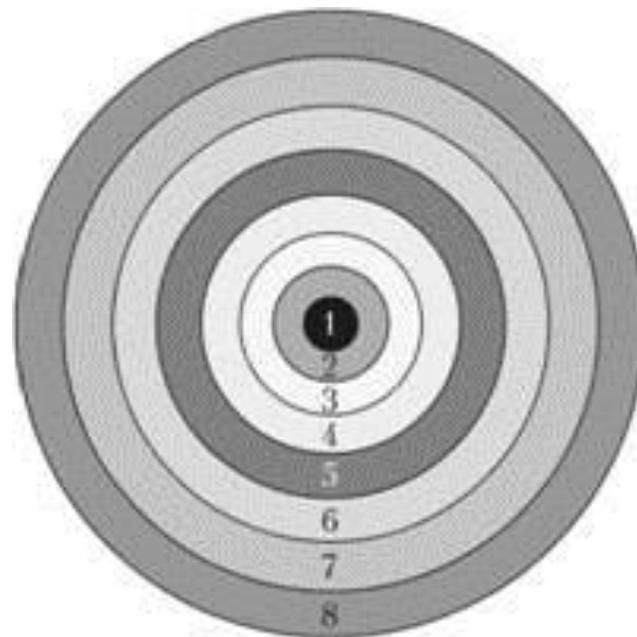
Модели территориальной организации



ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
РЕГИОНАЛЬНОЙ
ЭКОНОМИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК

Иоганн Генрих фон Тюнен (1783-1850)

В модели город выступает как «фокус» экономического влияния и определяет хозяйственную структуру окружающего пространства при минимизации транспортных расходов и максимизации прибыли.



Кольцевая структура по Тюнену:

1. центральный город;
2. вольное хозяйство (овощи, фрукты, молоко, солома);
3. производство дров и древесины;
4. шестипольные плодосменные хозяйства (рожь, картофель, ячмень);
5. семиполье (рожь, ячмень, овес);
6. трехполье (рожь, ячмень);
7. торговые растения (рапс, табак, лен);
8. пастбища (масло, сыр, скот, шерсть); далее – дикие леса, охотники

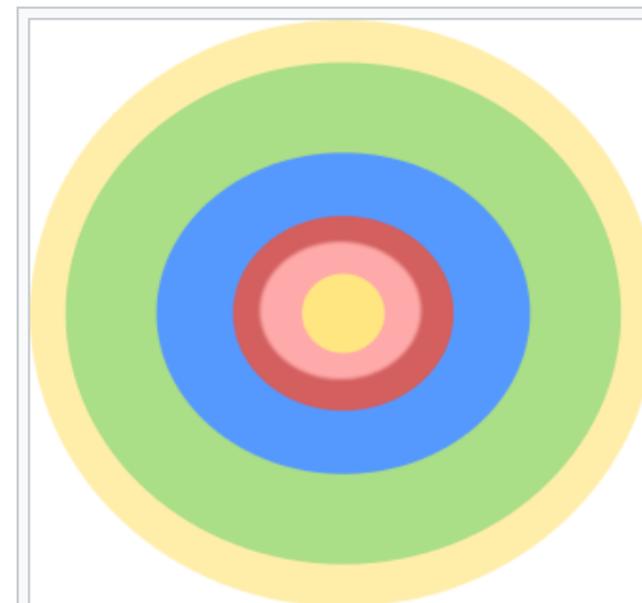
Модели территориальной организации



ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
РЕГИОНАЛЬНОЙ
ЭКОНОМИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК

Эрнест Берджесс (1886-1966)

Сформулировал гипотезу концентрических зон, согласно которой развитие города сопровождается формированием концентрических колец или зон, в каждом из которых сосредоточены определенные экономические и жилые структуры



Concentric zone model

- Commuter zone
- Residential zone
- Working class zone
- Zone of transition
- Factory zone
- CBD

Модели территориальной организации

Вальтер Кристаллер (1893-1969). Теория центральных мест

Теорию центральных мест Кристаллера можно считать первой явной попыткой сформулировать гипотезу о регулярности расположения городов друг относительно друга и связи их размеров с расположением

Август Леш (1906-1945). Теория организации экономического пространства

Леш показал, что, даже если первоначальное расселение прерывно, но равномерно, то производство товаров будет распределяться неравномерно, а, значит, и население тоже начнет концентрироваться в определенных центрах, еще более усиливая неравномерность производства



Основные модели и их соответствие уровням планирования

Стратегическое транспортное планирование

- Модель влияния соотношения между индивидуальным и общественным транспортом на параметры транспортной системы
- Модель оптимизации распределения пассажирских корреспонденций по видам транспорта

