

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ (МИИГАиК)

На правах рукописи

КУШНЫРЬ ОКСАНА ВАЛЕРЬЕВНА

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ АРЕАЛОВ
КОНЦЕНТРАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ

25.00.33 – Картография

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
к.т.н., проф. Макаренко А.А.

МОСКВА – 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ НАСЕЛЕНИЯ КАК ОБЪЕКТ ИЗУЧЕНИЯ И КАРТОГРАФИРОВАНИЯ	10
1.1. Пространственная концентрация населения в условиях процессов урбанизации.....	10
1.2. Развитие городов России.....	13
1.3. Отображение пространственной концентрации населения на картах	19
2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ.....	27
2.1. Начальный этап моделирования.....	27
2.2. Анализ расселения населения (на примере Московской области)	29
2.2.1. Структура системы расселения	29
2.2.2. Рост городов	32
2.2.3. Выбор статистического показателя пространственной концентрации населения	36
2.2.4. Статистический анализ людности городов и плотности населения	38
2.2.5. Изменение плотности населения в границах городов и на прилегающих территориях.....	40
2.3. Завершающий этап моделирования	45
3. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ АРЕАЛОВ КОНЦЕНТРАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ.....	48

3.1. Разработка методики картографирования ареалов концентрации населения с использованием данных со структурой в виде регулярной сетки	50
3.1.1. Описание используемых данных	50
3.1.2. Использование данных ночной космической съемки для характеристики систем расселения населения	59
3.1.3. Определение границ ареалов концентрации населения на основе данных со структурой в виде регулярной сетки	72
3.2. Методы, традиционно используемые в картографии	82
3.2.1. Дазиметрический метод	82
3.2.2. Метод потенциалов поля расселения	84
3.3. Сравнение положения полученных ареалов концентрации населения.....	87
3.4. Обобщенная методика картографирования ареалов концентрации населения	92
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	95
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	99
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	100
ПРИЛОЖЕНИЕ А.1	111
ПРИЛОЖЕНИЕ А.2	112
ПРИЛОЖЕНИЕ А.3	113
ПРИЛОЖЕНИЕ А.4	114
ПРИЛОЖЕНИЕ А.5	115
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	116
ПРИЛОЖЕНИЕ В	117

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования.

Наилучшим образом на мелкомасштабных картах расселение населения отображается ареалами концентрации населения. Под ареалами понимается место, к которому могут быть отнесены урбанизированные территории. Разрастание площади городов, увеличение численности населения в них и смыкание муниципальных границ городов с окружающей зоной плотной застройки является внешними проявлениями процесса урбанизации. Наряду с ростом городского населения и расширением площади городских территорий под влиянием процессов урбанизации городской образ жизни охватывает новые территории за пределами границ города, создавая урбанизированные территории, концентрация населения в которых иногда выше, чем в «городе-центре».

В этих условиях концентрация населения становится компонентом процесса урбанизации и одновременно изменяет свою пространственную сущность. Ареалы концентрации населения становятся «внешним» признаком процесса урбанизации, в пределах которых создается рынок сбыта, а также возможность использования квалифицированной рабочей силы.

Современные процессы урбанизации и концентрации населения достигли такого уровня, когда процессы роста населения города еще слабо влияют на его экономическое развитие, но при этом возрастает полезность связей между городами [43]. Закономерности расположения городов по отношению к другим городам и расстояния между ними является важной информацией при разработке региональной политики.

Вследствие этого, определение границ ареалов концентрации населения является необходимым условием для решения задач территориального планирования регионов. В частности, указанные в «Схеме территориального планирования Московской области – основные положения градостроительного развития» (Утв. Пост. Правительства Московской области от 11.07.2007 №517/23)

задачи по формированию «точек роста» как «опорных территорий роста экономики и качества жизни населения», а также по «реорганизации сложившихся поселений и агломераций в устойчивые системы расселения ...» невозможно решить без установления пространственных границ ареалов концентрации населения [58].

Роль ключевых точек роста выполняют городские агломерации и ареалы с высокой концентрацией населения, на основе которых должны формироваться «полицентрические системы расселения» [53].

Наряду с практической задачей территориального планирования перед региональной политикой стоит проблема «организации широкого мониторинга социально-экономического развития России в территориальном аспекте» [20, с. 36]. Первостепенной проблемой мониторинга является «подбор индикаторов, характеризующих то или иное явление» [20, с. 37]. В связи с этим, выбор количественного критерия, характеризующего пространственную концентрацию населения и позволяющего картографировать границы ареалов концентрации населения, является необходимым условием мониторинга.

Степень разработанности темы исследования. В настоящее время пока отсутствует методика картографирования ареалов концентрации населения. На тематических картах концентрация населения передается только косвенно: скоплением знаков в отдельных районах или интенсивностью окраски. На общегеографических картах визуализация концентрации населения передается увеличением графической нагрузки, отображающей населенные пункты. В то же время, отображение на картах пространственной концентрации населения приобретает важное значение, так как ареалы концентрации населения становятся основой и «носителем» свойств процесса урбанизации.

Объектом исследования является территориальная концентрация населения.

Предметом исследования — методика картографирования ареалов концентрации населения.

Целью диссертационной работы является разработка методики отображения на картах ареалов концентрации населения.

Для достижения цели необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Провести анализ новых видоизменений, привнесенных в расселение населения процессом урбанизации;
2. Разработать модель, которая позволила бы при минимальном наборе данных обеспечить полное описание пространственной концентрации населения для целей картографирования;
3. Выбрать количественный показатель, позволяющий определять положение ареалов концентрации населения;
4. Выбрать источники данных, характеризующих расселение населения;
5. Установить зависимость между количественным показателем концентрации населения и показателями, полученными из выбранных источников.

Информационной базой исследования служили:

- публикуемые в сети Интернет пространственные данные: глобальная база данных населения LandScan Окриджской национальной лаборатории по атомной энергетике Министерства энергетики США, глобальная карта транспортной доступности «A global map of Accessibility» Объединенного исследовательского центра Европейской комиссии, материалы ночной космической съемки аппаратурой DMSP OLS Американского космического агентства NASA;
- данные, предоставленные Федеральной службой государственной статистики Российской Федерации;
- современные картографические материалы;
- монографии и научные статьи, связанные с темой диссертационной работы, авторов: Н.Н. Баранского, О.А. Евтеева, С.А. Ковалева, Г.М. Лаппо, Ю.Г. Липец, А.Г. Махровой, Т.Г. Нефедовой, Ю.Л. Пивоварова, П.М. Поляна, В.С. Тикунова, А.И. Трейвиша, Б.С. Хорева, А. Ягельского,

C. Clark, J. Dobson, C. Doll, C. Elvidge, C. Jurgens, S. Nordbeck, T. Rashed, H. Simon, J. Stewart, P. Sutton, W. Tobler, H. Uchida.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

1. Впервые разработана методика картографирования ареалов концентрации населения, основанная на математическом согласовании основных параметров расселения;
2. Впервые выведены формулы, отражающие связи плотности населения, яркости территории на ночном космическом изображении, времени транспортной доступности до центра ближайшего крупного города;
3. Установлена зависимость степени освещенности, зафиксированной ночной космической съемкой, и людности поселений.

Практическая и теоретическая значимость.

Полученные ареалы концентрации населения, являясь признаком процесса урбанизации, могут стать основой («контуром») для отображения социально-экономических характеристик территории, например, половозрастного состава населения или специализации хозяйственной деятельности. Карты, отображающие пространственную локализацию ареалов концентрации населения, позволяют проследить территориальную структуру системы расселения населения и визуализировать информацию о концентрации населения при принятии решений по реорганизации сложившейся системы расселения с целью территориального управления и планирования.

Распространенность и доступность выбранного количественного показателя пространственной концентрации населения – плотности населения – позволяет совместно использовать при картографировании данные, полученные из разных источников. Плотность населения, как показатель расселения населения, может служить критерием социально-экономической оценки территории.

Доступность предложенной методики позволяет любому пользователю определять уровень пространственной концентрации населения (например, на основе свободного доступа к данным ночной космической съемки).

В процессе написания работы применены следующие **методы исследования**: картографический, статистический, математического моделирования и метод дистанционного (аэрокосмического) зондирования.

На защиту выносятся:

1. Разработана методика картографирования ареалов концентрации населения, основанная на единой шкале основных параметров расселения, связанных предложенными автором математическими зависимостями;
2. Предложены новые параметры: степень освещенности территорий для оценки людности населенного пункта и площадь освещенных территорий как альтернатива индекса агломеративности территории;
3. Определен и обоснован количественный показатель, определяющий положение границ ареалов концентрации населения;
4. Составлены авторские оригиналы карт «Ареалы концентрации населения Московской области» с использованием разработанной методики (3 карты) и методами традиционной картографии (2 карты), подтверждающие достоверность разработанной методики.

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается обоснованным выбором и глубоким статистическим анализом исходных данных, использованием математического моделирования изучаемых параметров, корректным применением традиционных методов картографирования, сравнением полученных ареалов концентрации населения с результатами применения методов традиционного картографирования.

Апробация результатов диссертационного исследования.

Основные выводы и положения диссертации отражены в семи научных статьях и в докладах на 66-й, 67-й, 68-й, 69-й и 70-й научно-технических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых МИИГАиК (2011-2015 гг.).

Реализация результатов работы (внедрение).

Результаты диссертационной работы использованы в практической деятельности Научного центра оперативного мониторинга Земли АО «Российские космические системы» при выполнении ОКР «Регион-В-Архив» и «пилотного» проекта в целях Федерального государственного экологического надзора, что подтверждено соответствующим актом о внедрении (Приложение В).

На основе предложенных методик составлены карты ареалов концентрации населения Московской области (5 карт), которые иллюстрируют визуальную близость положения граничных линий ареалов концентрации населения, построенных по данным, полученным из различных источников (Приложение А).

Разработанная методика и составленные по ней карты использовались при чтении курса лекций «Географическое картографирование» и при дипломном проектировании.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано семь статей, из них три – в изданиях, рекомендованных ВАК России.

Структура и объем диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка сокращений, списка использованных источников, включающего 96 наименований. Содержание изложено на 117 страницах. В работу входят 24 рисунка, 16 таблиц и 3 приложения.

1. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ НАСЕЛЕНИЯ КАК ОБЪЕКТ ИЗУЧЕНИЯ И КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

1.1. Пространственная концентрация населения в условиях процессов урбанизации

Под концентрацией понимают «сосредоточение, скопление кого-либо, чего-либо в каком-либо месте...» [45]. Концентрация населения, имея самостоятельное значение, в современных условиях становится компонентом процесса урбанизации, изменяя свою пространственную сущность. Традиционно пространственную концентрацию населения рассматривали в границах городов или взаимосвязанных групп городов. В современных условиях, наряду с ростом населения и расширения площади городов в условиях урбанизации городской образ жизни «выходит» за пределы границ города, создавая урбанизированные территории, концентрация населения в которых иногда выше, чем в городском центре.

Таким образом, ареалы концентрации населения становятся «внешним» признаком процесса урбанизации, в пределах которых создается рынок сбыта, а также возможность использования квалифицированной рабочей силы. В свою очередь, такие ареалы концентрации населения способствуют увеличению концентрации населения и его хозяйственной деятельности.

Сущность изменений, появившихся под влиянием процесса урбанизации на пространственный признак системы поселений, заключается в преобразовании точечной формы расселения в сплошную «урбанизированную зону» [64]. В прилегающих к городам сельских населенных пунктах увеличивается плотность застройки вдоль главных путей сообщения, происходит сгущение сети коммуникации. Вследствие, города распространяются на прилегающие территории вдоль транспортных направлений.

Относительно большое значение приобретают выгоды от агломераций за счет связей между городами. Поэтому закономерности расположения городов по

отношению к другим городам и расстояния между ними являются важной информацией при разработке региональной политики. Размеры городов, пространственная концентрация населения косвенно указывают на выгоды внутригородских связей, а расстояния между городами позволяют судить о важности выгод от взаимосвязей городов.

Формирование системы расселения в настоящее время складывается как из роста и развития отдельных населенных пунктов, так и из образования сложных групповых форм расселения [50, с. 23]. Современные процессы урбанизации и концентрации населения достигли такого уровня, когда рост населения города еще слабо влияет на его экономическое развитие, но при этом возрастает полезность связей между городами [43].

С необходимостью изучения современных процессов урбанизации и концентрации населения связано появление терминов и определений, описывающих современные системы городов. В основном эти понятия близки по содержанию, поскольку относятся к какому-либо центру или нескольким центрам и прилегающим к ним территориям: агломерация, конурбация, metropolitan area, Stadt-region и др.

Эти термины дают определение современному разрастанию городов, результатом которого является создание сложных пространственных систем, состоящих из центрального участка (ядра) и тяготеющих к нему территорий. Ниже даны определения наиболее распространенных терминов, приведенных в Урбанистическом разговорнике, издание 2011 г. «30 главных понятий о городском развитии» [62].

«Агломерация – компактное скопление населенных пунктов, главным образом городских, местами срастающихся, объединенных в сложную многокомпонентную динамическую систему с интенсивными производственными, транспортными и культурными связями».

«Конурбация – группа сближенных и тесно связанных между собой самостоятельных городов, образующих единство благодаря интенсивным экономическим и социокультурным связям между ними...» Конурбация является

видом «агломерации полицентрического типа, включающей в качестве составных ядер несколько более или менее одинаковых по размеру и значимости городов или городских территорий при отсутствии явно доминирующего города».

«Метрополия – регион, состоящий из густонаселенного городского ядра и окружающих территорий с меньшей плотностью. Эта территория имеет единую инфраструктурную, промышленную и жилую структуру... Метрополии объединяют городские агломерации (единые застроенные территории) с зонами, не обязательно городского типа, но привязанными к центру метрополии структурой занятости или другими коммерческими связями. Эти зоны называются пригородными поясами и могут простираются далеко за пределы урбанизированной зоны».

«Мегало́полис – наиболее крупная форма расселения, образующаяся при срастании большого количества соседних метрополий». Характеризуется «линейным характером застройки, вытянутой вдоль автомобильных и железнодорожных магистралей (иногда рек или морских побережий); общей полицентрической структурой, обусловленной взаимодействием относительно близко расположенных друг к другу крупных городов – агломерационных центров, формирующих мегалополис».

Введенные в научный обиход термины, называя объекты, не характеризуют их отличительные признаки. В тоже время в легенде карты требуется давать однозначное понимание сущности выделенной на карте группировки поселений.

Пространственная информация о концентрации населения указывает на территориальное распределение населенных пунктов, в основном городов, их площади, людности, плотности, проживающего в них населения, а также на соотношение между поселениями, находящимися в различных частях изучаемой территории [78].

При сборе данных о расселении населения территорию подразделяют на территориальные единицы, или ячейки, то есть на протяженные, граничащие друг с другом участки, которые далее при необходимости дифференцируют. С учетом такой основы можно получить:

- информацию о населении в пределах выделенного ареала, который включает разные типы населенных пунктов, отличающиеся, например, по числу жителей, или
- информацию о населении между выделенными ареалами, то есть между населенными пунктами одного типа в разных ареалах.

В первом случае рассматривают информацию о структуре выделенных ареалов, которая связана с классификацией свойств пространственно-разделенных в данном случае населенных пунктов. При этом изучение структуры имеет дело со значениями изменяющихся признаков населенных пунктов и со взаимоотношениями между ними. Изменения в структуре позволяют объяснить причины изменений в расселении.

Например, при резкой пространственной неравномерности развития сложившейся сети населенных пунктов нередки случаи «выпадения» средних ступеней шкалы людности населенных пунктов, что отражает чрезмерное увеличение людности столиц государств, центров административных единиц 1-го порядка (центров областей) с числом жителей 100-500 тыс. и отсутствие местных обслуживающих центров от 50 до 100 тыс. жителей. Такая ситуация указывает на затруднение в региональном развитии, она может сохраняться и обуславливать углубление диспропорций в течение длительного времени [59].

Другой методический подход позволяет установить происхождение отдельных населенных пунктов в выделенной группе и их взаимоотношения, а затем проследить их развитие.

1.2. Развитие городов России

Города как форма расселения отличаются большой устойчивостью, в них проживает значительная часть населения страны. Поэтому города и их групповые образования традиционно рассматриваются как объекты изучения расселения и концентрации населения.

В начале 20 в. в городах России проживало 18% общей численности населения. После гражданской войны численность и доля городского населения

страны почти не изменилась. За 15 лет к 1940 г. под воздействием индустриализации численность городского населения увеличилась вдвое. К 1979 г. городское население составило 62% населения страны. Рост городского населения кроме абсолютного прироста обусловлен миграцией жителей из сельских поселений, а также переводом сельских населенных пунктов в класс городских. При этом механический прирост городского населения больше, чем естественный.

Для нашей страны характерно быстрое увеличение количества городов, особенно больших и крупных (таблица 1.1). До 1939 г. одна треть городского населения была сконцентрирована в больших городах от 100 до 500 тыс. жителей. С 2010 г. население крупных городов ≥ 500 тыс. жителей составило более 40 % от общего числа городского населения.

Таблица 1.1 – Распределение городов и поселков городского типа по числу жителей в РФ

Класс городов	Число городских поселений / Численность населения, млн. человек						
	1939	1959	1970	1979	1989	2002	2010
Средние 50-100 тыс. человек	58/4,1	97/6,7	114/7,9	138/9,3	163/11,2	163/11,1	157/10,9
Большие 100-500 тыс. человек	48/10,1	78/15,4	107/23,3	126/26,8	131/28,2	134/28,4	129/27,1
Крупные 500 тыс. человек и более	2/1,1	12/8,3	11/8,4	18/12,6	22/14,0	33/39,8	35/41,2
в т.ч. 1 млн человек и более	2/7,1	2/7,9	6/14,8	8/18,9	12/25,2	13/27,4	11/25,8

Примечание – при составлении использованы данные Всесоюзных и Всероссийских переписей населения [5], [6], [7], [8], [9], [10], [66].

В 1897 г. в России было 9 городов с числом жителей ≥ 100 тыс., а к 1939 г. их число выросло до 52, концентрируя свыше 50% городского населения. К концу 20 в. таких городов было 168, в том числе 19 с людностью ≥ 1 млн. жителей [47].

Процесс развития городов влечет за собой изменение класса людности населенного пункта, при этом не всегда с повышением. Например, Кемерово, попавший в разряд крупных городов в 1986 г. с численностью жителей 514 тыс. человек. К 2004 г. численность его жителей уменьшилась до 480 тыс. В 2014 г. она составляет 544 тыс. человек.

Рост числа городов вызывает увеличение концентрации городского населения (рисунок 1.1). За 50 лет (с 1939 г. по 1989 г.) интенсивного освоения и развития страны городское население России увеличилось с 37 млн. до 108 млн. человек.

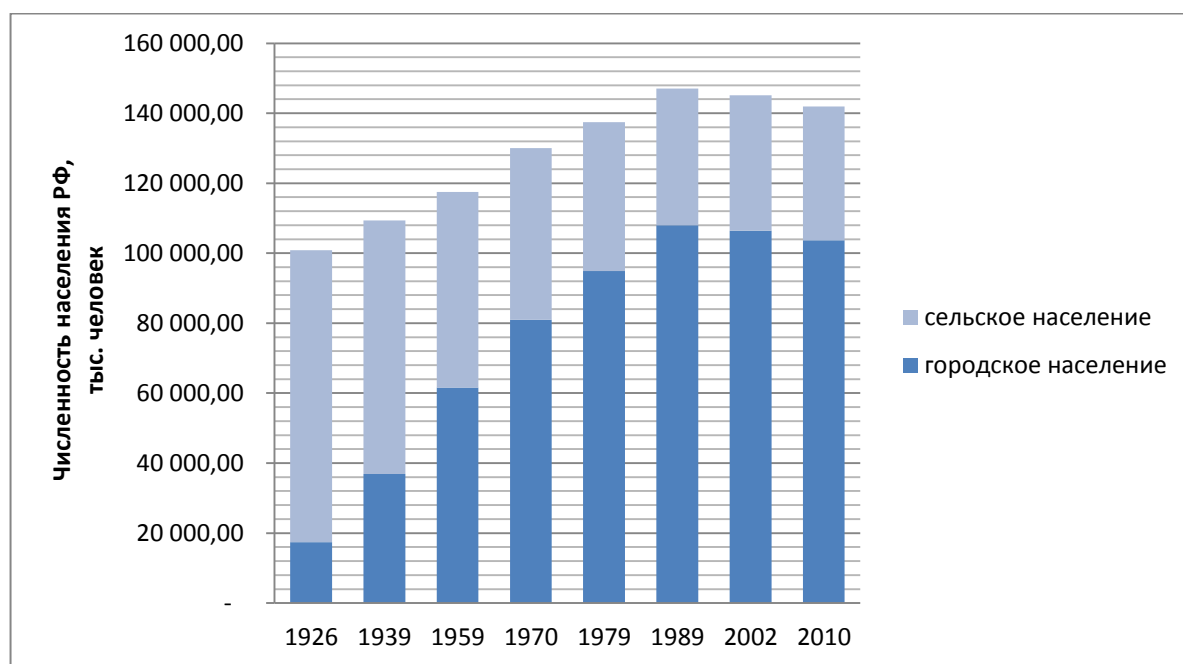


Рисунок 1.1 – Соотношение городского и сельского населения в период 1926-2010 гг.

Увеличение разрыва в темпах роста различных классов городов приводит к поляризации расселения, одним из проявлений которой является стягивание населения в пригородные зоны крупных центров [4]. Увеличение контрастности расселения приводит к перераспределению населения в рамках уже сложившейся системы расселения и «отбору» наиболее эффективных населенных пунктов [27].

Бурное течение процессов урбанизации в стране ведет к усложнению форм городского расселения и возникновению крупных городских агломераций, число которых быстро растет.

В процессе урбанизации происходит пространственное расширение территорий, подверженных интенсивной урбанизации, и вынесение элементов городского быта за черту города, особенно в крупных центрах. В связи с этим определение города как административной территории, значительно отличающейся от окружающих сельских территорий, все чаще теряет свой первоначальный смысл.

В период индустриализации (конец 19 – начало 20 в.) размещение производства в отрыве от места жительства потребовало размещения жилья вблизи предприятий и концентрации застройки, поскольку не было коммуникационных средств быстрого освоения территории и технических возможностей для передачи на большие расстояния энергии и информации. Этим объясняется использование территорий в быстро растущих крупных городах на рубеже веков. Это вызвало чрезмерную плотность заселения городов – в среднем примерно 20-30 тыс. человек на 1 км² [57].

Внедрение в конце 19 в. электропоездов как средств сообщения и использование в широком масштабе железных дорог для пассажирского передвижения создали техническую основу для развития жилых районов, расположенных в отдалении от мест работы. Эти технические достижения создали материальные предпосылки для дальнейшего пространственного развития города. Одновременно высокая плотность населения городов вызвала в послевоенный период широкое развитие пригородных поселков, часто дачного типа. Решающее влияние на размещение жилья оказывало развитие пригородных железнодорожных путей и пригородного пассажирского движения на обычных линиях.

Вдоль железнодорожных линий возникали поселки, расстояние между которыми определялось техническими особенностями железных дорог, то есть составляло минимум 4-5 км между остановками. В поселках преобладали дома,

рассчитанные на одну семью, либо имелись дома для нескольких семей с малой интенсивностью использования территории. Поселки предназначались только для жилья и были тесно связаны с городским центром, где жители поселка работали и удовлетворяли более сложные потребности.

В 1930-х гг. на железной дороге паровая тяга заменяется электрической и двигателями внутреннего сгорания, что позволяет увеличить скорость движения и уменьшить расстояние между остановками. Автомобильный транспорт получает широкое распространение как средство личного передвижения и для пассажирских перевозок. Эти технические достижения служат толчком к увеличению количества поселений вдоль железных дорог и активному освоению территорий, расположенных вдали от железнодорожных линий. Развитие средств связи позволяет устанавливать личные контакты без непосредственной близости. Эти достижения располагают к жизни в поселках, находящихся за чертой перенаселенного города.

Таким образом, вокруг больших городов начинают образовываться растянувшиеся вдоль транспортных путей зоны пригородных жилых поселков спального типа (рисунок 1.2).

Поскольку большое количество населения создает выгодный рынок сбыта, а также возможности использования квалифицированной рабочей силы, возникает стихийная тенденция к концентрации хозяйственной деятельности на определенной территории, что также вызывает прирост населения. На эти цепные реакции, ускоряющие процесс агломерации, указывал А. Леш [28]. Таким образом, развитие производительных сил привело к технологическим достижениям и повышению уровня жизни широких общественных групп и возникновению новой формы городских поселений.

В СССР формирование агломераций как опорных пунктов системы расселения происходило целенаправленно. Было сформулировано определение самого понятия, установлены критерии и принципы выделения агломераций.

По определению Д.И. Богорада «городская агломерация – это компактное скопление территориально сосредоточенных городов и других населенных мест,

которые в процессе своего роста сближаются (иногда срастаются) и между которыми усиливаются многообразные хозяйственные, трудовые и культурно-бытовые взаимосвязи» [Цит. по: 46].

Два основных элемента формируют территориальную структуру агломерации: ядро - это центр наиболее высокой концентрации производства и населения, и периферийная зона – территория, окружающая ядро и несущая вспомогательные функции [25].

Главными признаками агломерации

являются пространственная близость городских поселений, компактная группировка населенных пунктов вокруг одного или нескольких ядер и взаимодополняемость функций поселений, определяющих развитие связей [25].

По методике выделения агломерации, предложенной Ф.М. Листенгуртом, в качестве потенциального ядра агломерации рассматривается крупный город с населением не менее 100 тыс. человек, а периферийная зона, т.е. тяготеющий к нему ареал концентрации населения, очерчивается изохронной двухчасовой доступности всеми видами транспорта [31]. Выделенная территория является ареалом перспективного развития агломерации.

Основой физической структуры городов и их пространственных моделей является транспорт. Города развиваются благодаря транспортной доступности его отдельных частей, что обеспечивает основу для устройства агломераций. Разрастание городов основывается на решении компромисса между требованием

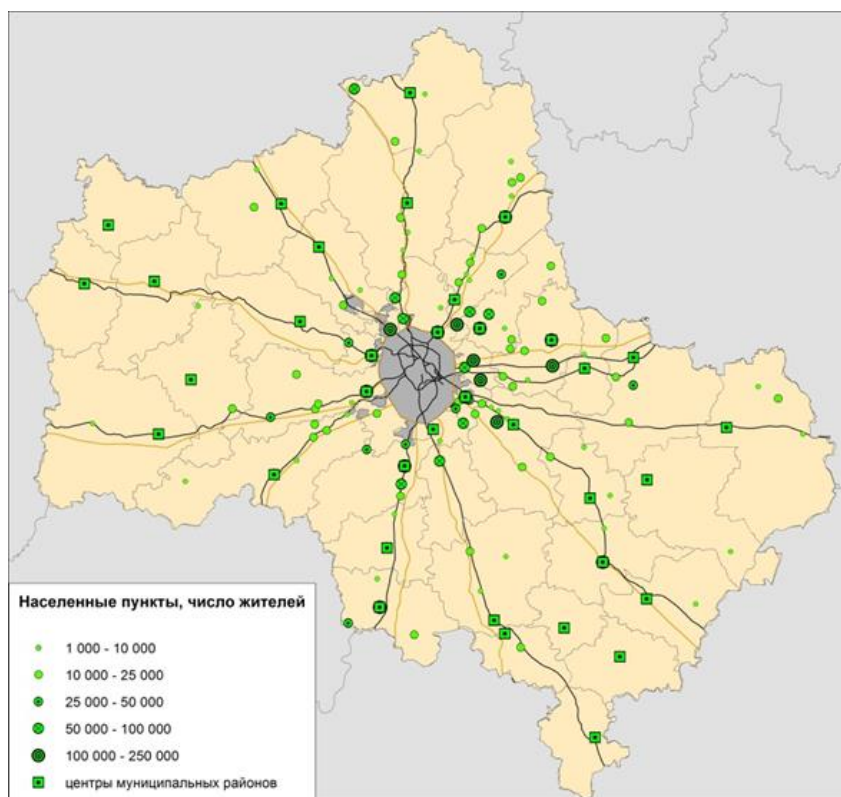


Рисунок 1.2 – Города Московской области

жить максимально близко к центру города и желанием иметь обширное пространство в личном пользовании, но все еще сохранить преимущества городского или пригородного проживания. Разрастание городских территорий проявляется через увеличение материальных возможностей и усовершенствование транспортной инфраструктуры, что позволяет пригородному развитию и городской морфологии отражать этот компромисс. Динамика этих процессов, определяющих пространственное взаимодействие и развитие элементов структуры расселения, является основополагающей для понимания городской формы и структуры [86].

В целом, система расселения России отличается очень неравномерной структурой, что обусловлено природными условиями и историческим развитием территорий [68]. Плотность поселений в европейской части в 25-30 раз больше, чем в азиатской. Кроме того, на фоне невысокой доли больших городов, значительное число городов людностью ≥ 250 тыс. жителей входят в агломерации, формирующие урбанизированные территории.

1.3. Отображение пространственной концентрации населения на картах

Пространственная концентрация населения является важной характеристикой территориального распределения населения. Подразумевая неоднородность размещения, концентрация населения является целью картографирования.

Бурное течение процессов урбанизации в 20 в. побудило географов разработать ряд показателей, на основе которых выполнялось картографирование «урбанистической концентрации». По определению П.М. Поляна «под урбанистической концентрацией понимается сосредоточение городского населения в верхних грациях урбанистической структуры, т.е. в наиболее значительных по размерам городах» [52]. Были разработаны: коэффициент структурной урбанистической концентрации, показатель абсолютной урбанистической концентрации, коэффициент относительной урбанистической концентрации [52]. Этих показатели передают на картах соотношение значений

показателей для административных единиц, но не дают представления о пространственной концентрации населения.

При картографировании в качестве мер концентрации населения используются статистические показатели: % городского населения, темпы роста/сокращения численности населения, % городов с определенным числом жителей, а также показатели сети городских поселений, средняя величина городских поселений по регионам. При количественном описании расселения значения концентрации населения в шкале соответствуют максимальным значениям.

Наиболее распространенной темой картографирования населения является размещение всей сети поселений, в том числе городских, с указанием их людности (рисунок 1.3). Часто такие карты дополняются отображением средней плотности сельского населения, определенной для административных единиц 1 или 2 порядка и показываемой методом картограммы (рисунок. 1.4).

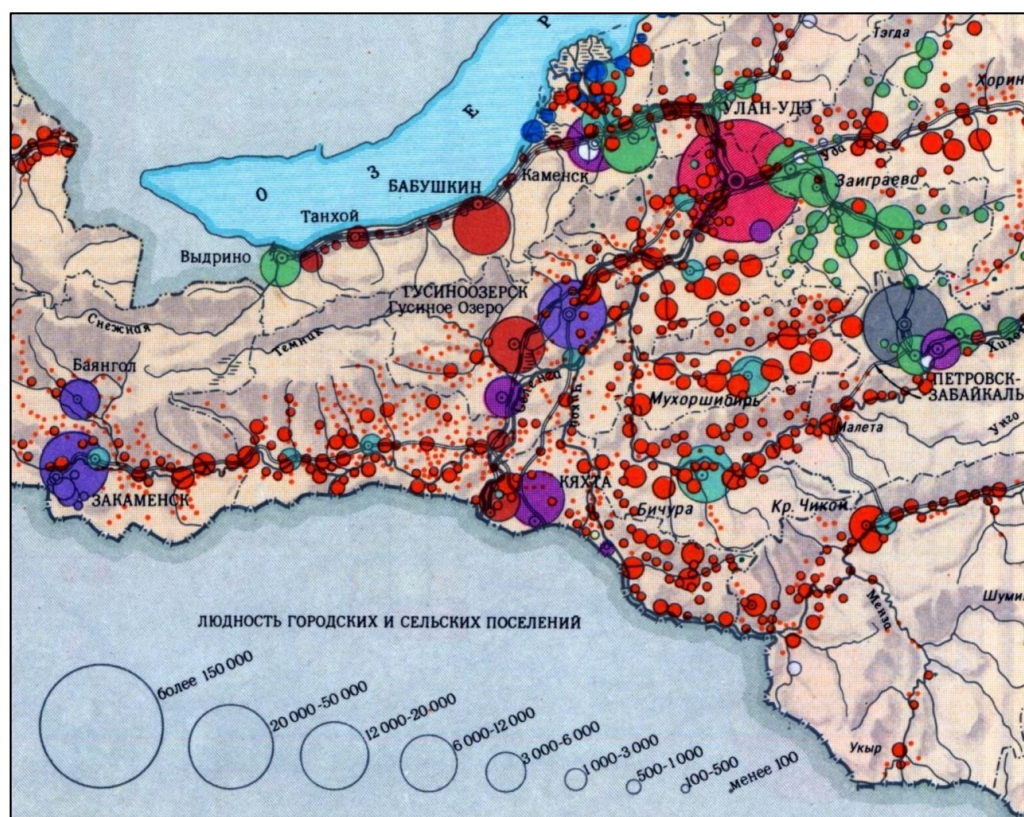


Рисунок 1.3 – Фрагмент карты «Типы населенных пунктов». Масштаб 1:3500000 [61]

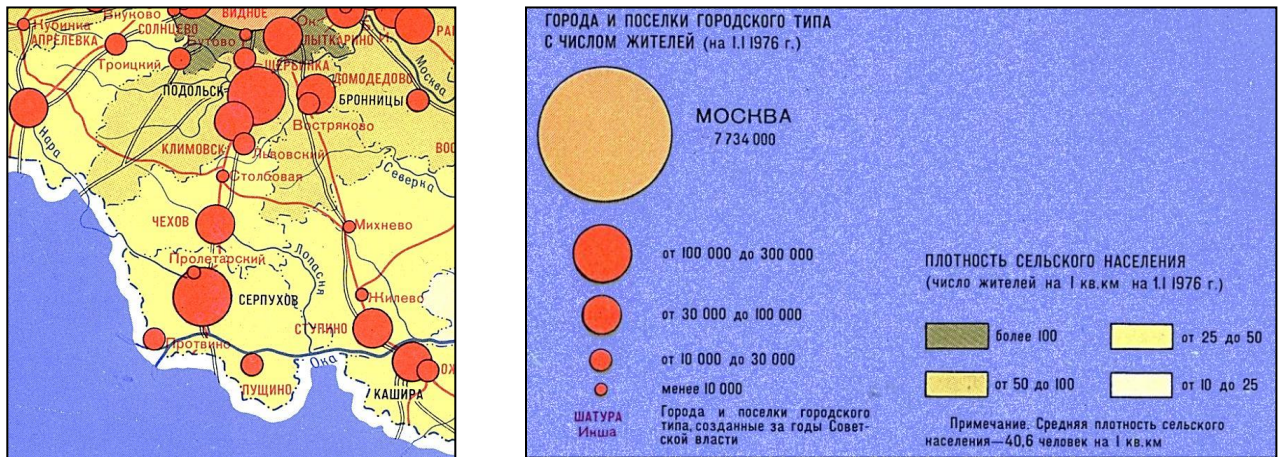


Рисунок 1.4 – Фрагмент карты «Карта плотности населения».
Масштаб 1:1500000 [15]

Визуализация концентрации населения на общегеографических картах создается увеличением графической нагрузки, отображающей населенные пункты. На картах крупных и средних масштабов такой графический прием отображает особенности размещения населенных пунктов, обращая внимание на их пространственную упорядоченность, то есть пространственное положение населенных пунктов относительно друг друга и связи между ними.