Территориальное планирование

- Модель ранжирования городских территорий по уровню транспортного обслуживания
- Модель ранжирования территории города по относительному уровню транспортного обслуживания
- Модель оценки потенциала полицентричности урбанизированных территорий

Транспортное планирование

- Модель синтеза сети общественного транспорта (формирования каркаса сети ГПТ)
- Модель транспортного спроса и потокораспределения на условной сети
- Модель формирования потокораспределения на условной сетке для построения сети скоростного транспорта
- Модель определения приоритетных локаций для размещения системы ТПУ
- Модель распределения корреспонденций по уровню транспортного обслуживания с учетом их классификации по топологическим признакам

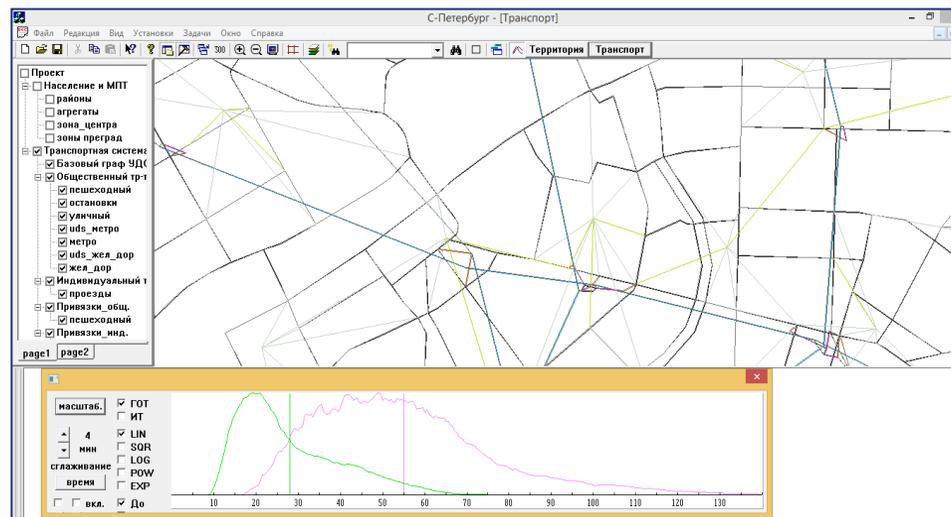


Информационно-программный комплекс для решения транспортно-градостроительных задач Citraf



ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
РЕГИОНАЛЬНОЙ
ЭКОНОМИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК

1. Модули, реализующие сетевой расчет матрицы межрайонных корреспонденций и потокораспределения на улично-дорожной сети и на сети общественного транспорта
2. Модуль, реализующий досетевой расчет матрицы межрайонных корреспонденций
3. Модуль, реализующий решение задачи синтеза сети