На картах мелких масштабов мельче 1:1 000 000 отображается только часть населенных пунктов из числа наиболее значимых для каждого района, поэтому на мелкомасштабных картах отображаются только места концентрации населения, то есть наиболее крупные населенные пункты.

В последние десятилетия на общегеографических картах начали отображать ареалы «сплошной застройки». Такие ареалы выделены на общегеографических картах масштабов 1:1 500 000 и 1:1 000 000 в Атласе мира, 3-е издания (1999 г.) при отображении городов с числом жителей 100 тыс. и более [1]. Фрагмент такой карты приведен на рисунке 1.5. Вместо генерализированной сети пригородных населенных пунктов на картах показаны ареалы сплошной застройки.

Выделенный ареал позволяет передать площадь высокой концентрацией населения с указанием на карте наименования только города-центра без увеличения графической нагрузки. Таким способом впервые на карте были

отображены урбанизированные территории, отличающиеся прежде всего высокой концентрацией населения.

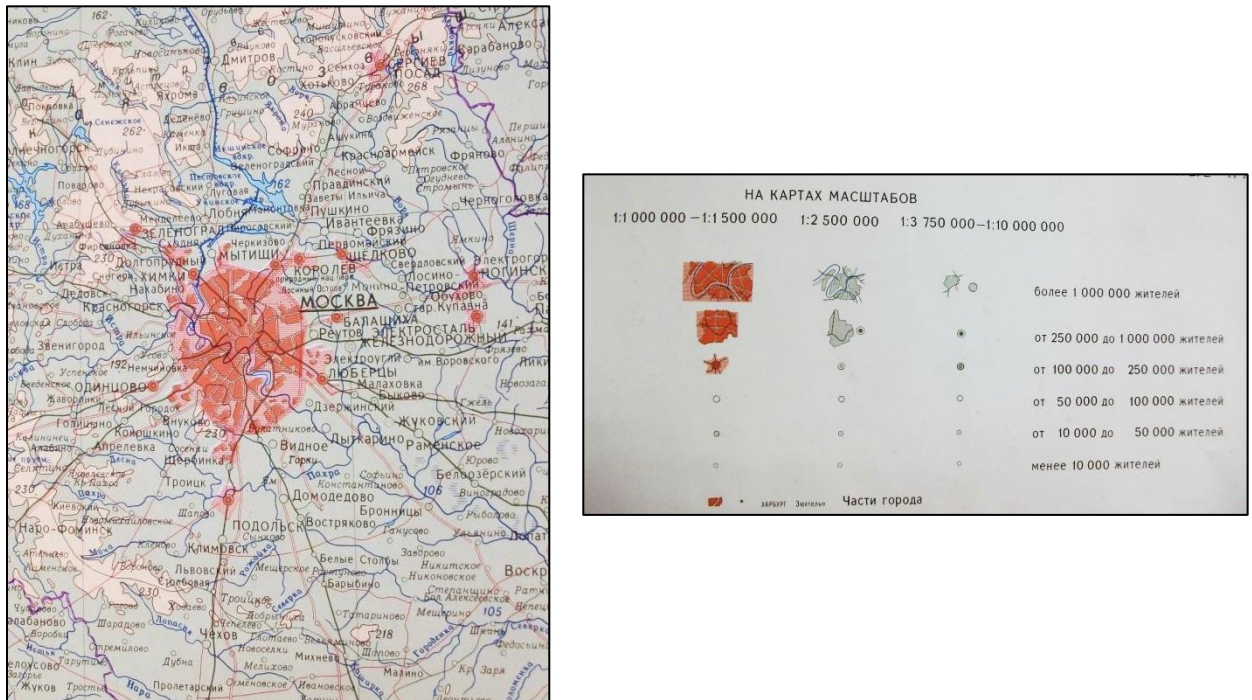


Рисунок 1.5 – Фрагмент карты «Подмосковье» (масштаб 1:1500000) и легенды атласа [48]

Изображать на картах крупных и средних масштабов ареалы концентрации населенных пунктов с позиции критерия «сплошной застройки» было бы ошибочно. Такой формальный подход позволил бы считать, что близко расположенные к центральному поселению населенные пункты являются его частью [17].

Более приемлемым для карт крупных и средних масштабов является дазиметрический метод (в переводе с греч. «измеряющий плотность»). Он позволяет отобразить «пятна фактического сгущения населения» [56]. Для создания такой карты на топографической карте оконтуриваются населенные пункты, расстояние между которыми не превышает 2-3 км (пешеход преодолевает 3 км за 30 минут, автомобиль – 3 минуты при скорости 60 км/час). В малозаселенных районах предельные значения расстояний могут быть увеличены. Расстояния, превышающие предельные значения, будут указывать на разрыв связей между населенными пунктами.

Далее определяется плотность населения в каждом ареале и составляется шкала изменения плотности населения для картографирования района. «Для дазиметрической карты важны относительные величины сгущения и разрежения населения, уложенные в широкие ступени шкалы с промежутками не менее 10 человек на ступень» [56].

Этот метод и термин «дазиметрическая карта» предложены в 1911 г. в докладе Русскому географическому обществу В.П. Семеновым-Тянь-Шанским. В 1923 – 1927 гг. были опубликованы 47 листов Дазиметрической карты Европейской России масштаба 1:420 000. Границы ареалов фактической плотности населения, полученные на этой карте, автор предлагал использовать как контурную основу, относительно которой можно отображать различные признаки социально-экономических и природных объектов.

Указывая на практическую полезность такой карты, автор отмечал: «... настоящую ценность эти карты приобретают лишь при возможности сопоставления их с соответствующими картами (на кальке) геологической, почвенной, распределения естественных ресурсов, характеристики промысловой деятельности населения, кальки направления и напряженности грузовых потоков и др.» [56].

Дазиметрический метод получил широкое распространение за рубежом. На настоящий момент его основные модификации следующие:

1. Оконтуриваются только «явные пятна наибольшего сгущения населенных пунктов», в которых вычисляется плотность населения, после чего очерчиваются малонаселенные территории. Промежутки между ними и пятнами сгущения населенных пунктов заполняются линиями равных значений плотности населения («изодазы»).

2. Оконтуриваются территории с наибольшей густотой населенных пунктов, со средней густотой населенных пунктов и ненаселенные территории. В населенных районах вычисляется плотность жителей на единицу пространства. Для оставшихся малонаселенных территорий вычисляется площадь, число жителей и плотность населения.

3. Изображение плотности населения передается точечным способом, где каждая точка имеет вес в несколько жителей. Точки расставляются на местах размещения населения, незаселенные территории остаются пустыми.

4. Карта разбивается на небольшие квадраты, для которых определяется суммарное число жителей попавших туда населенных пунктов, затем вычисляется средняя плотность населения в каждом квадрате. Наиболее ответственным моментом является выбор величины квадрата. Единицей картографирования является территориальная совокупность населения.

Современный этап урбанизации характеризуется не только разрастанием городов и расширением их влияния на прилегающие территории, но и образованием новых форм городских образований. Картографирование агломераций требует многофакторного анализа системы расселения, ее внутренних процессов и связей.

В 1988 г. географами МГУ А.Г. Махровой и Е.Н. Перцик было проведено исследование по выделению агломераций второго порядка, под которыми рассматривались «ареалы роста» концентрации городского населения [36]. Это понятие было введено Г.М. Лаппо в работе по изучению Московской агломерации [26].

В указанной работе дано следующее определение агломераций второго порядка - это «системы расселения агломерационного типа, являющиеся структурными элементами основной агломерации (первого порядка) и выделяющиеся характером и особенностями интеграции поселений как внутри образований, так и с ядром агломерации первого порядка» [36].

«Комплексный анализ агломераций второго порядка проводился по данным за 1970 и 1985 гг. на основе 56 показателей, в состав которых входили параметры расселения (19 признаков), отраслевой структуры занятости (8), демографического состава (14), социальных условий (5) и географического положения (4 показателя)» [36].

Совокупность данных содержала различные критерии: «численность населения агломерации; доля городского населения; доля населения, проживающего в ядре; число городских поселений и поселений-спутников; доля занятых в промышленности; доля занятых в науке и научном обслуживании; доля занятых в сельском хозяйстве; половой и возрастной состав

населения, его механическое и естественное движение; уровень развития сферы культурно-бытового обслуживания и здравоохранения; соседство с Москвой и условия связности с ней» [36].

Было выделено 19 агломераций второго порядка, занимающих 30% территории Московской области и концентрирующих $\frac{3}{4}$ населения области (рисунок 1.6), а также разработана типология агломераций по их размеру и скорости развития.

Приведенные методы и методические разработки картографирования расселения только косвенно визуализируют пространственную концентрацию населения, позволяя примерно определить ареалы концентрации населения.

Выводы:

1. В современных условиях город, оставаясь основой расселения, создает в своем окружении урбанизированные территории, отличающиеся высоким уровнем концентрации населения и быстрым ростом хозяйственной деятельности.



Рисунок 1.6 – Агломерации 2-го порядка на 1970 г.¹

¹ Махрова А.Г., Перчик Е.Н. Агломерации второго порядка Московского столичного региона (типологический анализ) // Вестник Московского Университета. Серия 5. География. – 1988. - №6. – С. 6.

Сущность территориальных изменений, происходящих под влиянием процесса урбанизации, состоит в том, что точечная система расселения преобразуется в ареальную. Границы населенных пунктов сближаются, образуя сплошную «урбанизированную зону».

2. Основными компонентами такой территориальной структуры являются город-центр и периферийная зона (зона разрастания). При этом плотность населения в периферийной зоне иногда превышает плотность населения города-центра.

В этих условиях ареал концентрации населения становится основой и носителем пространственных свойств урбанизации.

3. Для отображения на картах пространственной концентрации населения необходима терминология, объясняющая расселение бóльшими или меньшими значениями пространственной концентрации населения.

Одной из причин, затрудняющих показ ареалов концентрации населения, является отсутствие однозначно понимаемых терминов, на основе которых обычно даются пояснения в легенде карты.

4. Пространственная концентрация населения является объектом мелкомасштабного картографирования. На издаваемых картах она визуализируется графическими средствами. Основные темы картографирования – сети населенных пунктов с учетом их людности и плотности населения по административно-территориальному делению.

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ

2.1. Начальный этап моделирования.

Решение задачи картографирования пространственной концентрации населения можно отнести к слабо организованной системе данных, поэтому выбран метод моделирования, позволяющий отобразить наиболее общие свойства пространственной концентрации населения.

При разработке модели картографирования ареалов концентрации населения выделены два этапа, которые определяют анализ пространственной концентрации населения и непосредственно моделирование, так как эти этапы обычно выполняются с использованием разных методических подходов.

Для перехода от всей совокупности признаков к уточненной модели выполняется постепенное ограничение полноты описания пространственной концентрации населения, сохраняя при этом наиболее существенные с точки зрения картографирования компоненты и связи между ними.

Заранее судить о том, каковы те критерии, которые следует установить для построения границ ареалов концентрации населения, сложно, поэтому модель создается на основе некоторого фрагмента данных. Для этого выбирается предметная область, особенности которой играют решающую роль в определении количественного значения критерия. В качестве оптимального полигона для исследования выбрана Московская область, в которой из всех регионов России наиболее ярко выражены современные процессы урбанизации. Структура системы расселения Московской области сформировалась под непосредственным влиянием Москвы. Влияние Москвы на концентрацию населения в области является определяющим, поэтому её положение в иерархии уровней концентрации населения области Москва - агломерация 1-го порядка - является верхним уровнем модели.

Второй уровень локально-агломерационных структур выделен Г.М. Лаппо как агломерации 2-го порядка. Они являются «структурными элементами основной агломерации (1-го порядка) и выделяются характером и особенностями интеграции поселений как внутри образований, так и с ядром агломерации 1-го порядка» [36]. Они играют важную роль в формировании расселения области. В середине 80-х годов в области было выделено 19 агломераций 2-го порядка, в которых проживало свыше 5 млн. человек (3/4 населения области), к настоящему времени их общее число достигло 22 [25].

Но для картографирования ареалов концентрации населения области требуется бóльшая детализация локально-агломерационных структур. Кроме агломераций 1-го и 2-го порядка модель должна включать локальные группы поселений, прежде всего городских, которые являются результатом взаимосвязанной деятельности населения. Образуя третий, более низкий уровень концентрации населения, они, в основном, влияют на формирование ареалов сплошной застройки, на уменьшение расстояний между населенными пунктами и при картографировании помогают установить границы ареалов концентрации населения.

Поэтому на начальной стадии исследования модель пространственной концентрации населения имеет вид как на рисунке 2.1. Модель подразумевает иерархическую структуру древовидного порядка. Такую модель академик В.М. Глушков назвал «прогноznым графом» [11].

Но выявленных компонентов первоначальной модели недостаточно для выполнения картографирования, поэтому надо вернуться ко всей совокупности данных, чтобы установить людность городов-центров, участие других населенных пунктов в формировании концентрации населения, статистический показатель концентрации населения и значение показателя, определяющее границы ареалов концентрации населения. Для этого выполняется более глубокий анализ системы расселения исследуемой территории.

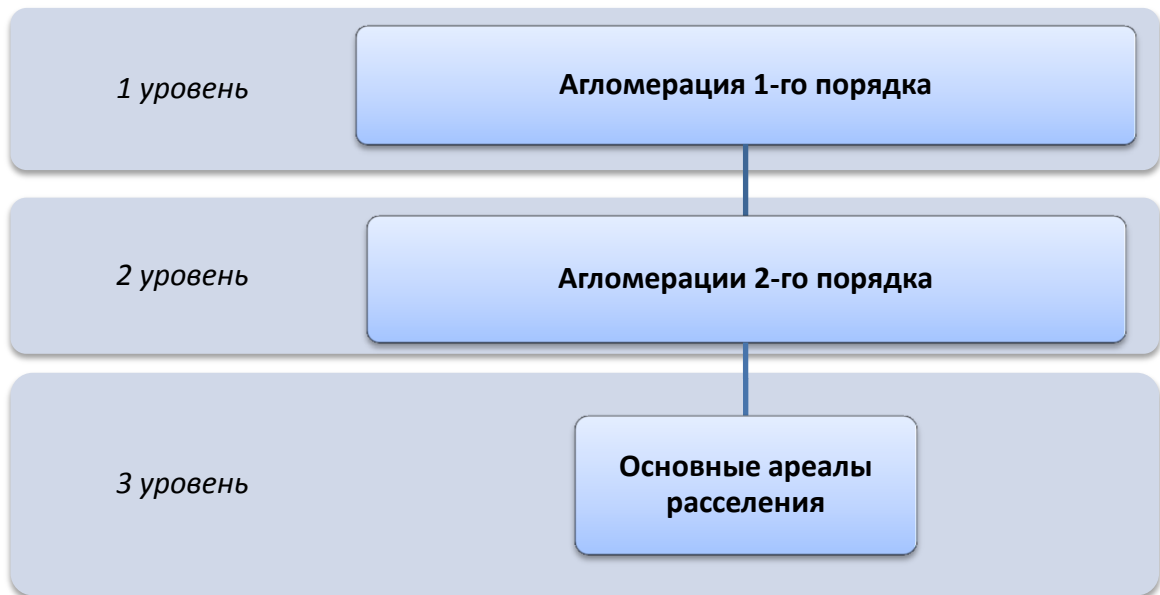


Рисунок 2.1 – Модель пространственной концентрации населения
(начальный этап)

2.2. Анализ расселения населения (на примере Московской области)

2.2.1. Структура системы расселения

Структура системы расселения Московской области сформировалась под непосредственным влиянием крупнейшего города России - Москвы. Вследствие этого для Москвы и Московской области характерно количественное и качественное сходство происходящих демографических процессов.

Структура расселения Московской области характеризуется комбинацией нескольких структур: зонально-кольцевой, секторально-лучевой и локально-агломерационной [42]. В Московской области, как и в Москве, четко выражены поясные демографические различия. С удалением от Москвы сокращается плотность застройки, мест приложения труда и населения, уменьшаются темпы роста численности населения. Кроме того, с удалением от Москвы доля городского населения в общей численности населения уменьшается и резко падает плотность городских поселений.

В исследовании, проведенном специалистами МГУ [34], выделено четыре зоны кольцевой формы. Максимальной численностью жителей характеризуется

второе кольцо радиусом 20-60 км (37,8% от общей численности области), но в последние 20 лет доля первого пояса (20-30 км) выросла с 26% до 30,1%. Плотность населения падает с удалением от Москвы: с 701,8 чел/км² в первом поясе до 194 чел/км² во втором поясе и до 85,5 чел/км² и 66,6 чел/км² в третьем (60-100 км) и четвертом (до 150 км) соответственно. Наиболее активно развиваются поселения пригородной зоны Московской области, что приводит к уменьшению территориальных разрывов и формированию сплошной застройки.

В области, также как и в Москве, существуют различия демографических характеристик по секторам, но в Московской области они выражены более четко.

Радиусы разветвленного транспортного узла, состоящего из 11 железнодорожных и 13 автомобильных магистралей, служат осями расселения. В 10-километровой зоне вдоль железных дорог сосредоточено 90% городского и 60% сельского населения Московской области. Подавляющее большинство промышленных ядер расположено вдоль полимагистралей [2], которыми являются «особые, сложные и неоднородные по составу магистрали, составленные из линий разных видов транспорта, выполняющих комплементарные функции» [51]. В настоящее время динамика населения продолжает тенденции предыдущего десятилетия - относительное выравнивание секторальных различий и увеличение доли населения в западных направлениях.

В Московской области быстро растет количество и людность больших городов – 100 тыс. человек и более. В 1939 г. в области таких городов не было, в 1959 г. их 5, в 2010 г. – 19 больших городов. В них живет почти четверть населения Московской области и численность их населения очень быстро увеличивается.

Основное количество городского населения сосредоточено в крупных городах (более 50 тыс. жителей). Менее половины всех городов области концентрируют 80% населения городов (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Распределение городов Московской области по числу жителей (на 2010 г.)

Людность города (тыс. человек)	Количество городов	% от общего числа городов	Число жителей (тыс. человек)	% от общего числа жителей городов
100-250	17	21	2 384	49
50-99	21	26	1 478	31
10-49	41	52	956	20
<10	1	1	5	1
Σ	80		4 824	

Одним из "знаковых" изменений в процессах расселения в Московском регионе стал процесс субурбанизации – опережающий рост пригородов по сравнению с центром. Специфичная для России сезонная субурбанизация выражается в росте садово-дачных и коттеджных поселков, число которых превышает количество сельских населенных пунктов в два раза (рисунок 2.2) [35].

Еще одно явление, характерное для последнего периода, - существенная трансформация пригородной зоны, в которой появились новые центры деловой активности Москвы. Территории, прилегающие к МКАД и к полимагистралям, стали местом размещения складских и торговых комплексов и терминалов, что привело к расширению агломерационного ядра и сдвигу деловой активности к окраинам агломерации.

Сложная территориальная структура области характеризуется следующими главными чертами:

- Сердцевину района образует крупнейшая в стране и одна из крупнейших в мире моноцентрическая Московская агломерация (состоящая из Москвы и её пригородной зоны).
- Во многих местах области сформировались локальные скопления городов, которые могут быть названы агломерациями 2-го порядка, с численностью населения в несколько десятков тысяч человек.

- Значительная контрастность расселения, что выражается в значительных перепадах плотности населения (от 1000 чел/км² на примыкающих к Москве территориях до 10-20 чел/км² в периферийных частях области), в значительных различиях густоты сети и размерах городов, в характере городского расселения между разными частями области, прежде всего между западной и восточной частями, между плотными полосами застройки вдоль транспортных радиусов и междирадиальными слабозаселенными пространствами.

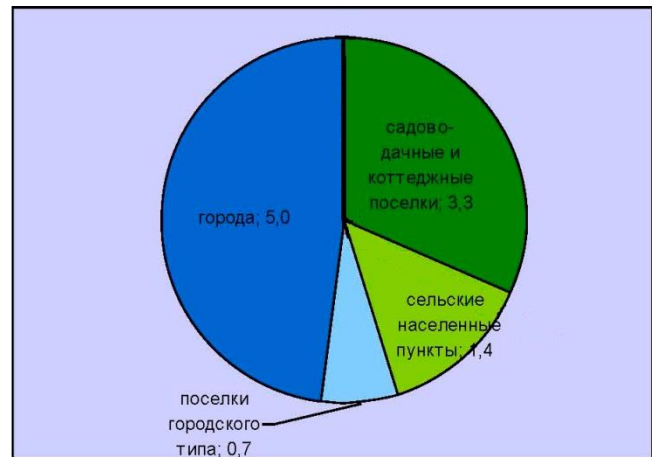


Рисунок 2.2 – Московская область. Доля типов поселений по численности населения, млн. человек²

городского расселения между разными частями области, прежде всего между западной и восточной частями, между плотными полосами застройки вдоль транспортных радиусов и междирадиальными слабозаселенными пространствами.

В целом, Московской области присуща органически сложившаяся в процессе исторического развития и укрепившаяся в советское время радиально-концентрическая структура, обусловленная построением транспортной сети и распределением основных узлов расселения.

2.2.2. Рост городов

Тенденция развития городской структуры в Московской области характеризуется устойчивостью. Система расселения проявляет огромную силу инерции, с чем связаны большие проблемы регулирования роста городов, расселения в целом.

В Московской области наблюдается устойчивый рост населения. Увеличение городского населения, имеющее место на протяжении всего 20 в.,

² Махрова А.Г., Нефедова Т.Г., Трейвиш А.И. Субурбанизация и постсубурбанизация в условиях развитой агломерации (на примере Московской области) [Электронный ресурс] // Материалы XII ежегодной конференции «Леонтьевские чтения»: [презентация]. URL: http://uisrussia.msu.ru/docs/nov/Leontief/2013/4-1_Mahrova.pdf

приводит к тому, что в настоящий момент в городах и посёлках городского типа проживает свыше 80 % населения области (рисунок 2.3).

Сельское население области продолжает уменьшаться, в период 1939-1985 гг. численность сельского населения сократилась в 1,8 раз, а сельских поселений – в 1,6 раз [42]. О высоком динамизме населения свидетельствует непрекращающееся увеличение числа городов и поселков городского типа.

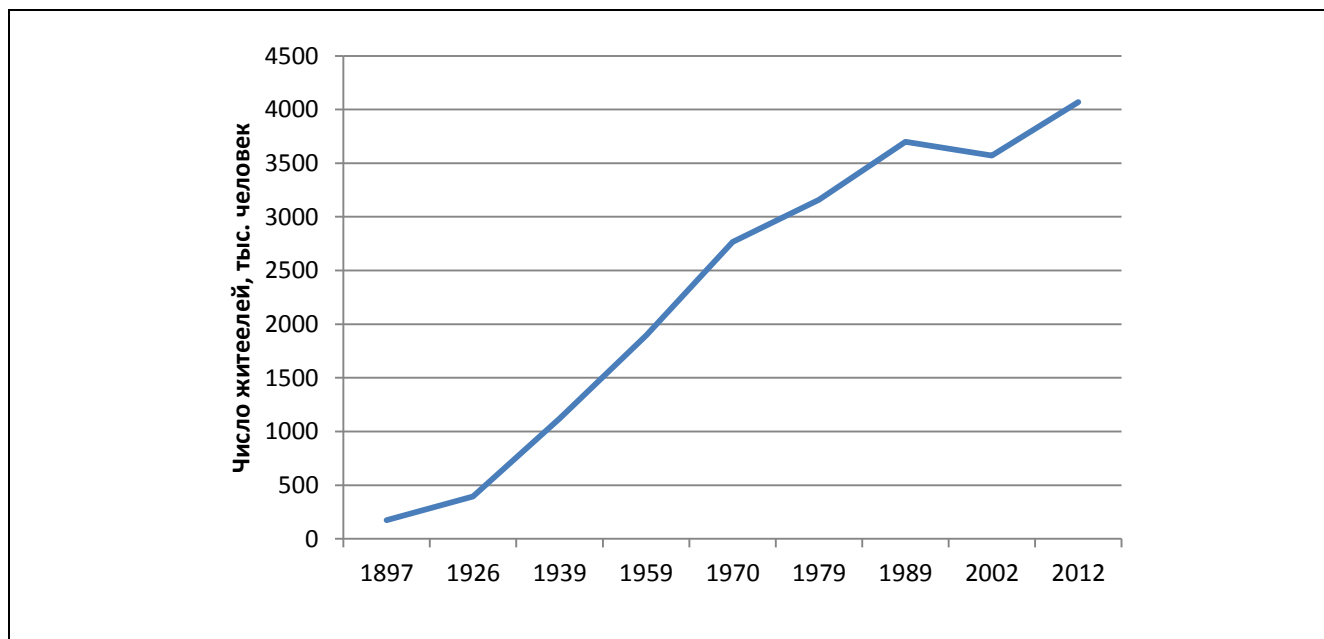


Рисунок 2.3 – Рост городского населения Московской области в период с 1897 по 2012 гг. (города ≥ 50 тыс. жителей)

Можно выявить некоторые тенденции, связанные с расселением и территориальной организацией области:

- Непрестанный рост ядра системы – Москвы и её ближайшего окружения.

Москва, стимулируя развитие городов и поселков на прилегающей территории, включает их в свою черту. Особенно существенное приращение территории и численности населения столицы таким путем произошло в 1960 году, когда площадь Москвы увеличилась в 2,5 раза, а численность населения возросла почти на 1 млн. жителей.

По мере удаления от Москвы изменяется численность населения, сокращаются темпы прироста численности населения. Увеличение численности

населения Московской области, как и Москвы, начиная во второй половины 20 в., происходит в основном за счет механического прироста. С увеличением размеров населенных пунктов роль механического прироста в общем приросте численности населения растет. В 60-е – 70-е годы численность населения в Московской области увеличилась на 70%. Общий рост населения обеспечивается за счёт внешних миграций. Основная часть мигрантов, прибывающих в область, оседает в городах.

Начиная с середины прошлого столетия, наибольший коэффициент механического прироста приходится на большие города людностью 100 тыс. жителей и более. С удалением от Москвы доля механического прироста в общем приросте численности населения сокращается.

- Опережающими темпами рост численности населения происходит на основе развития и усложнения социально-экономической базы населенных пунктов.

Существенный рост в агломерациях 2-го порядка и связанное с этим непрерывное усиление значения опорных центров в периферийной зоне – Серпухов, Кашира-Ступино, Коломна, Орехово-Зуево и др. – которые не только растут сами, но и обрастают спутниками. При этом констатируется более энергичное, чем в недавнем прошлом, вторжение промышленности и др. отраслей в Западное Подмосковье. Это приводит к существенному изменению здесь характера расселения, прежде всего в непосредственно прилегающей к Москве части Западного Подмосковья, и постепенному превращению в промышленные центры таких старинных городов как Истра, Можайск и Волоколамск. Следует также отметить дробление межрадиальных секторов, особо ценных для рекреационной деятельности населения, вновь создаваемыми центрами науки и промышленности. Примером может служить развитие академических центров г. Троицк и пгт. Черноголовка.

- Последовательное укрупнение городов.

До войны на территории Московской области, не считая Москвы, не было городов с населением более 100 тыс. жителей. В 1939 году насчитывалось 7 городов с населением от 50 до 100 тыс. жителей, в 1959 году население таких городов, как Подольск, Серпухов и Орехово-Зуево становится более 100 тыс. жителей. К 1989 году в Московской области насчитывается 15 городов с численностью населения от 100 до 250 тыс. жителей. В настоящее время по данным на 2013 год в Московской области насчитывается 38 городов с населением более 50 тыс. жителей, из которых 19 городов имеют численность населения от 100 до 250 тыс. жителей (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Последовательный рост городов Московской области, имеющих более 50 тыс. жителей в 2013 г.

Людность городов, тыс. жителей	Число городов			
	1939 г.	1959 г.	1989 г.	2013 г.
<10	5	-	-	-
10-20	9	6	-	-
20-50	14	17	-	-
50-100	7	12	23	19
100-250	-	3	15	19
Σ	35	38	38	38

Рост численности населения больших городов (100-250 тыс. жителей) происходит быстрее, чем общий прирост городского населения.

Приток населения в большие города, такие как Балашиха, Химки, Королёв, Подольск, Люберцы, Мытищи, Электросталь, Коломна, Одинцово, Железнодорожный, Серпухов, Красногорск и др., является решающим фактором численности населения. В других городах рост численности развивается менее динамично.

Для Московской области характерно глубокое преобразование сельского расселения под влиянием городов. Границы между сельским и городским населением размываются, значительная часть сельского населения является по

существу «скрытым городским» по характеру своей деятельности и месту приложения труда.

Главным изменением в системе расселения Московской области, сложившимся за последние десятилетия, является преобразование «точечного» расселения в «ареальное». В границах сложившихся ареалов концентрации населения сосредоточена основная градостроительная инфраструктура, объекты промышленности. Смазываются четкие границы населенных пунктов, а система расселения превращается из жесткого каркаса в сплошное неоднородное поле [42].

2.2.3. Выбор статистического показателя пространственной концентрации населения

Исторически сложившиеся зоны расселения городского населения (пространственно-сгруппированные, с большой плотностью населения) стали объектом исследования концентрации населения Московской области на основе следующих статистических показателей:

- процент городского населения,
- численность населения в городах и поселках городского типа,
- площадь городского поселения,
- расстояния между городскими поселениями,
- средняя плотность населения.

Деление населения на городское и сельское имеет не только социально-экономическое значение, но также территориальное значение. Городское население – это население, проживающее на компактной территории городских поселений, иллюстрирует степень пространственной концентрации населения. Высокий процент городского населения показывает, что значительная часть населения находится в относительно тесных пространственных контактах. Доля городского населения служит показателем уровня «урбанизированности» территории.

Основные статистические показатели, приведенные выше и характеризующие урбанизированные территории, использовались в социально-экономических исследованиях второй половины 20 века [19]. При исследовании урбанизированных и плотно застроенных территорий выявлена постоянная пропорциональная зависимость между людностью городов и их площадью [70]:

$$A = L^{3/4}/c, \quad (2.1)$$

где A – площадь, км;

L – число жителей, человек;

C – const.

При этом с пространственной точки зрения главным для определения города является сочетание критериев плотности и его численности.

По плотности населения города значительно различаются между собой и их плотность, в свою очередь, резко, многократно отличается от прилегающих сельских территорий. Постоянную пропорциональную зависимость между плотностью и численностью населения установил S. Nordbeck: наименьшие по площади сельские поселения, наибольшие – города, их размеры примерно пропорциональны числу жителей [84]. Кроме того выявлено, что максимальная плотность населения в городах тесно связана с общим числом жителей [87].

Плотность населения используется не только при решении социально-экономических задач, при эколого-географическом картографировании она служит показателем демографического давления на окружающую среду. Предельное значение плотности населения определяет пространственные рамки, в которых наблюдается демографическое давление [39].

Таким образом, результаты социально-экономических исследований позволяют рассматривать величину плотности населения в качестве статистического показателя пространственной концентрации населения. Сложность применения этого показателя при картографировании ареалов концентрации населения заключается в установлении его количественной величины для определения границ ареалов концентрации населения.

2.2.4. Статистический анализ людности городов и плотности населения

Картографирование ареалов концентрации населения связано со сбором и обработкой большого объема данных. Сократить такой объем данных позволяет учет закономерностей размещения населения области – учет высокой концентрации населения вдоль транспортных магистралей. Опираясь на закономерности расселения, выделены зоны, осью которых служили полимагистралы. Выделенные зоны определили область сбора информации и уменьшили объем исходных данных.

Далее выполнена иерархия системы городских поселений в пределах зон путем деления городских поселений на составные, однотипные группы и анализ расселения городского населения на основе следующих показателей: численность населения в городах и поселках городского типа, площадь городского поселения, средняя плотность населения.

Целью данного анализа являлось определить людность «городов-центров» и установить участие других населенных пунктов в формировании ареалов концентрации населения.

В процессе анализа последовательно обрабатывались первоначально только 100-тысячные города и более, затем дополнительно учитывались >50-тысячные и соответственно >20 и >10-тысячные города (таблица 2.3, 2.4, 2.5). Таким образом, по мере понижения ценза людности городов увеличивалось количество поселений, участвующих в обработке данных. Для расчетов выбраны три направления полимагистралей с наиболее широким диапазоном населенных пунктов по численности жителей.

Последующий анализ показал, что если учитывать все городские поселения >10 тыс. жителей, то фактически будет учтено почти все городское население (до 96%) при значительных колебаниях плотности населения от 500 до 1500 чел./км². Такой разброс значений плотности осложняет выбор значения количественного критерия концентрации населения. Если ограничиться 50-тысячными городами и более, то будет охвачено до 87% городского населения при сравнительно

Таблица 2.3 – Направление Москва – Серпухов

Людность городов	Численность жителей населенных пунктов, человек	Плотность населения в основной зоне расселения, человек/км ²	Процент от общего числа жителей в зоне расселения, %
> 100 000	306 195	957	61
> 50 000	435 678	1361	87
> 20 000	468 009	1462	94
> 10 000	479 091	1497	96
Все поселения	499 999	1562	100

Таблица 2.4 – Направление Москва – Коломна

Людность городов	Численность жителей населенных пунктов, человек	Плотность населения в основной зоне расселения, человек/км ²	Процент от общего числа жителей в зоне расселения, %
> 100 000	411375	734	55
> 50 000	585 953	1046	78
> 20 000	647 051	1155	86
> 10 000	716 335	1279	95
Все поселения	751 513	1342	100

Таблица 2.5 – Направление Москва – Сергиев-Посад

Людность городов	Численность жителей населенных пунктов, человек	Плотность населения в основной зоне расселения, человек/км ²	Процент от общего числа жителей в зоне расселения, %
> 100 000	270473	867	57
> 50 000	369414	1184	78
> 20 000			
> 10 000	442992	1420	94
Все поселения	470375	1508	100

небольших колебаниях значений плотности от 1000 до 1500 чел./км². Эта группа городов наиболее представительна в Московской области. Если учитывать только города с числом жителей ≥ 100 тыс. жителей (в них проживает только 60%

городского населения), плотность населения в них изменяется от 750 до 1000 чел./км².

Отсюда, в качестве «городов-центров» концентрации населения для Московской области выбраны 50-тысячные города. В других регионах в зависимости от закономерностей расселения людность «городов-центров» будет меняться. Например, в Смоленской и Брянской областях это будут 20-тысячные города.

2.2.5. Изменение плотности населения в границах городов и на прилегающих территориях

Для установления предельного количественного значения плотности населения, определяющего границы ареалов концентрации населения, выполнен статистический анализ на примере зоны расселения Москва-Серпухов (рисунок 2.4). Людность городских поселений по выбранному направлению изменяется от 188 тыс. жителей в г. Подольск до 10 тыс. жителей (пгт Львовский). Все городские поселения расположены вдоль железнодорожной магистрали. В «городах-центрах» (≥ 50 тыс. жителей) проживает около 87% населения зоны Москва – Серпухов.