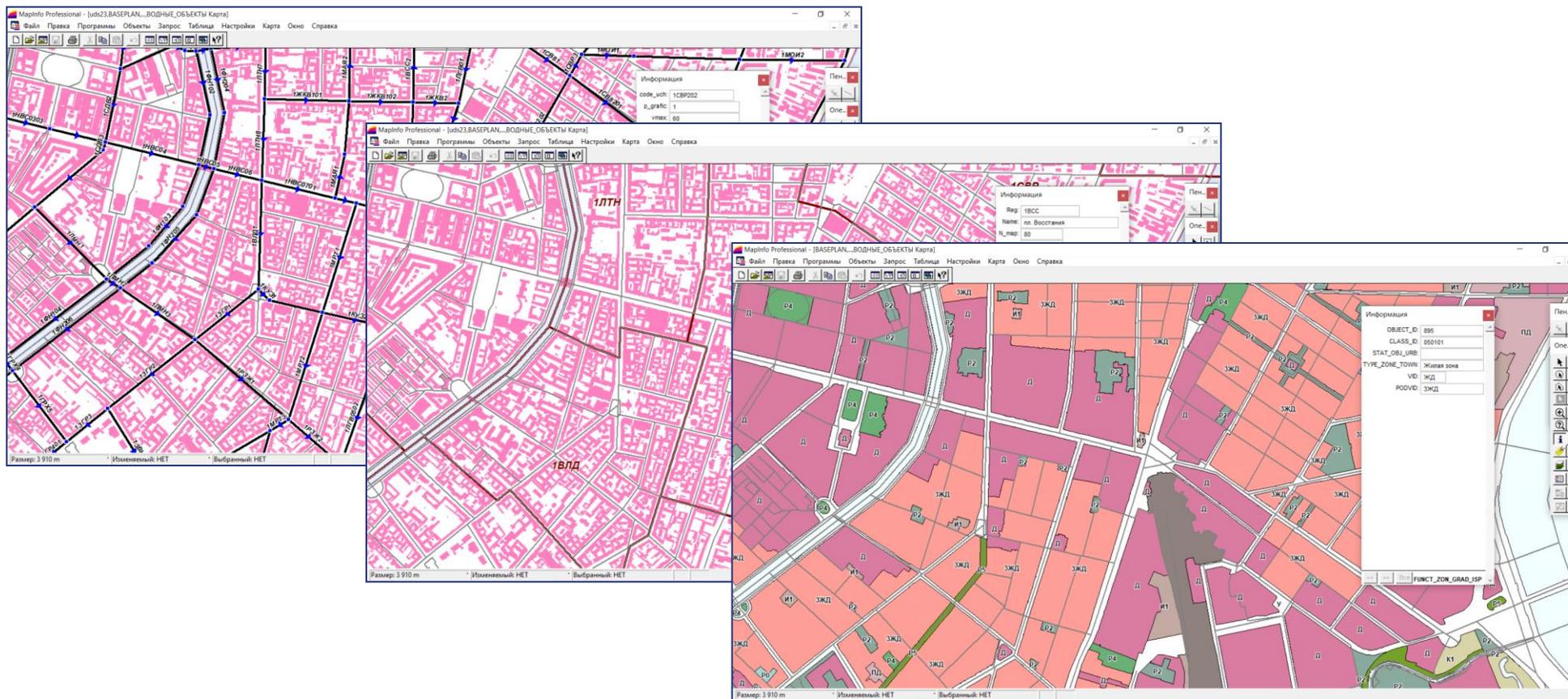
Сфера применения

- Разработка и обоснование решений документов стратегического и территориального планирования (генеральные планы и т.д.)
- Обоснование решений по развитию транспортной инфраструктуры (комплексные транспортные схемы, программы комплексного развития транспортной инфраструктуры)
- Решение задач массовой оценки территории

Информационная база моделирования



ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
РЕГИОНАЛЬНОЙ
ЭКОНОМИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК



Исходная информация для моделирования

- Транспортный граф
- Система транспортного районирования
- Описание будущего состояния функционального зонирования
- Численные параметры, характеризующие транспортное поведение населения

Сравнение подходов к расчету спроса на межрайонные передвижения



ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
РЕГИОНАЛЬНОЙ
ЭКОНОМИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК

Метод расчета матриц межрайонных передвижений	Сетевой метод (модель сетевого уровня)	Досетевой метод (модель досетевого уровня)
Подход к определению затрат времени между пунктами отправления и прибытия	С учетом скоростных параметров элементов транспортной сети	На основе среднего уровня транспортного обслуживания
Факторы, влияющие на распределение корреспонденций	<ul style="list-style-type: none">❖ Взаиморасположение потокообразующих и потокопоглощающих центров❖ Конфигурация и параметры транспортной сети❖ Поведенческие факторы (функция тяготения)	<ul style="list-style-type: none">❖ Взаиморасположение потокообразующих и потокопоглощающих центров❖ Поведенческие факторы (функция тяготения))

Модель ранжирования городских территорий по уровню транспортного обслуживания

Последовательность действий:

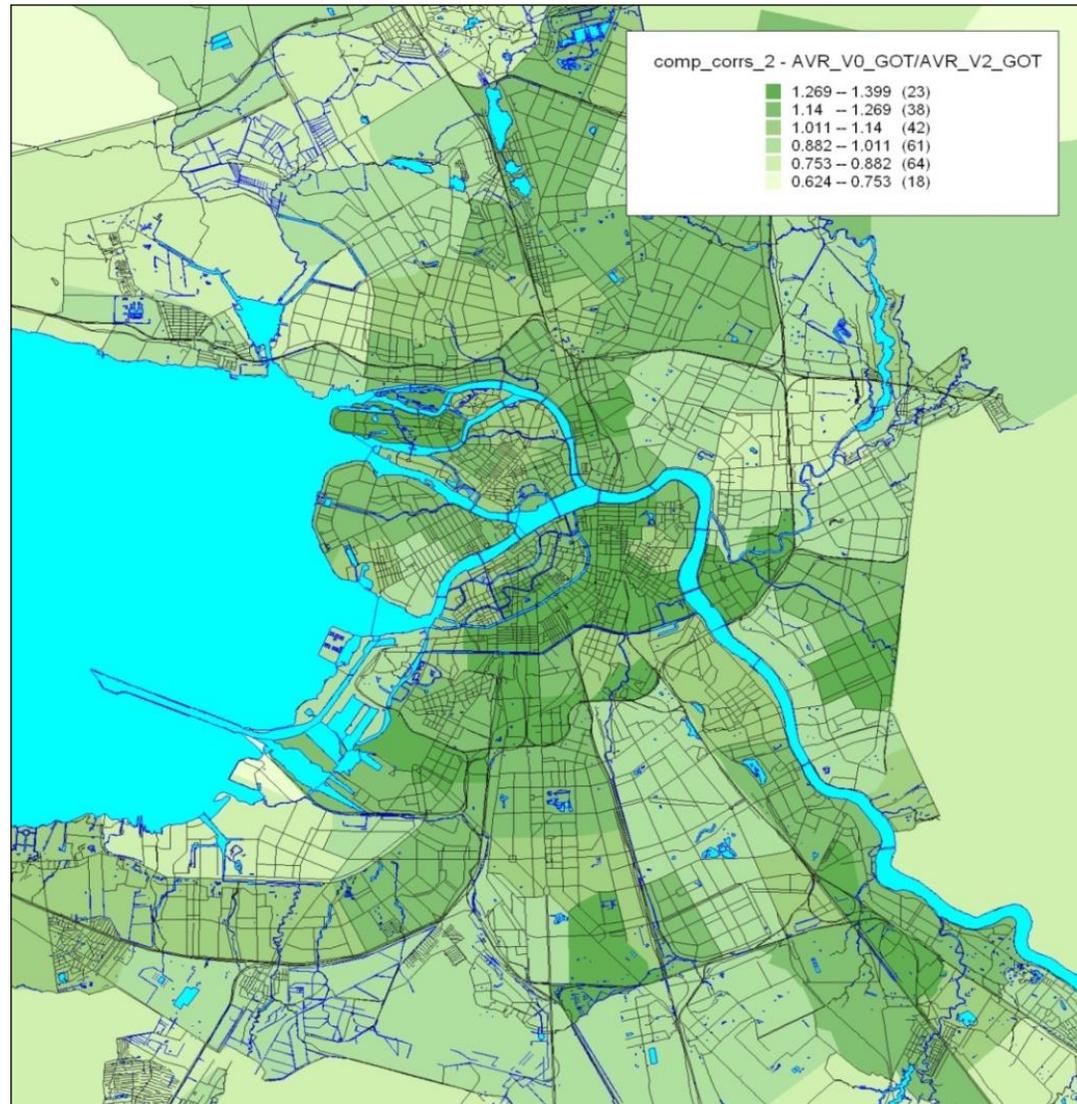
- формирование матрицы межрайонных расстояний $\{L_{ij}\}$ «по воздуху» с учетом коэффициента непрямолинейности;
- формирование матрицы затрат времени на межрайонные передвижения $\{T_{ij}\}$ с учетом аппроксимационной функции зависимости $T = f(L)$;
- расчет матрицы объемов пассажирских межрайонных корреспонденций $\{F_{ij}\}$.

Схема расчета:

$$V_{\text{досет } i} = \sum_{j \neq i} (L_{ij} * F_{ij} + L_{ji} * F_{ji}) / \sum_{j \neq i} (T_{ij} * F_{ij} + T_{ji} * F_{ji}).$$

$$S_i = V_{\text{сет } i} / V_{\text{досет } i}$$

где $V_{\text{сет } i}$, $V_{\text{досет } i}$ – «сетевая» и «досетевая» средневзвешенные скорости сообщения между транспортным районом i и остальными районами города, км/ч.



Картограмма распределения значений критерия S_i по транспортным районам Санкт-Петербурга



Развитие методов моделирования для обоснования полицентрической структуры городских территорий