Усредненная ширина зоны расселения равна 4 км. Осью симметрии служит железнодорожная магистраль. Для учета плотности населения прилегающих сельских территорий выделены

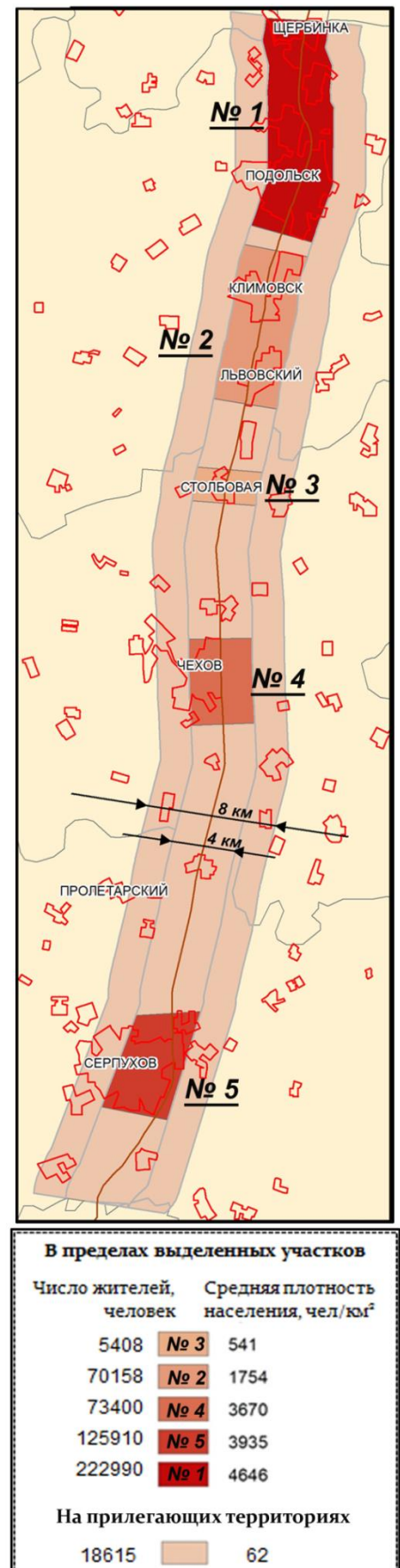


Рисунок 2.4 – Зона расселения вдоль магистрали Москва-Серпухов

дополнительные полосы с обеих сторон шириной по 2 км.

За «единицу» эксперимента принято «городское поселение» и его признаки: людность и площадь городских поселений, расстояние между соседними городскими поселениями и плотность населения. Сбор данных выполнен с учетом этих признаков.

Далее последовательно определено изменение значений плотности населения в пределах зоны расселения:

1. Измерив площадь населенных пунктов и используя данные Росстата [66] об их людности, определена плотность населения городских поселений внутри их муниципальных границ (таблица 2.6).

Таблица 2.6 – Распределение городских поселений по типу, числу жителей и плотности населения (в пределах зоны расселения)

	Количество населенных пунктов в зоне расселения	Число жителей, человек	% населения от общего числа жителей в зоне расселения	Средняя плотность населения в населенных пунктах, человек/км²
Города ≥50 тыс. жителей	4	435678	87	3688
10-50 тыс. жителей	2	43413	9	2928
Городские поселения <10 тыс. жителей	1	5408	1	983
Сельские территории	23	19561	4	32

Предварительная группировка населенных пунктов по числу жителей в пределах зоны Москва - Серпухов (таблица 2.6) показала, что население сосредоточено преимущественно в городах ≥50 тыс. жителей (87%). Города от 10 до 50 тыс. жителей малочисленны, но по плотности населения они близки к крупным городам (плотность населения определена в муниципальных границах поселений). Городские поселения <10 тыс. жителей с учетом числа их жителей и

плотности населения были исключены из дальнейшей обработки данных. Сельские территории, попавшие в зону, отличаются по плотности населения многократно (в 30 раз и выше) по сравнению с территориями городских поселений.

2. Далее решалась следующая задача: какую плотность населения создают близко расположенные поселения и насколько плотность этих участков зоны отличается от плотности населения в пределах муниципальных границ поселений. Для этого внутри зоны были выделены участки, в которых расстояние между городскими поселениями не превышает 3 км (расстояния между поселениями колеблются от 3 до 20 км). В зоне выделено 5 участков. Обработка данных выполнена по тем же показателям (таблица 2.7).

Таблица 2.7 – Распределение выделенных участков по типу, числу жителей и плотности населения (в пределах зоны)

№№ участков	Количество городских/сельских поселений	Число жителей, человек	Среднее расстояние между НП, км	Площадь, км ²	Средняя плотность населения, человек/км ²	Во сколько раз увеличилась плотность по участкам по сравнению с территориями, прилегающими к зоне
1	2/0	222990	3	48	4646	74,9
2	2/0	70158	3	40	1754	28,2
3	1/0	5408		10	541	8,7
4	1/0	73400		20	3670	58,6
5	1/0	125910		32	3935	63,5
Сельские территории -внутри зоны расселения	0/14	6194	2,5	150	41	
-за границей зоны расселения (в полосе по 2 км с каждой стороны)	0/22	18615	4	300	62	

Из таблицы 2.7 видно, что участки № 1, 4, 5 имеют плотность населения, близкую к плотности в границах крупных городов. Одновременно с этим, за пределами зоны плотность населения многократно уменьшается (на два порядка) и только в районе №3 (пгт. Столбовая) – на один порядок. Таким образом, только с учетом плотности населения прилегающих сельских территорий можно достоверно и полно выделить границы ареала концентрации населения.

3. Чтобы определить, насколько объективно и полно выделенная зона охватывает ареал концентрации населения, определена плотность населения на дополнительной прилегающей к зоне полосе шириной 2 км, где сосредоточены в основном сельские поселения.

Средняя плотность населения на дополнительных участках сельской территории $D_{сел}$ вычислялась двумя способами.

При вычислении первым способом по формуле (2.2) использовалась сумма жителей всех сельских поселений, находившихся в пределах дополнительных участков:

$$D_{сел} = \frac{\sum N_{сп}}{S_{доп}}, \quad (2.2)$$

где $N_{сп}$ – людность сельского поселения на дополнительном участке, человек;

$S_{доп}$ – площадь дополнительного участка, км².

Обработка данных выполнена по муниципальным районам и представлена в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Определение средней плотности населения на сельских участках (первый способ)

Дополнительные участки сельских территорий	Количество сельских населенных пунктов	Число жителей, человек	Среднее расстояние между поселениями, км	Площадь участка, км ²	Средняя плотность, человек/км ²
1 – Подольский	5	8779	3	109	81
2 – Чеховский	7	4367	4	104	42
3 - Серпуховской	10	5469	5	88	62

Средняя плотность населения полностью совпадает на Чеховском участке и немного увеличивается на Подольском и Серпуховском, указывая на «размытость» границ ареала концентрации.

При определении плотности сельского населения $D_{сел}$ вторым способом по формуле (2.3) используются данные Росстата о числе жителей административного района и определенное в таблице 2.7 число жителей выделенной зоны расселения:

$$D_{сел} = \frac{(N_p - N_3)}{(S_p - S_3)}, \quad (2.3)$$

где N_p – число жителей муниципального района, человек;

N_3 – число жителей выделенной зоны, человек;

S_p – площадь муниципального района, км²;

S_3 – площадь выделенной зоны, км².

Полученная плотность сельского населения является средней для всего муниципального района (таблица 2.9).

Таблица 2.9 – Определение средней плотности населения на сельских участках (второй способ)

Дополнительные участки сельских территорий	Число жителей района, человек	Число жителей зоны, человек	Площадь района, км ²	Площадь зоны, км ²	Средняя плотность участка, чел/км ²
1 – Подольский	353997 (82488 без ГП областного подчинения)	282591(ГП)+ 10557(СНП)= 293148	346,64	105	60849/241,64= 252
2 – Чеховский	115301	3761(СНП)+ 78808(ГП)= 82569	865,76	103	32732/762,76= 43
3 - Серпуховской	158273 (35173 без ГП областного подчинения)	5243(СНП)+ 123100(ГП)= 124052	1048,1	93	34221/955,1= 36

Примечания –

1. ГП – городские поселения,

2. СНП – сельские населенные пункты.

Второй способ учитывает все сельское население района. На Чеховском участке получена плотность населения, близкая к первому способу. Чеховский участок концентрации населения точно соответствует границам г. Чехов. Серпуховской участок, несмотря на «размытость» границ, резко отличается по плотности населения от остальной территории района. Подольский участок, несмотря на присутствие в районе городских поселений, имеет среднюю плотность в 18,4 раза большую, чем на остальной территории района, т.е. ареал концентрации населения на Подольском участке не может ограничиваться муниципальными границами города.

Выполненные статистический анализ показывает, что плотность населения на сельских территориях в несколько раз меньше плотности населения городских территорий, значения которой выше 500 человек/км². Значение показателя концентрации населения, равное 500 человек/км², выбрано в качестве статистического критерия для ареалов концентрации населения для Московской области.

2.3. Завершающий этап моделирования

Результаты географического и статистического анализа позволили установить:

- Конфигурацию обработки данных, ограничиваясь основными зонами расселения вдоль магистральных направлений дорог;
- Людность «городов-центров» ареалов концентрации населения, равную ≥ 50 тыс. жителей;
- Плотность населения в качестве статистического показателя концентрации населения, позволяющего сравнивать результаты картографирования;
- Количественный критерий показателя для картографирования ареалов концентрации населения, равный 500 чел./км².

Далее моделирование выполняется на основе изменений средних количественных значений одного признака системы расселения. Такой подход ограничивает число признаков и упрощает процесс моделирования, при котором ареалы концентрации населения и их границы определяют приблизительные, осредненные признаки расселения [55].

На завершающем этапе модель пространственной концентрации населения для целей картографирования приобретает вид, приведенный на рисунке 2.5. При моделировании за элементарную неделимую часть системы расселения принимается населенный пункт. Эта элементарная часть позволяет дифференцировать систему расселения на три уровня пространственной концентрации населения, отличающихся количественными и качественными характеристиками: основные зоны расселения, локальные группы в выделенных зонах и «города-центры», в пределах которых на основе количественного критерия плотности населения определяются границы ареалов концентрации населения. Данный критерий, связывая семантические и пространственные данные, позволяет выполнить картографирование концентрации населения с использованием различных источников информации.

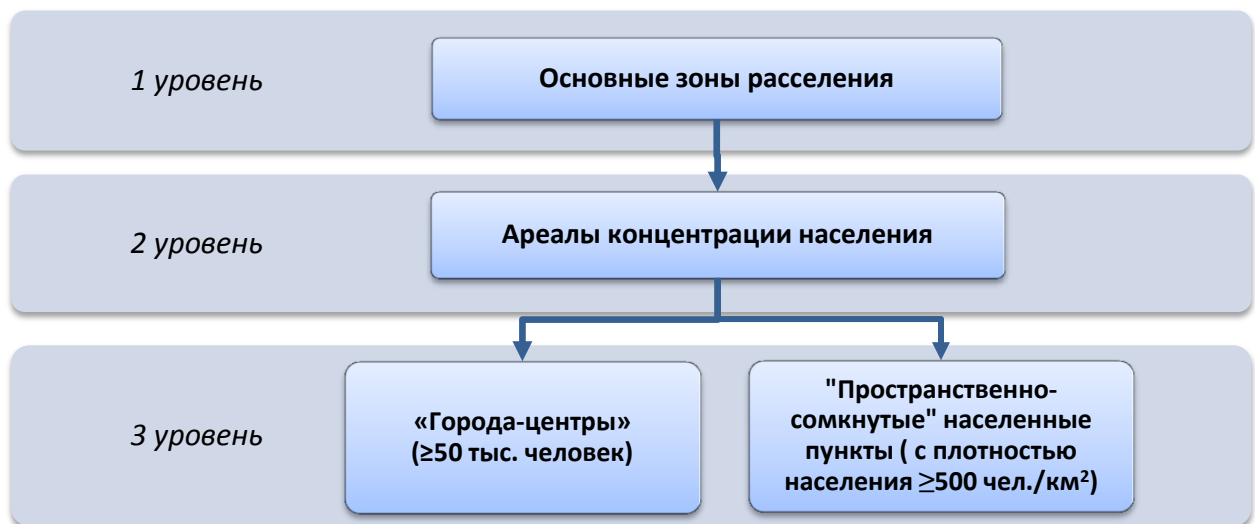


Рисунок 2 – Модель пространственной концентрации населения (на примере Московской области)

Основу ареала концентрации населения составляют «пространственно-сомкнутые» населенные пункты, образующие территории с высокой плотностью населения. В отдельных случаях к ареалам концентрации населения следует относить населенные пункты, близко расположенные и тяготеющие к «пространственно-сомкнутым» населенным пунктам.

Выделенные уровни уменьшают неопределенность в системе расселения и обеспечивают последовательное решение задачи [38]. Но при выделении уровней сложности допустимая степень упрощения нижнего уровня не должна повлиять на достоверность отображения концентрации населения на исследуемой территории.

Выводы:

1. Моделирование пространственной концентрации населения выполнено в два этапа.
1-й этап – начальный, определивший основные зоны концентрации населения.
2-й этап – завершающий. С учетом выполненного анализа детализированы уровни, которые уменьшили неопределенность и обеспечили последовательность дальнейшего картографирования.
2. Предложенная модель подтверждается анализом системы расселения (на примере Московской области), что доказывает ее адекватность пространственной концентрации населения Московской области. Поэтому далее она положена в основу методики картографирования ареалов концентрации населения.
3. С учетом постоянной пропорциональной зависимости между людностью городов и их площадью и полученных результатов анализа в качестве статистического показателя пространственной концентрации населения выбрана плотность населения.

3. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ АРЕАЛОВ КОНЦЕНТРАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ

На основе компонентов разработанной в главе 2 модели концентрации населения выполняется разработка методики картографирования ареалов концентрации населения. Для проверки достоверности полученных результатов этого выбраны методы и методические подходы, которые ранее дали положительные результаты при картографировании. Представление расселения реализуется на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), статистических, картографических и текстовых данных.

Схема использования при картографировании данных приведена на рисунке 3.1.

Геометрическими признаками являются наборы координат точек, цепочки которых при изображении образуют замкнутые линии, формируя границы ареалов. Расстояния между населенными пунктами определяют принадлежность поселения к ареалам соответствующей концентрации населения.

Семантические данные организованы на основе адреса. Критерием, на основе которого выполняются иерархия концентрации населения, служат средние значения плотности населения.

Основой картографирования ареалов концентрации населения служат следующие концептуальные положения (глава 2):

- под ареалами концентрации населения понимаются «пространственно-замкнутые» населенные пункты с большой плотностью населения;
- определение границ ареалов выполняется на основе предельного значения средней плотности населения, равного 500 человек/км²;
- людность «городов-центров» концентрации населения Московской области составляет ≥ 50 тыс. жителей. В некоторых случаях используются городские поселения ≥ 10 тыс. жителей.

Уровень требуемой генерализации обуславливает тип данных (объектные или поверхностные), используемых при картографировании ареалов концентрации населения.

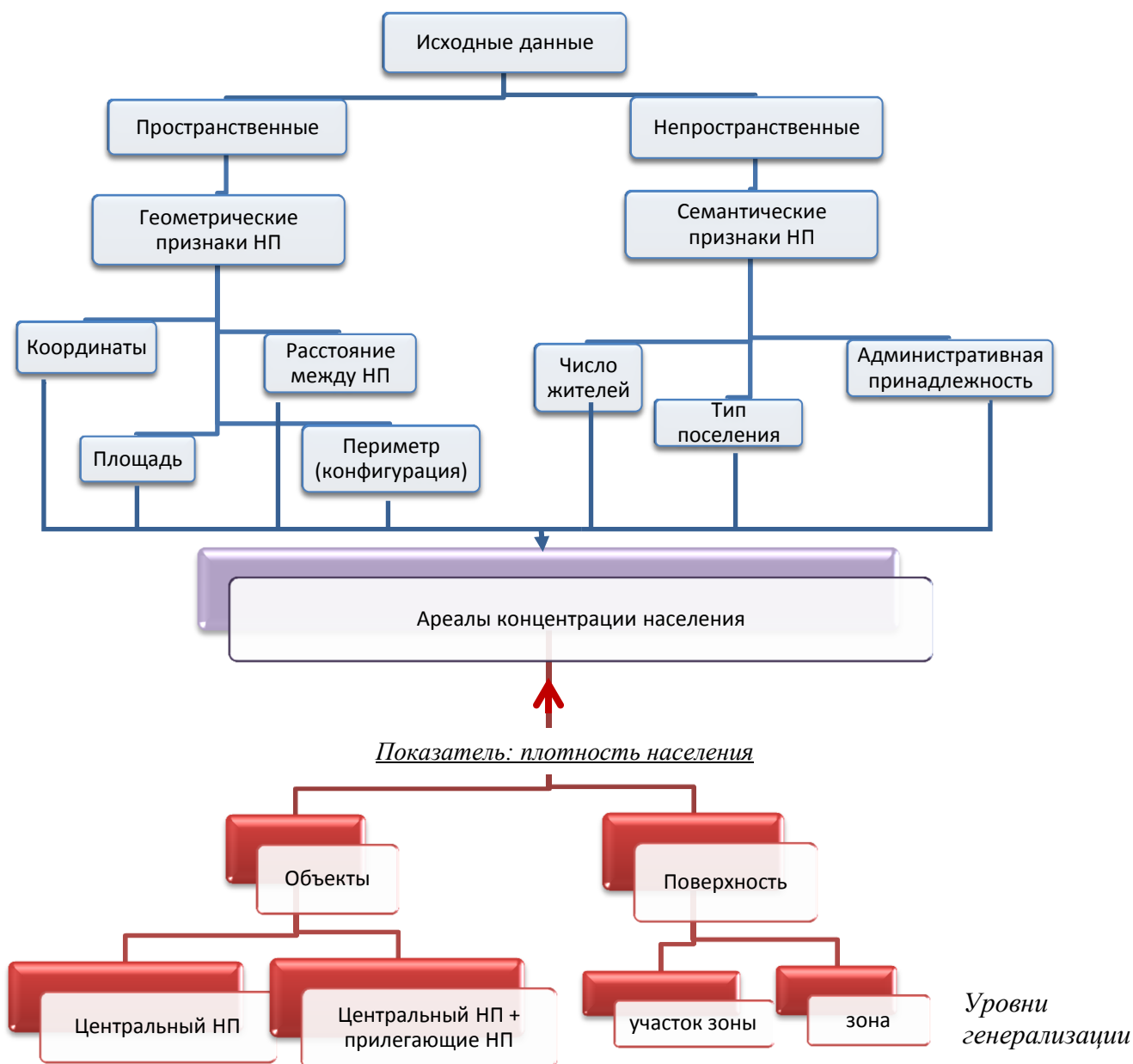


Рисунок 3.1 – Схема использования данных при картографировании концентрации населения

Примечание – НП – населенный пункт.

3.1. Разработка методики картографирования ареалов концентрации населения с использованием данных со структурой в виде регулярной сетки

3.1.1. Описание используемых данных

Данные ночной космической съемки DMSP OLS

Ночная космическая съемка (НКС) является нетрадиционным материалом для исследования систем населенных пунктов. На снимках с военных метеоспутников США DMSP четко видны огни городов, и рисунок городских огней отображает пространственное размещение населения.

Материалы космической съемки DMSP OLS (Operational Linescan System of Defense Meteorological Satellite Program) являются уникальным глобальным отражением деятельности человека. Преимуществом данных DMSP OLS является время наблюдения, пространственное разрешение, глобальный охват и доступность на значительном временном промежутке. Большинство других спутниковых данных получены в течение дневного освещения поверхности Земли, где регистрируемый сигнал является отраженным солнечным излучением, испускаемым тепловым излучением или отраженным излучением от активных датчиков. Ночное спутниковое изображение формируется фиксированием излучения от молний, огней и, что наиболее важно, источников человеческой деятельности, таких как городские огни, огни рыболовецких судов и огни газовых факелов.

Платформа DMSP OLS была первоначально разработана как метеорологический спутник для Военно-воздушных сил США. Аппаратура OLS используется для мониторинга глобального распределения облаков и определения температуры верхней границы облаков дважды в день. Система DMSP OLS состоит из двух спутников на солнечно-синхронных орбитах с высотой 865 км над поверхностью Земли. Один спутник производит съемку поверхности Земли во время рассвета и заката, второй - в полдень и полночь. Аппаратура OLS состоит из двух сенсоров и фотоумножителя (PMT). Сенсор видимого спектра

регистрирует излучение в диапазоне 0,4 – 1,1 мкм, датчик инфракрасной зоны спектра регистрирует излучение в диапазоне 10,0 – 13,4 мкм [75].

Фотоумножитель PMT регистрирует излучение в диапазоне 0,47 – 0,95 мкм и используется для усиления регистрируемых излучений во время ночной съемки. Благодаря PMT, аппаратура OLS фиксирует интенсивность излучения, равную 10^{-9} мВт/(см²ср*мкм), что на четыре порядка больше, чем у подобных сенсоров (OLS, снимающая в дневное время, NOAA-AVHRR, Landsat Thematic Mapper, NASA-AVIRIS) [74].

Аппаратура дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) регистрирует интенсивность собственного излучения Земли в ночное время, во время чего измеряется спектральная плотность энергетической яркости (мВт/(см²ср*мкм)). Под яркостью понимаем характеристику светящихся тел, которая представляет собой отношение силы света к элементарной площадке снимка (пикселя). Получаемые значения спектральной плотности энергетической яркости переводятся в дискретные безразмерные цифровые значения, называемые коэффициентами спектральной яркости. Спутниковый датчик регистрирует определенную часть электромагнитного спектра, а получаемые им спектральные яркости занимают часть радиометрического битового диапазона [32].

Полоса захвата стандартного кадра изображения DMSP OLS составляет 3 000 км. Пространственное разрешение в центре кадра (в надире) составляет 0,55 км, по краям кадра – 2,7 км.

Комбинированием снимков создается производный тематический продукт – карта ночных огней. Ее отличием от фотокарты является отсутствие на изображении картографической нагрузки. Исходные снимки проходят не только геометрическую коррекцию (трансформирование в картографическую проекцию), но и радиометрическую. В результате произведенных яркостных преобразований при создании карты ночных огней относительные значения спектральной яркости – Digital Number (DN) – лежат в диапазоне от 0 до 63 в отличие от стандартных снимков с диапазоном от 0 до 255.

В соответствии с первоисточником [96] эти данные называются «Night Light Composite» – в переводе «композит ночных огней». Для связи с русско-язычными терминами введём термин «композитная карта» DMSP OLS (КК DMSP OLS). По определению, данному в словаре географических терминов, «композитная карта – тип карты, при составлении которой объединяется информация, взятая с других карт, в целях сравнения разных наборов данных» [81].

Для получения ежегодной КК DMSP OLS отбираются безоблачные части изображений с лунной освещенностью менее 50%. На них с помощью адаптивного фильтра выделяются постоянные в течение года огни и определяются частоты повторяемости огней с порогом $>10\%$. Данные, полученные сенсором в инфракрасной зоне спектра, позволяют детектировать и удалять облачные участки. Временно нестабильные огни (молнии, пожары и огни рыболовецких судов) идентифицируются и удаляются из КК.

В результате обработки создаются карты, отражающие постоянное световое излучение на всей поверхности Земли, из которых исключены непостоянные огни. Карты выполнены в географической проекции Меркатора с размером пиксела 30". Одна из основных проблем при использовании информации, содержащейся в данных ДЗЗ – это краевые искажения на снимках, источниками которых являются геометрические принципы спутниковой съемки [32]. При построении мозаики эти искажения устраняются за счет использования большого массива информации на одну территорию и трансформирования в картографическую проекцию с изменением размера пикселя (пространственное разрешение КК около 1 км).

Данные, получаемые аппаратурой DMSP OLS, имеют широкое применение для решения различных социально-экономических и научных задач:

- пространственное моделирование социально-экономических изменений, таких как плотность населения и экономическая активность;

- измерение плотности инфраструктуры для использования в гидрологическом моделировании, прогноз наводнений, оценка потерь сельскохозяйственных земель, динамика углеродного обмена;
- обнаружение крупных сбоев в энергетическом обеспечении;
- инвентаризация больших рыболовецких судов;
- оценка искусственного освещения ночного неба и его влияние на видимость космических процессов и явлений;
- вычисление антропогенной эмиссии в атмосфере [77].

При изучении систем населенных пунктов и оценке перспектив роста численности населения эти данные имеют важное преимущество в том, что покрывают всю поверхность Земли. Данные НКС имеют большой потенциал для отображения и контроля разнообразной деятельности населения, включая распределение и рост численности населения, степень и уровни урбанизации, определение неосвоенных территорий, потребление электроэнергии и эмиссию CO_2 . Данные съемки DMSP OLS показывают изменения в освещенности со временем и области с наиболее значительными негативными результатами светового загрязнения.

Относительно грубое спектральное, пространственное и временное разрешение получаемых КК оказывается преимуществом, а не недостатком для этих направлений исследований. Проведенные исследования показали, что НКС с лучшим пространственным разрешением имеет худшую корреляцию с данными численности населения, чем КК DMSP OLS. Для сравнения были взяты снимки с пространственным разрешением 90 м на территорию г. Гонк-Конг, полученные с борта Международной космической станции [85]. Бóльшая подробность в изображении освещенных территорий приводит к тому, что происходит ложная оценка численности населения. Например, пригороды, характеризующиеся малым числом проживающих, но большим количеством хорошо освещенных промышленных зон, имеют на ночных снимках бóльшую яркость. В противоположность, на КК DMSP OLS автоматически генерализованы лишние

подробности, вследствие чего эти материалы являются наиболее подходящими для изучения целых населенных пунктов и систем поселений.

НКС может использоваться в качестве дополнительного источника информации при анализе сложной комбинации плотности населения и уровня экономического развития территории.

Другим значительным преимуществом КК DMSP OLS является их доступность на протяжении широкого временного ряда (с 1992 по настоящее время). Это применяется для мониторинга изменений в расселении населения. Анализ яркостных изменений за прошедший временной промежуток показал, что для большей части территорий зафиксировано существенное увеличение площадей участков с ночными огнями. Такие продукты анализа данных временного ряда могут быть использованы для отображения, оценки и измерения роста урбанизации.

Существует несколько проблем с данными НКС DMSP OLS. Во-первых, из-за особенностей аппаратуры при регистрации излучения слишком сильно переоценивается интенсивность излучения. Грубое пространственное разрешение и высокая чувствительность датчика приводят к тому, что может регистрироваться излучение от источников, которые по размеру меньше пикселя.

Во-вторых, у пикселей, имеющих на КК значение яркости более 0, возможно нет источника света на местности. Это происходит из-за атмосферного рассеивания от источников, находящихся на смежных пикселях. Высокая чувствительность датчика и низкий динамический диапазон приводит к такому эффекту, называемому «сверхжаром». Это часто имеет место на ярко освещенных городских территориях, где достигнуто максимальное значение DN, равное 63. Вследствие этого, освещенные ареалы населенных пунктов преувеличивают реальный размер города. Хорошо заметен такой эффект для городов, расположенных на побережье – акватории, прилегающие к населенному пункту, показываются как освещенные [79].

База данных численности населения LandScan

Проект «Население Мира» является частью глобальной базы данных населения LandScan, разработанной Окриджской национальной лабораторией по атомной энергетике Министерства энергетики США (Oak Ridge National Laboratory).

LandScan содержит данные о количестве населения с наилучшим на сегодняшний день пространственным разрешением (около 1 км). Алгоритм LandScan использует пространственные данные, технологии анализа изображений и многовариантный дазиметрический моделирующий подход, позволяющий распределить численность населения, полученную по данным переписи, в пределах границ административных единиц. Модель распределения населения LandScan разработана таким образом, чтобы учитывать состояние исходных данных и географические особенности каждой отдельной страны и области.

Значение ячейки представляет собой число человек, находящихся в данной ячейке в дневное время с учетом ежедневных перемещений жителей и особенностей коллективных передвижений [71]. Особенность модели LandScan в том, что она отражает не статистическое число жителей, которые зарегистрированы по месту жительства, а реальное количество человек, находящихся на данном участке территории в дневное «активное» время. Размер ячейки составляет 30"x30" (~ 1 км на экваторе). База данных обновляется ежегодно, используя новые пространственные и статистические данные в алгоритмах распределения.

Методика создания данных Landscan основана на «многослойном» пространственном моделировании. Обычно при картографировании базовый слой данных преобразуется в поверхность, а дополнительный слой данных содержит весовые значения уровня плотности населения для каждой ячейки поверхности. Значения плотности распределяются между ячейками поверхности в соответствии с весами из дополнительного слоя [82].

В модели LandScan обычный метод усовершенствован использованием нескольких дополнительных слоев. Процесс основывается на использовании

числа жителей для административных единиц 1 порядка, определенных по данным переписи. В качестве дополнительных данных выступают: информация о типах земного покрова, дорогах, рельефе местности, границы населенных пунктов, а также данные ДЗЗ высокого разрешения. Эти параметры являются ключевыми индикаторами распространения населения. Основываясь на пространственных данных и социально-экономической оценке территории, для ячеек устанавливается весовое значение возможного появления людей в течение дня. Коэффициенты для всех территорий основаны на следующих основных факторах [71]:

- дороги (оценивается расстояние от ячейки до дорог);
- рельеф (оцениваются типы рельефа по благоприятности для проживания);
- тип подстилающей поверхности (оценивается тип поверхности);
- ночная освещенность (оценивается частота появления огней).

Внутри каждой страны модель распространения населения вычисляет коэффициент вероятности для каждой ячейки и применяет коэффициент для общего числа жителей, которое используется как контрольная сумма для соответствующего региона. Общее число жителей распределяется между входящими ячейками пропорционально вычисленным коэффициентам. Полученное число жителей равно числу людей, находящихся в данной ячейке в дневное время.

Ошибки появляются в результате использования большого объема несоизмеримых пространственных данных. Полученные данные о растительном покрове часто не отражают такие городские свойства, как плотность застройки или высота зданий, которые могут быть получены визуальным дешифрированием данных ДДЗ высокого разрешения. Методология LandScan включает ручной процесс проверки для улучшения пространственной точности и относительной величины распределения населения. Аналитики идентифицируют очевидные ошибки распределения населения и создают дополнительный слой, содержащий

поправки в вероятностный коэффициент для исправления или смягчения отклонения основных данных. Большинство исправлений вносится на территории городов и пригородов.

Полученные данные о распределении населения используются в научных исследованиях, но главным применением базы данных LandScan является оценка количества населения при различных катастрофах и чрезвычайных ситуациях, в том числе при:

- аварийном реагировании на стихийные бедствия, ядерные, биологические и химические аварии, террористические акты;
- планировании гуманитарной помощи при длительных бедствиях;
- защите гражданского населения во время военных конфликтов;
- оценке населения, находящегося в зоне риска при повышении уровня Мирового океана;
- других экологических и демографических проектах [71].

Примером использования базы данных LandScan может служить ее использование при планировании помощи и восстановительных работах после землетрясения 2003 года, уничтожившего иранский город Бам, или цунами в Юго-восточной Азии в 2004 году [18].

Глобальная карта транспортной доступности «A global map of Accessibility»

Данная карта подготовлена Объединенным Исследовательским Центром Европейской комиссии для Доклада Всемирного Банка о мировом развитии «Новый взгляд на экономическую географию» [44].

При разработке данного продукта было условлено доступность измерять временем поездки до «необходимого объекта» с учетом сухопутных или водных путей сообщения [93]. «Объектами» в данном случае являются все населенные пункты с численностью жителей более 50 тыс. человек. Доступность определена с помощью алгоритма, основанного на оценке расстояния до «объекта» и рассчитывающего временные затраты на поездку между двумя пунктами на

регулярной геометрической сетке. Каждая ячейка содержит значение – время в минутах, которое затрачивается на поездку из центра данной ячейки до центра ближайшего населенного пункта численностью жителей > 50 тыс. человек. Размер ячейки составляет $30'' \times 30''$ (~ 1 км на экваторе) [94].

Модель определения времени поездки учитывает различные факторы, влияющие на скорость передвижения и определяющие временную доступность объекта в пространстве. Для каждого компонента географической среды принята средняя скорость перемещения [94]:

1. Автомобильные дороги. Автомагистрали – 120 км/ч (0,5 мин на км), крупные автодороги – 60 км/ч (1 мин на 1 км), полевые дороги – 10 км/ч (6 мин на 1 км).
2. Железные дороги – 40 км/ч (1,5 мин на 1 км).
3. Судоходные реки – 20 км/ч (3 мин на 1 км).
4. Крупные внутренние водные объекты – 20 км/ч (3 мин на 1 км).
5. Морские пути сообщения. Трассы в океане – 40 км/ч (1,5 мин на 1 км), открытые моря – 20 км/ч (3 мин на 1 км).
6. Границы государств – от 60 км/ч (1 мин на 1 км) до 0,25 км/ч (240 мин на 1 км).
7. Типы подстилающей поверхности (22 типа) – от 60 мин на 1 км (широколиственные вечнозеленые леса) до 2 мин на 1 км (городские территории).
8. Городские территории – 30 км/ч (2 мин на 1 км).
9. Высота над уровнем моря. Для территорий, находящихся ниже 2000 м над уровнем моря, значения высоты не влияют на скорость передвижения. Для территорий, находящихся выше 2000 м над уровнем моря, фактор влияния высоты рассчитывается по следующей формуле (3.1):

$$f = 0.15e^{0.0007E}, \quad (3.1)$$
 где E – высота, м.
10. Уклон поверхности земли – скорость рассчитывается по формуле, зависящей от угла уклона земной поверхности.

Данная карта транспортной доступности, наряду с данными о плотности и численности населения, послужила для вычисления Индекса агломеративности – альтернативной меры городской концентрации [95].

3.1.2. Использование данных ночной космической съемки для характеристики систем расселения населения

Изменения последних десятилетий в глобальном распределении населения возобновляют интерес к пониманию формы, структуры и роста городских территорий. Комплексное использование данных ДЗЗ, ГИС и теоретической городской географии способствует пониманию многих особенностей и процессов городской среды. Данные ДЗЗ никогда не будут единственным источником надежной информации о городской среде, однако их использование позволяет получить важные сведения, недоступные наземным методам.

Данные ДЗЗ обладают уникальными преимуществами большой обзорности, непрерывности изображения, пространственной однородности информации и ее генерализованности, которые позволяют выделить социально-экономические территориальные системы различного масштаба пространственно-целостными и взаимосвязанными [33].

Данные ДЗЗ различного пространственного, спектрального и временного разрешения используются для изучения городской/пригородной инфраструктуры и социально-экономических аспектов территории:

- землепользование и типы подстилающей поверхности,
- здания и имущественная инфраструктура,
- транспортная инфраструктура,
- сфера обслуживания,
- социально-экономические характеристики,
- энергопотребление,
- метеорологическое обеспечение,
- оценка экологической ситуации,

– чрезвычайные ситуации [80].

Использование данных ДЗЗ для изучения агломераций, крупнейших городов, «срастающихся населенных пунктов» позволяет решать многие задачи, в частности выделение систем населенных пунктов [37].

Особое место среди данных ДЗЗ занимает ночная космическая съемка – уникальный источник информации о человеческой активности, которая может быть измерена из космоса. Данные НКС позволяют точно, экономически выгодно и быстро картографировать глобальное распределение и плотность населения развитых территорий. Широкое использование наружного освещения – относительно недавнее явление, которое является признаком современного развития общества и предоставляет уникальную возможность идентифицировать из космоса присутствие и результаты человеческой деятельности [75].

Данные ДЗЗ, полученные в дневное время, регистрируют прежде всего отраженное солнечное излучение, большая часть которого не связана с распространением или деятельностью человека. Напротив, большая часть излучения, регистрируемого ночью, вызвана человеческой деятельностью. В отличие от других видов данных ДЗЗ, оно дифференцирует территории только по одному признаку – яркости. В ночное время этот признак характеризует динамическую ситуацию поля яркости, разные уровни которого соответствуют расселению населения. Отображение на ночных снимках только объектов антропогенного характера решает важный вопрос картографической генерализации – отбора объектов, обычно в незначительной степени присущего космической информации [16].