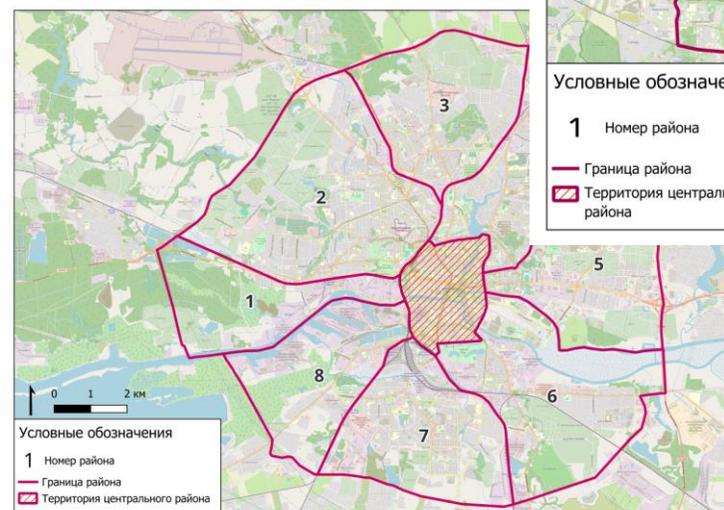
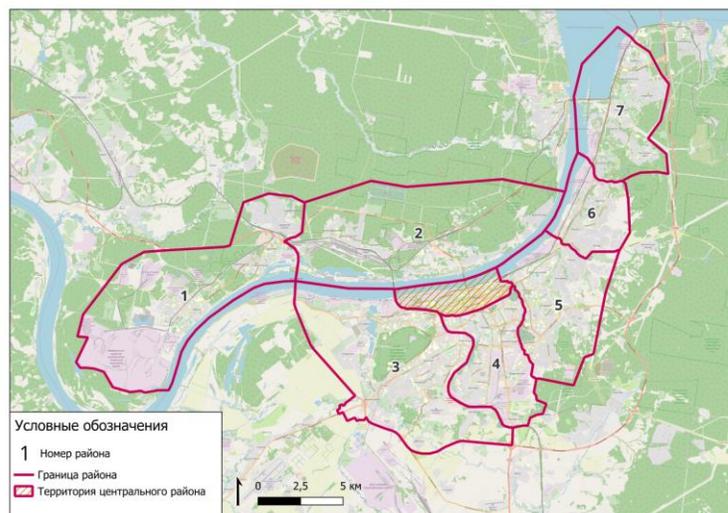
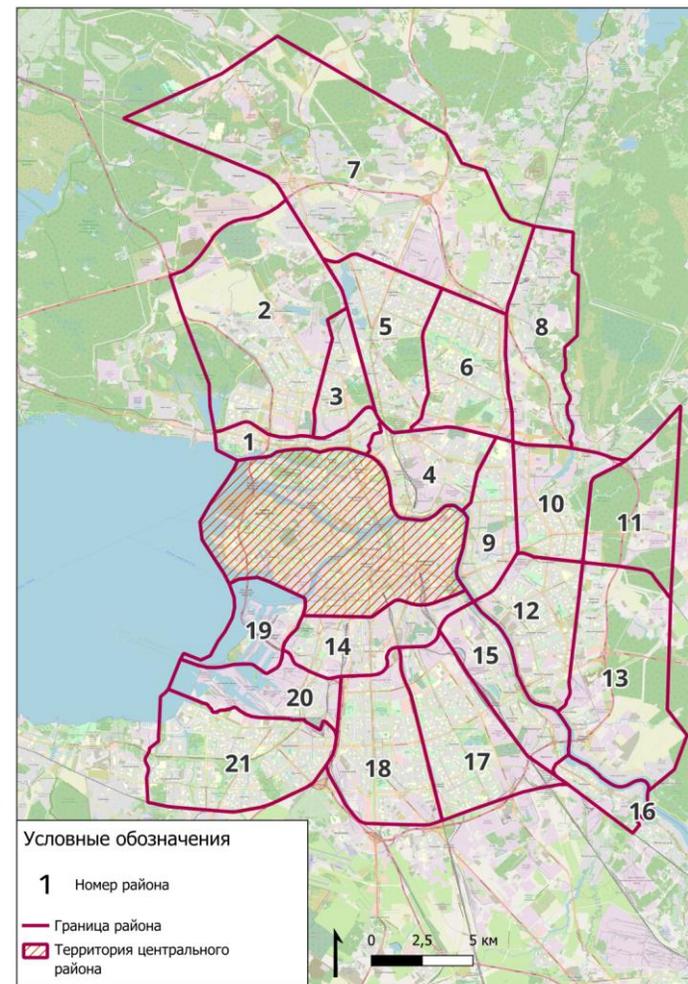
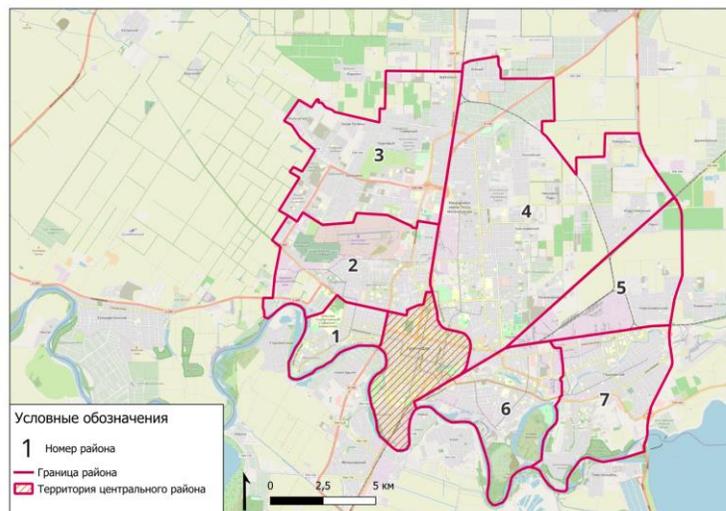
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
РЕГИОНАЛЬНОЙ
ЭКОНОМИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК

- Под **полицентрической системой расселения** понимается система расселения, имеющая два и более сопоставимых многофункциональных центра.
- Эффективность полицентрической модели организации городской территории определяется, в частности, тем, что таким образом обеспечивается минимизация городских передвижений за счет формирования относительно «самодостаточных» районов, внутри которых обеспечивается замкнутый цикл ежедневных передвижений населения.

Модель пространственного развития	Содержание модели	Преимущества	Недостатки
Моноцентрическая	Развитие системы направлено на центр (ядро) системы	Концентрация ресурсов на приоритетных направлениях развития территории	«Вымывание» ресурсов периферийных территорий
Полицентрическая	Развитие самодостаточных районов и горизонтальных связей	<ul style="list-style-type: none">➤ Гармонизация территориального распределения городских функций➤ Снижение избыточной концентрации функций в определенных локациях➤ Сокращение затрат времени перемещений людей, грузов, транспортных средств	<ul style="list-style-type: none">➤ Риск распада единой городской структуры на ряд относительно изолированных территорий («поселковость»)➤ Необходимость финансового обеспечения развития периферийных территории

В исследовании
использованы
модели городов
(агломераций):

- ✓ Санкт-Петербург
- ✓ Калининград
- ✓ Краснодар
- ✓ Пермь



ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
РЕГИОНАЛЬНОЙ
ЭКОНОМИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК

Последовательность действий

- В основе исследования лежит следующее предположение: чем больше наблюдается увеличение объема внутрирайонных корреспонденций при снижении среднего времени передвижения по городу, тем более самодостаточным является район исследования.
- Высокий прирост внутрирайонных корреспонденций при снижении среднего времени может свидетельствовать о том, что значительный процент проживающих в районе имеют возможность оставаться в нем при осуществлении трудовых функций.
- Потенциал полицентричности района связан с уровнем взаимной сбалансированности мест проживания населения и мест приложения труда при обеспечении приемлемых затрат времени на трудовые корреспонденции, осуществляемые внутри районов проживания.



Ранжирование городских территорий по потенциалу полицентричности



ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
РЕГИОНАЛЬНОЙ
ЭКОНОМИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК

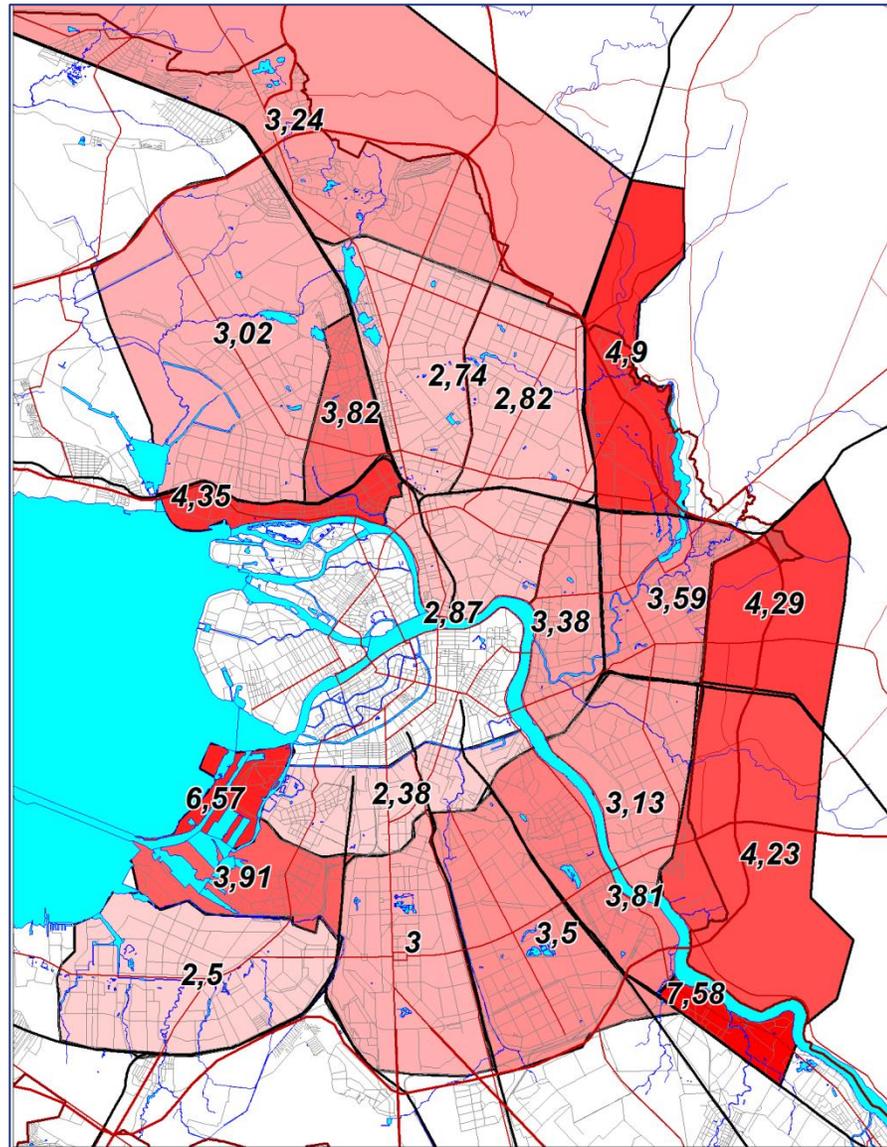
- Показатель прироста населения, остающегося в своих районах исследования при изменении средних затрат времени можно интерпретировать как коэффициент полицентричности.
- Данный коэффициент показывает, насколько район исследования нуждается в улучшении транспортной обеспеченности и связности, а также насколько целесообразно дальнейшее развитие района на основе организации внутри него субцентров, в том числе транспортно-пересадочных узлов.
- Чем выше коэффициент полицентричности, тем более «самодостаточным» является район исследования.
- Для систематизации полученных результатов предложена градация районов исследования по уровням:
 - ❖ *Уровень А: коэффициент полицентричности свыше 4.*
 - ❖ *Уровень Б: коэффициент полицентричности от 3 до 4.*
 - ❖ *Уровень В: коэффициент полицентричности менее 3.*

Район исследования	Коэффициент полицентричности	Уровень полицентричности
1	4,35	А
2	3,02	Б
3	3,82	Б
4	2,87	В
5	2,74	В
6	2,82	В
7	3,24	Б
8	4,90	А
9	3,38	Б
10	3,59	Б
11	4,29	А
12	3,13	Б
13	4,23	А
14	2,38	В
15	3,81	Б
16	7,58	А
17	3,50	Б
18	3,00	В
19	6,57	А
20	3,91	Б
21	2,50	В

Результаты моделирования

- Расчет матриц межрайонных корреспонденций выполнялся для каждого расчетного шага с определением объема внутрирайонных передвижений.
- Картограмма распределения параметров изменения объемов внутрирайонных корреспонденций позволяет отранжировать все районы по потенциалу полицентричности