Одним из примеров данных ночной космической съемки являются КК, полученные на основе данных НКС DMSP OLS. Степень освещенности территории, зафиксированная НКС, является удивительно точным индикатором распределения населения по поверхности Земли. «Освещенные ареалы» КК DMSP OLS отображают концентрацию 77% всего населения и 92% городского населения России (80% для США [90]), что соответствует фактическому

размещению населения и позволяет использовать данные DMSP OLS для идентификации городских типов подстилающей поверхности.

Исследования, выполненные зарубежными специалистами, показывают высокие значения корреляции между данными ночной съемки и плотностью населения для различных территорий: весь мир [72], [73], [76], США [89], [90], [91] и Китай [83], [69].

Сравнение разновременных ночных снимков DMSP OLS

Одним из огромных преимуществ данных DMSP OLS является их доступность в широком временном ряду (с 1990 по настоящее время). Это позволяет использовать их для обнаружения изменений распределения населения. За истекший период произошли значительные перемены в России, и, как следствие, в существующей системе населенных пунктов. Появились новые населенные пункты, преимущественно связанные с появлением новых предприятий, в других выросла площадь и численность населения, а третьи, наоборот, пришли в упадок.

Первый этап анализа динамики степени освещенности – это оценка изменений числа пикселей с одинаковыми значениями яркости на изображениях за разные даты. Такая оценка выполняется с помощью анализа гистограмм. Приведенные ниже гистограммы за выборочные даты показывают общую тенденцию увеличения интенсивности освещенности в период с 1992 по 2010 (рисунок 3.2). Если рассматривать диапазон яркостей по частям, то следует отметить, что в отрезке с минимальными значениями яркости до 2004 года происходило увеличение количества пикселей, что указывает на появление освещения на неиспользуемых ранее территориях. К 2010 году уменьшилось количество пикселей с минимальными значениями яркости и значительно увеличилось число пикселей со средними и большими значениями, что произошло в результате увеличения интенсивности освещения территорий. Вид гистограмм показывает, что на всем промежутке времени происходило постепенное увеличение освещенности территорий.

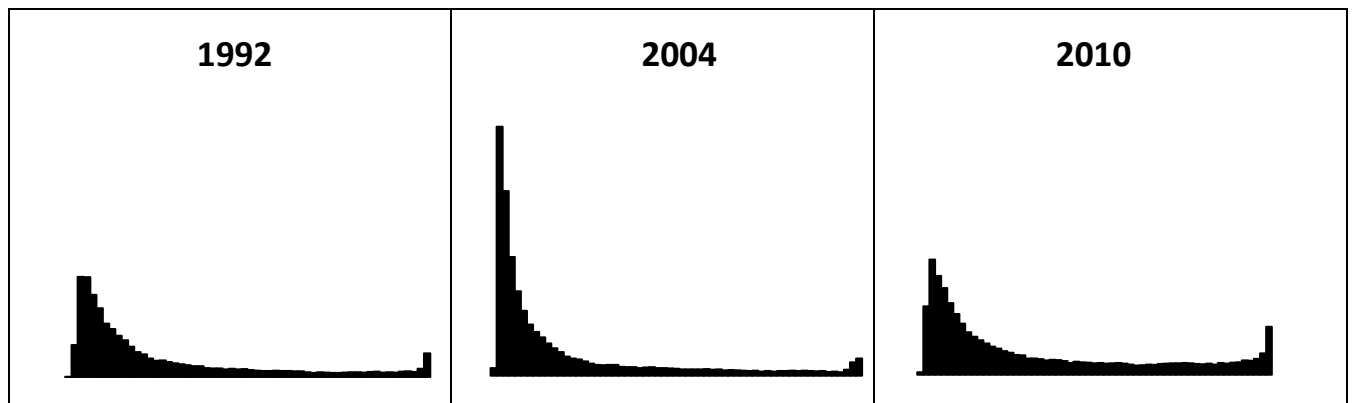


Рисунок 3.2 – Гистограммы яркости изображений DMSP OLS
(Московская область)

Анализ гистограмм дает лишь общую количественную оценку изменений степени освещенности, не отражая пространственную локализацию изменений. Пространственные изменения степени освещенности определены, вычислив разницу между значениями яркости на изображениях, взятых за две даты. На неизменившихся участках разность значений яркости близка к нулю, а на изменившихся – может иметь как положительные, так и отрицательные значения.

Положительные значения разности соответствуют участкам, на которых освещение увеличилось, отрицательные значения - заброшенным территориям. Чем больше модуль разности, тем больше интенсивность изменений. Значения, близкие к 0, имеют участки, на которых не было изменений: это либо незастроенная территория (леса, поля и т.д.), либо «старая неизменная застройка». Чтобы при формировании файла разности эти объекты имели разные значения, введены дополнительные условия в формулу разности изображений.

Введем обозначения:

b_1 – значения яркости пикселей раннего снимка,

b_2 – значения яркости пикселей позднего снимка,

b_3 – абсолютная разность яркостей.

Если разность b_3 равна 0 и пиксель не имел яркости ни на одном из двух снимков, то присвоим ему значение a_1 , выходящее за пределы диапазона возможных значений простой абсолютной разности. Если b_3 равно 0, но на обоих снимках эта территория имеет освещение, то присвоим пикселю другое значение

a_2 , тоже вне диапазона возможных значений b_3 . Наличие неизменившегося освещения определим условием, например, $b_1 \geq 56$, т. е. на обоих разновременных снимках это был пиксель с высокой яркостью. Поставить же здесь условие $b_1=63$ будет не совсем правильно, поскольку необходимо, чтобы не только территории с максимальным значением яркости попали в этот класс.

Логическая формула расчета разности принимает вид (3.2):

$$b_3' = ((b_1 \text{ ne } b_2) * (b_3) \text{ or } ((b_1 \text{ eq } b_2) \text{ and } (b_1 \text{ eq } 0)) * a_1 \text{ or } ((b_1 \text{ eq } b_2) \text{ and } (b_1 \text{ ge } 56)) * a_2, \quad (3.2)$$

где b_1 – значение яркости пикселей раннего снимка, DN;

b_2 – значения яркости пикселей позднего снимка, DN;

b_3 – абсолютное значение разности яркостей, DN;

a_1, a_2 – постоянные параметры;

условные операторы: ne – не равно (not equal);

eq – равно (equal);

ge – больше либо равно (greater or equal);

or – или;

and – и.

Поскольку диапазон возможных значений простой абсолютной разности равен $-63 \div +63$, то значения a_1 и a_2 можно установить равными $a_1 = -70$ (неосвещенная территория на обоих снимках), $a_2 = +73$ (неизменившееся освещение). Таким образом, принудительно определены эти случаи в виде значений, выходящих за пределы всех возможных значений разности.

Сравнение яркости выполнено на примере снимков за 1992 и 2010 гг. (рисунок 3.3). Для наглядности результат вычитания представлен в цветовой шкале. Для этого выделены следующие классы объектов:

I. Освещенные участки, которые появились в 2010 г., имеют значения разности близкие к максимальным положительным. Пусть этот класс объектов имеет значения разности от +55 до +63. Для наглядности при окраске этот интервал разбит на два: [55; 59] и [60; 63] и показан оттенками желтого цвета.

II. Освещенные участки, которые исчезли к 2010 г., имеют значения разности близкие к максимальным отрицательным. Пусть этот класс объектов имеет значения разности от -60 до -46. Для наглядности при окраске этот интервал разбит на два: [-60; -54] и [-53; -46] и показан оттенками синего цвета.

III. Объекты, яркость которых не изменилась:

- отсутствие освещения на протяжении всего периода. При вычислении разности принудительно определено, что такие объекты будут иметь значения разности на 10 меньше минимального значения разности (в данном случае -70). Такие территории показаны серым цветом.

- интенсивное освещение на протяжении всего периода. При вычислении разности принудительно определено, что такие объекты будут иметь значения разности на 10 больше максимального значения разности (в данном случае 73). Такие территории показаны черным цветом.

IV. Территории, яркость на которых изменилась очень не значительно, имеют значения разности, близкие к 0. Они выделены в отдельный интервал [-2; 1] и окрашены в темно-серый цвет.

V. Территории, яркость на которых уменьшилась с 1992 по 2010 год, имеют отрицательные значения разности (от -45 до -3). Для наглядности при окраске этот интервал разбит на пять: [-45; -31], [-30; -18], [-17; -11], [-10; -6], [-5; -3], и окрашен в оттенки фиолетового цвета (чем сильнее изменения, тем темнее оттенок).

VI. Территории, яркость на которых увеличилась с 1992 по 2010 год, имеют положительные значения разности (от 2 до 54). Для наглядности при окраске этот интервал разбит на семь: [2; 5], [6; 8], [9; 18], [19; 26], [27; 37], [38; 47], [48; 54], и окрашен в оттенки пурпурного цвета (чем сильнее изменения, тем темнее оттенок).

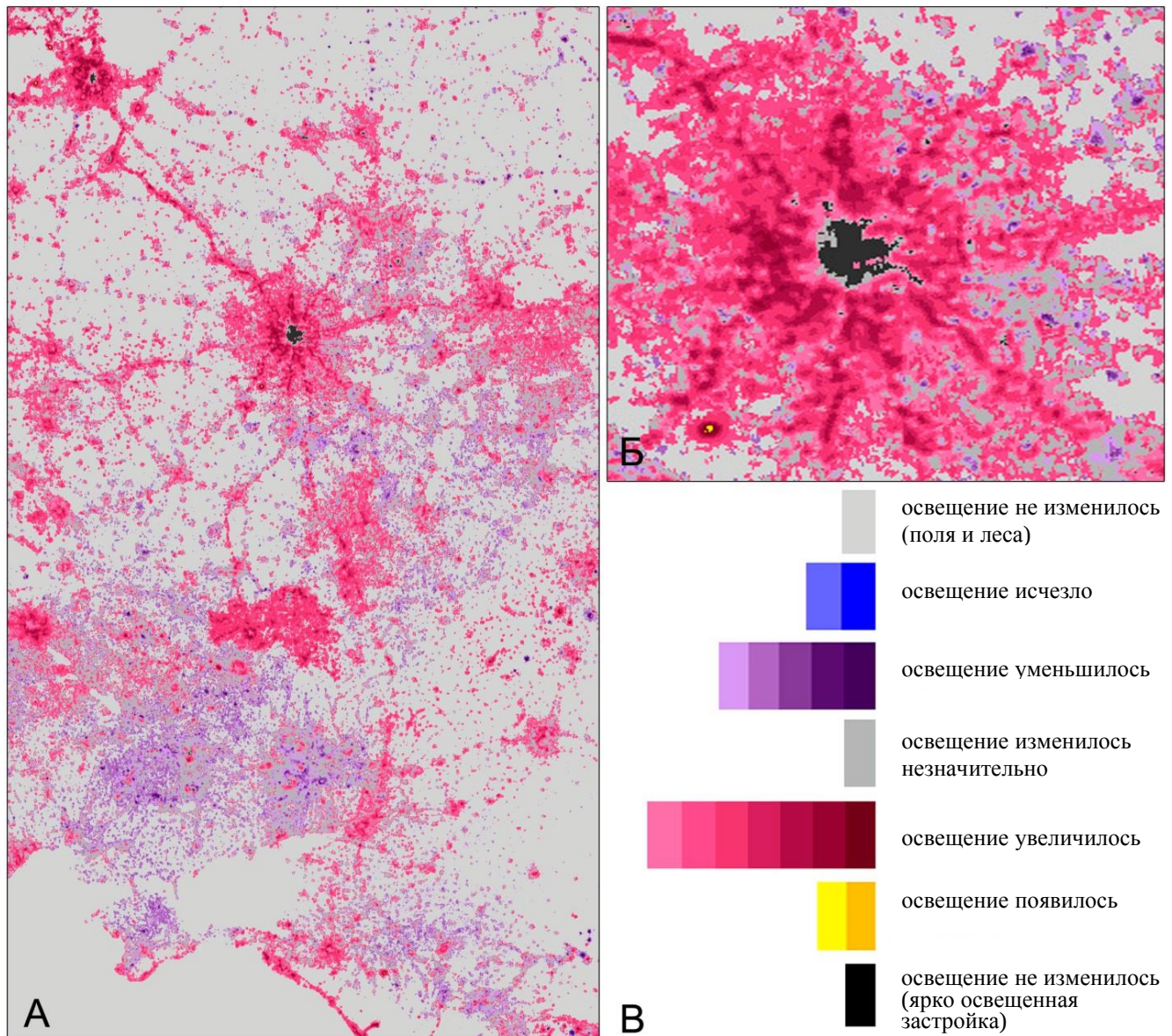


Рисунок 3.3 – Изменения степени освещенности с 1992 по 2010 гг. **А** – Европейская часть России, Украина, часть Белоруссии; **Б** – Московская область и прилегающие территории; **В** – шкала окраски

На общем, бледно сером фоне территорий без освещения на протяжении всего периода выделяются динамично развивающиеся территории с увеличившейся яркостью, окрашенные в ярко розовый цвет – Московская область с расходящимися в разные стороны полимагистралями, особенно путь на северо-запад, приводящий к другому ярко розовому пятну - Санкт-Петербургу, а также Нижегородская и Белгородская области [23]. Уменьшение освещенности большей части территории Украины, показанное оттенками фиолетового, свидетельствует об уменьшении наружного освещения, вызванного экономическим спадом. На

рисунке Б показана Московская область с прилегающими территориями. На общем фоне увеличения освещенности территории выделяется ярко желтый объект с появившимся освещением. Это вызвано постройкой в 2005 г. около с. Недельное Калужской области тепличного комплекса «Розовый сад», специализирующегося на круглогодичном выращивании различных цветов. 26 га тепличных площадей освещаются 20 часов в сутки.

Использование данных НКС DMSP OLS для оценки численности жителей субъектов РФ и групп населенных пунктов

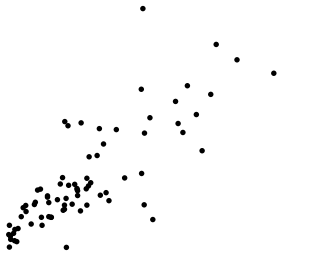
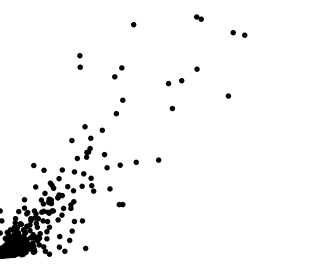
Использование данных ночной съемки позволяет оценить численность населения субъектов РФ или групп населенных пунктов. Закон аллометрического роста, установленный S. Nordbeck, гласит, что площадь городской территории и общая численность населения на соответствующей территории прямо пропорциональны [84]. Используя эту теорию, можно оценить население городских территорий без определения центра населенного пункта, что затруднительно для городов со сложной структурой. Объединив смежные освещенные пиксели на НК DMSP OLS, получены изолированные городские группы.

Площадь освещенных территорий, приходящихся на каждый субъект РФ, имеет линейную зависимость с его общей численностью жителей (таблица 3.1). Коэффициент корреляции этих двух величин составляет 0,8, но его можно улучшить до 0,83, ограничив численность жителей до городского населения. Такой результат объясняется тем, что сельские населенные пункты имеют небольшую площадь и меньше наружного освещения, чем городские, что приводит к невозможности зарегистрировать свет от такого источника сенсором OLS. Подобный корреляционный анализ был выполнен на территорию США, и коэффициент корреляции составил 0,5 [88].

Исключением являются Москва и Московская область, Санкт-Петербург и Ленинградская область, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа. Превосходством в разы численности населения и экономического

развития объясняется удаленность от линии тренда зависимости первых четырех субъектов. Для Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого автономных округов это может объясняться концентрацией на их территории большого числа нефтяных и газовых разработок с постоянно горящими факелами, не исключенных из КК при ее создании.

Таблица 3.1 – Отношение площади освещенных территорий к численности жителей данной территории

Ось X / Ось Y	Площадь освещенных территорий в субъекте (S) / Число жителей (P)	Площадь освещенных территорий в субъекте (S) / Число городских жителей (N)	Площадь освещенного ареала (S) / Число жителей (P)
Скаттеро-грамма			
Коэффициент парной корреляции	0,80	0,83	0,92

Площадь отдельных городских групп, которые сливаются в единые освещенные пятна на КК DMSP OLS, имеет еще более высокую корреляцию с суммарной численностью жителей, проживающих на данной территории. Для 1947 групп, выделенных на территории России (исключив Москву и Санкт-Петербург), коэффициент линейной корреляции составил 0,92 (таблица 3.1). Столь высокое значение характеризует линейную зависимость площади освещенных ареалов от соответствующей численности жителей и позволяет по формуле этой зависимости определить число жителей освещенного участка с неизвестным населением. В данном случае формула связи числа жителей и площади освещенного ареала (3.3) имеет вид:

$$N = 697,51 \cdot S - 9557,1, \quad (3.3)$$

где S – площадь освещенного ареала, км²;

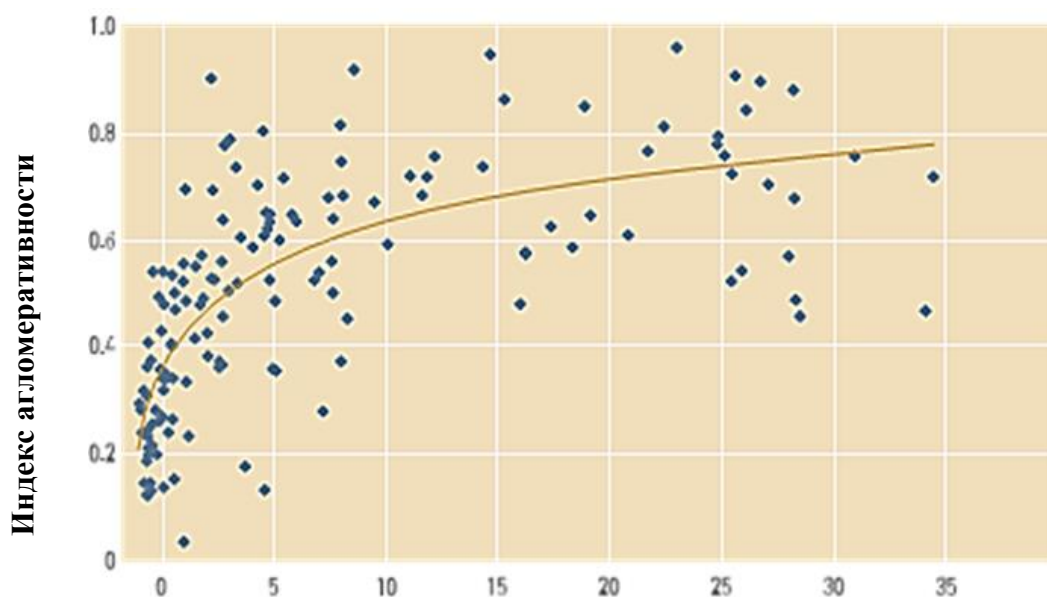
N – число жителей на соответствующей территории, человек.