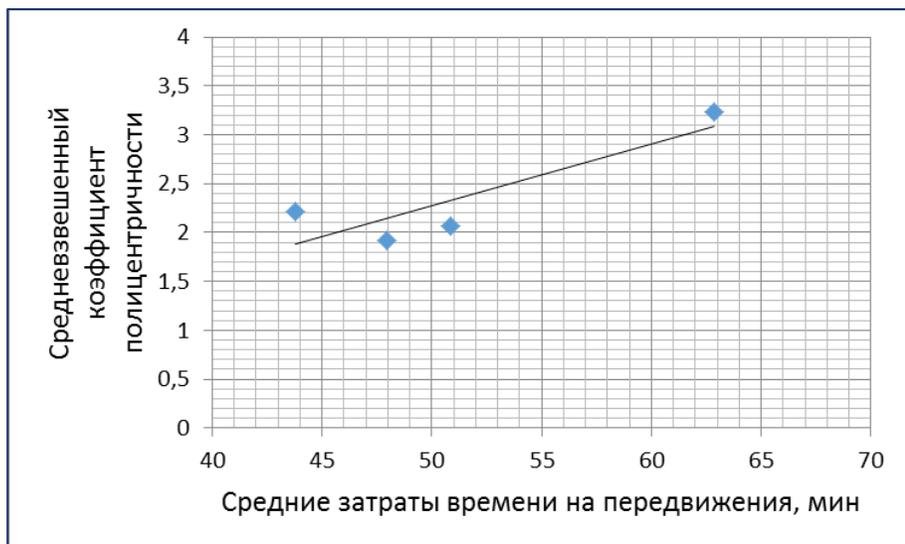
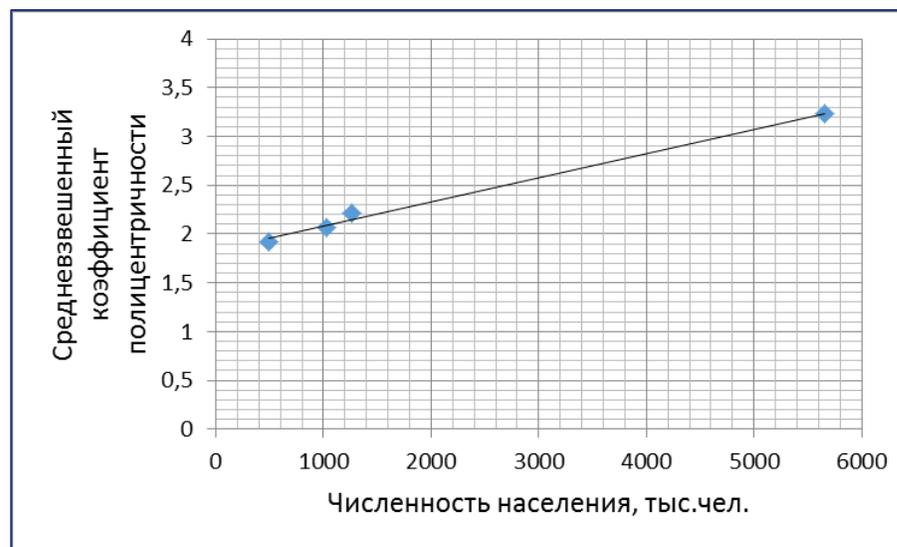
Район исследования	Внутрирайонные корреспонденции, тыс.пасс.в час (шаг 1)	Внутрирайонные корреспонденции, тыс.пасс.в час (шаг 7)	Прирост остающихся в своих районах исследования
1	0,72	3,13	4,35
2	4,27	12,88	3,02
3	0,33	1,26	3,82
4	2,91	8,35	2,87
5	3,45	9,46	2,74
6	4,25	11,98	2,82
7	2,80	9,08	3,24
8	0,68	3,33	4,90
9	1,01	3,41	3,38
10	2,05	7,35	3,59
11	0,07	0,30	4,29
12	4,91	15,35	3,13
13	1,80	7,61	4,23
14	3,95	9,40	2,38
15	1,97	7,50	3,81
16	0,26	1,97	7,58
17	3,41	11,93	3,50
18	4,80	14,41	3,00
19	0,07	0,46	6,57
20	0,65	2,54	3,91
21	6,00	15,00	2,50



ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
РЕГИОНАЛЬНОЙ
ЭКОНОМИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК

Выводы по результатам исследования

Зависимость средневзвешенного коэффициента полицентричности от численности населения исследуемых городов



Зависимость средневзвешенного коэффициента полицентричности от средних затрат времени на передвижения в исследуемых городах



ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
РЕГИОНАЛЬНОЙ
ЭКОНОМИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК

Выводы по результатам исследования

- Проведенное исследование подтверждает выдвинутую ранее гипотезу о наличии в структуре городов территорий, обладающих признаками субцентров, на основе которых может быть наиболее эффективно реализована концепция полицентрического развития.
- Исследуемые города характеризуются различными диапазонами коэффициентов полицентричности районов исследования. Прослеживается зависимость увеличения средневзвешенных коэффициентов полицентричности с ростом численности населения города и средних затрат времени на передвижения – показателя, характеризующего степень соответствия уровня развития транспортной системы города (агломерации) размерам его территории.
- Анализ распределения территорий городов по значениям коэффициентов полицентричности показывает, что наибольшие их значения характерны как для территорий, примыкающих к центральным частям городов, так и для периферийных районов ядра агломерации.
- Наиболее устойчивым признаком, соответствующим высоким значениям коэффициентов полицентричности, является наличие значительных преград, отделяющих район исследования от соседних территорий.
- Значительный разброс значений коэффициентов полицентричности по исследуемым районам диктует необходимость проведения уточняющих исследований для поиска признаков эффективности организации субцентров в рамках полицентрической модели.





ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
РЕГИОНАЛЬНОЙ
ЭКОНОМИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК

**При использовании материалов ссылка
на настоящий источник обязательна**

 (812) 3164865  190013, г. Санкт-Петербург, ул. Серпуховская, 38

 www.iresras.ru  <https://vk.com/iresrasru>  info@iresras.ru