Ошибка определения числа жителей близкорасположенных населенных пунктов по формуле 3.3 составляет 11,7% от истинного значения.

НКС DMSP OLS как альтернатива индекса агломеративности

По мере развития стран растёт концентрация населения и экономической деятельности. Быстрее всего концентрация происходит на локальном уровне. Удобнее всего измерять экономическую концентрацию на данном уровне через темпы урбанизации – увеличение плотности населения и экономической плотности в больших и малых городах. По мере развития стран в некоторых районах повышается экономическая плотность, всё больше людей переселяется в большие и малые города или в их окрестности. Когда страны переходят из категории с низким уровнем дохода в категорию стран с доходом ниже среднего уровня, доля городского населения там резко возрастает – примерно с 10 до 50 % [44].

На рисунке 3.4 представлена Модель концентрации экономической деятельности, построенная группой специалистов для доклада Всемирного банка «Новый взгляд на экономическую географию» в 2009 г. График 3.4 демонстрирует связь индекса агломеративности административной единицы 1 порядка и валового внутреннего продукта, как показателя ее экономической развитости. Для определения индекса агломеративности учитывались три параметра – плотность населения, численность жителей ближайшего крупного населенного пункта и расстояние до ближайшего крупного города. Отношение численности жителей территории, ограниченной предельными значениями этих трех параметров, к общему числу жителей субъекта служит индексом агломеративности [95]. Кривая, аппроксимирующая множество значений индекса агломеративности, принимает логарифмический вид.



Валовый региональный продукт, тыс. долларов США

Рисунок 3.4 – Модель концентрации экономической деятельности
(локальный уровень)³

Данные НКС DMSO OLS могут служить показателем уровня агломеративности территории, не прибегая к сложным вычислениям и оценкам. График, показывающий зависимость площади освещенных территорий для каждого субъекта РФ от валового регионального продукта, имеет сходный вид с графиком Модели концентрации экономической деятельности (рисунок 3.5).

Кривая, аппроксимирующая значения площади освещенных территорий, также описывается логарифмической зависимостью (3.4) между двумя величинами:

$$K = 0,8888 \cdot \ln(M) - 1,5001, \quad (3.4)$$

где M – валовый региональный продукт, тыс. долларов США;

K – $\ln$ площади освещенных территорий.

Сходный вид аппроксимирующих кривых позволяет сделать вывод о возможности использования величины площади освещенных территорий в

³ Новый взгляд на экономическую географию. Доклад о мировом развитии 2009 (Обзор) / Международный банк реконструкции и развития. Всемирный банк. 2008.

качестве альтернативы индекса агломеративности при оценке урбанизированности территории.

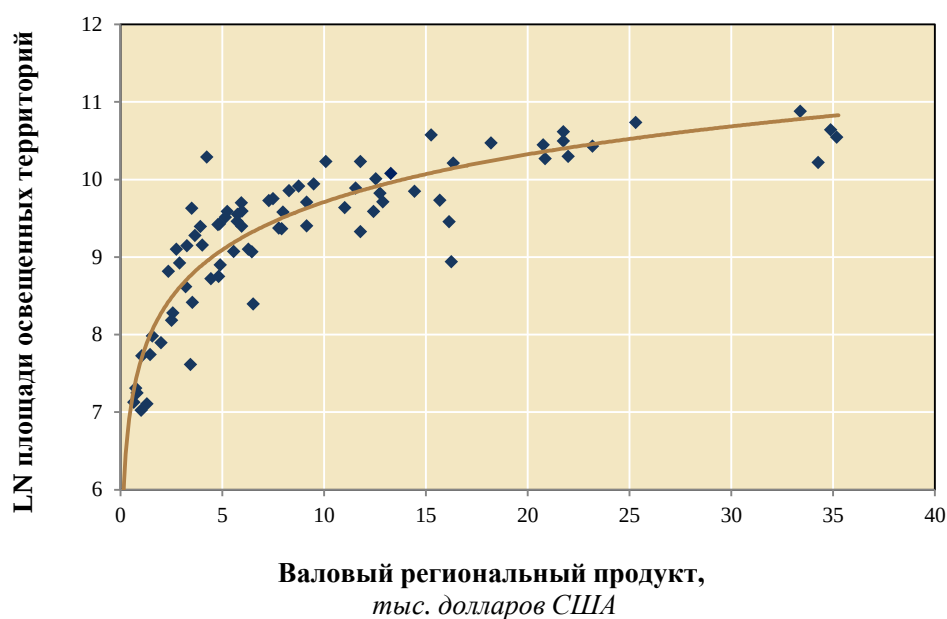


Рисунок 3.5 – Зависимость площади освещенных территорий от валового регионального продукта для субъектов РФ

Использование данных DMSP OLS для оценки численности жителей населенных пунктов

Недостатком приведенной выше методики оценки численности жителей групп поселений является невозможность определить людность отдельного населенного пункта. Светящие ареалы крупных и близкорасположенных городов часто сливаются в единые пятна из-за эффекта «сверхжара», появляющегося вследствие рассеивания света в атмосфере и высокой чувствительности датчика OLS [79]. Оценить число жителей отдельного населенного пункта можно, используя среднюю яркость пикселей для населенного пункта. Построив центроид для населенного пункта таким образом, чтобы их площади были равны, а геометрические центры совпадали, вычисляется средняя яркость пикселей, входящих в границы центроида (L_{cp}) [22], [24]. Для экспериментальных работ выбраны все населенные пункты Московской области с числом жителей 10 тыс. человек и более. Нижняя граница множества значений аппроксимируется

логарифмической зависимостью (рисунок 3.6), которая позволяет по среднему значению яркости на КК определить максимальное значение людности населенного пункта.

Логарифмическая зависимость нижней границы множества выражается формулой (3.5). Коэффициенты в формуле (3.5) определены методом наименьших квадратов.

$$L_{cp} = 16,4538 + 10,5245 * \ln(N) - 0,360785 * (\ln(N))^2, \quad (3.5)$$

где N – значения численности жителей, тыс. человек;

L_{cp} – значения яркости, DN.

Данная логарифмическая зависимость позволяет по значениям яркости на КК оценить людность населенного пункта. Например, установив среднее значение яркости для центроида, соответствующего населенному пункту (равно 50), определяем, что максимальная людность этого населенного пункта равна 39 тыс. человек.

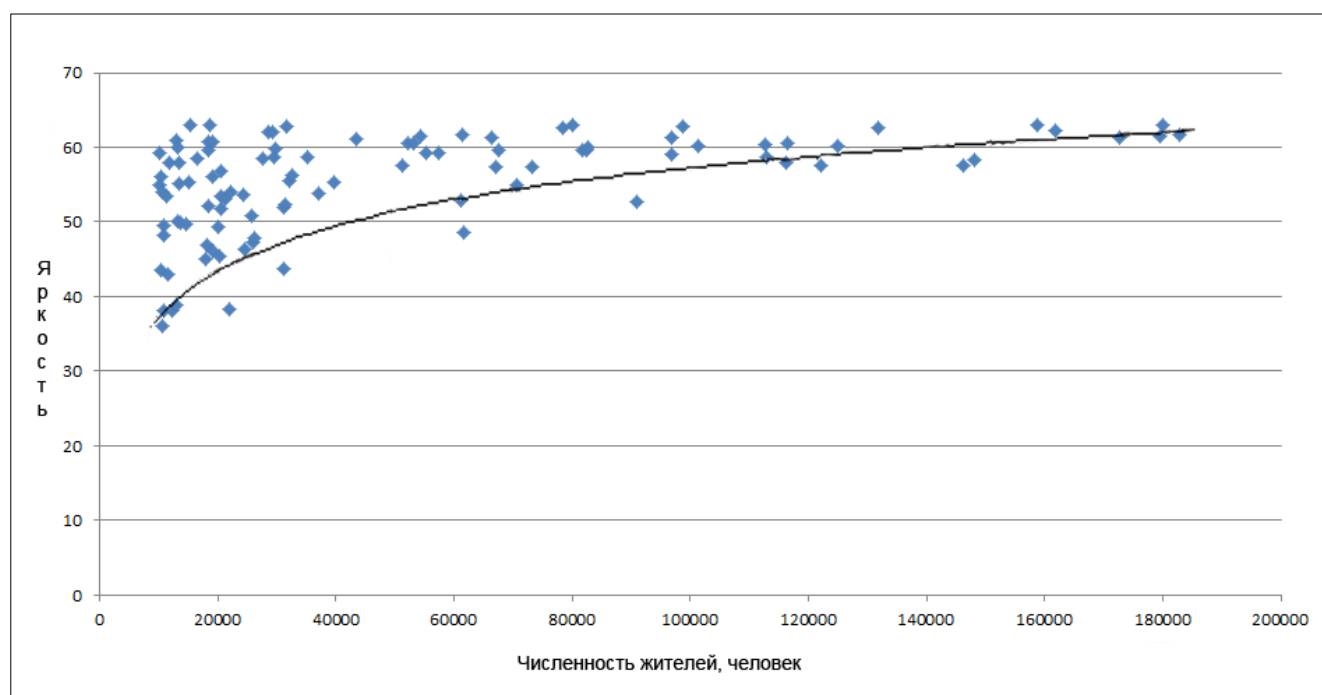


Рисунок 3.6 – Зависимость среднего значения яркости от людности населенного пункта

3.1.3. Определение границ ареалов концентрации населения на основе данных со структурой в виде регулярной сетки

Растровая решетка или регулярная геометрическая сетка являются одним из самых простых методов обработки данных. Непрерывный характер распределения явления создает среднее значение параметра, рассчитанное для каждой ячейки. Регулярная геометрическая сетка позволяет на компьютере реализовать модель поверхности. Это структура одномерных массивов, которые характеризуются линейными шкалами. Она полезна для обработки данных совместно с космическими изображениями.

Слабой стороной данных со структурой в виде регулярной сетки является разреженность в размещении значений. Поэтому при обработке данных необходимо выполнить просмотр большого количества значений или с учетом географических закономерностей выбрать участок, в котором явление проявляет свои свойства в наибольшей степени.

Целью исследования является определение границ ареалов концентрации населения для целей картографирования. Предметом исследования является зона полимагистралей Москва-Серпухов.

Источники данных:

1. База данных населения LandScan.
2. Композитная карта по данным ночной космической съемки DMSP OLS.
3. Глобальная карта транспортной доступности «A global map of Accessibility».

Пространственная автокорреляция используемых данных

Объекты, рассматриваемые в координатах местоположения, имеют тенденцию к изменению в пространстве и, хотя методы сбора данных предполагают независимость исходных данных, их пространственное распределение указывает на пространственную зависимость. Пространственная зависимость может быть определена как «склонность переменной принимать

близкие значения, понимаемая как функция расстояния между областями пространства, где производится измерение» [67, с. 238]. Атрибуты объектов постепенно изменяются в пространстве. Это свойство «гладкости» атрибутов вносит название пространственной автокорреляции, которая служит мерой пространственной зависимости.

Понятие пространственной автокорреляции, описывающее тенденцию к кластеризации сходных объектов в географическом пространстве, уникально для географической информации. Свойство схожести объектов и явлений настолько основательно, что выделено W. Tobler в первый закон географии: «Всё взаимосвязано, но явления (объекты), расположенные рядом, связаны в большей степени, чем удаленные» [92].

Объекты, рассматриваемые в географическом пространстве, не только не являются независимыми, они к тому же распределяются по различным законам. Изменения локального характера отличаются детальностью граничных линий, изменения глобального характера – относительно равномерным распределением. При этом иногда изменения локального характера вступают в противоречие с тенденциями глобального масштаба, т.е. при мелком масштабе изображения требуется изменять терминологию.

При локальном крупномасштабном отображении объектов формируется информация об индивидуальных свойствах объектов и географических особенностях их размещения, при мелком масштабе на картах значительного территориального охвата – информация о пространстве, поверхности и ее пространственные свойства будут выражаться в концентрации объектов, их густоте.

Понятие пространственной автокорреляции можно измерить количественно.

Для количественной оценки этой взаимосвязи существует показатель, называемый *I*-коэффициент Морана. С помощью данного индекса оценивается, имеется ли кластеризация объектов или они распределены разбросанно (случайно). Если значения в наборах пространственных данных кластеризуются

(высокие значения располагаются рядом с высокими, низкие – рядом с другими низкими), индекс Морана будет положительным. Когда высокие значения располагаются рядом с низкими, индекс будет отрицательным. Индекс принимает значения от -1 до +1.

Результаты анализа необходимо интерпретировать в контексте нулевой гипотезы, которая утверждает, что анализируемые атрибуты распределены случайно между объектами в исследуемом явлении, другими словами пространственные процессы, создавшие наблюдаемую структуру значений, носят случайный характер. Для определения возможности отклонения нулевой гипотезы вычисляются *p*-значение и *z*-оценка. *P*-значение – вероятность того, что наблюдаемые пространственные закономерности были созданы случайным процессом. Чем меньше *p*-значение, тем меньше вероятность случайного характера распределения явления. *Z*-оценка – это стандартное отклонение. Значения *z*-оценки, находящиеся в интервале от -2,58 до +2,58, представляют ожидаемый результат и свидетельствуют о случайном характере распространения явления.

Для статистического анализа характера распределения значений изучаемых параметров вычислены *I*-коэффициент Морана, *z*-оценка и *p*-значение для всех трех исходных данных (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Параметры пространственной автокорреляции

	<i>I</i>-коэффициент Морана	<i>Z</i>-оценка	<i>P</i>-значение
Ночная космическая съемка DMSP OLS	0,61	185,07	0,00
База данных населения LandScan	0,70	42,48	0,00
Глобальная карта транспортной доступности	0,91	99,70	0,00

Полученные результаты свидетельствуют о сильной пространственной автокорреляции для всех трех параметров. Наиболее сильно тенденция к

кластеризации значений выражена у данных ночной съемки DMSP OLS ($z=185,7$). Эта «гладкость» значений объясняется влиянием освещения из соседних пикселей, в результате чего переоцениваются значения яркости, происходит размытие границ и увеличение «освещенных пятен». Значения числа жителей базы данных LandScan имеют резкие перепады в соседних ячейках, что происходит вследствие независимого определения числа жителей для каждой ячейки.

Интенсивность пространственной кластеризации проявляется по-разному на различных уровнях генерализации. Определить расстояния, на которых пространственные процессы, обеспечивающие пространственную кластеризацию, наиболее выражены, можно последовательно приращивая расстояние и для каждого приращения вычисляя индекс Морана. Проведя такие вычисления, установлено, что расстояние, на котором кластеризация выражена наиболее сильно, для базы данных LandScan равно 8 км, Глобальной карты доступности – 8 км, данных съемки DMSP OLS – 12 км. Эти цифры подтверждают теорию о возможности совместного использования этих данных и сходной природе распределения значений внутри регулярной геометрической сетки. Также, эти цифры определяют наиболее подходящий масштаб для отображения результатов обработки данных и показа выделенных ареалов концентрации населения – 1:1 500 000.

Взаимная корреляция используемых данных

Для того, чтобы количественно измерить тесноту причинно-следственных связей между признаками и выявить форму их взаимного влияния, необходимо выполнить корреляционный анализ. Под причинной связью понимается такое соединение явлений и процессов, когда изменение одного является следствием изменения другого.

О корреляционной связи между явлениями можно говорить в том случае, если разным значениям одной переменной соответствуют различные средние значения другой. С изменением значения признака 1 закономерным образом

изменяется среднее значение признака 2, в то время как в каждом отдельном случае значение признака 2 может принимать множество различных значений. Корреляционный анализ учитывает межфакторные связи и измеряет роль каждого фактора: непосредственное его влияние на результативный признак; косвенное влияние фактора через его влияние на другие факторы; влияние всех факторов на результативный признак [13].

Для анализа тесноты связи признаков используемых данных, а именно:

- число человек в дневное время в пределах ячейки по регулярной сетке (D),
- степень яркости территории на ночном космическом изображении (L),
- осредненные расстояния, выраженные во времени поездки до крупных городов ≥ 50 тыс. жителей по регулярной сетке (T),

выполнен корреляционный анализ и вычислены различные показатели корреляции (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Коэффициенты корреляции

	L - D	D - T	L - T
Коэффициент парной корреляции			
Расчет выполнен по абсолютным значениям	0,34	-0,18	-0,55
Расчет выполнен по $\ln$ абсолютных значений	0,51	-0,39	-0,60
Ранговый коэффициент корреляции Спирмена			
Расчет выполнен по порядковым значениям признаков	0,59	-0,39	-0,65

Коэффициент парной корреляции – мера тесноты связи между двумя переменными. Невысокие значения коэффициента парной корреляции свидетельствуют о незначительной линейной связи между признаками. Для линеаризации рассматриваемых зависимостей необходимо выполнить логарифмическое преобразование. Теснота связи между параметрами увеличивается при использовании вместо абсолютных величин значений натурального логарифма. Наиболее высокое значение корреляционного отношения между яркостью на ночном снимке и временем транспортной

доступности. Это связано с тем, что природа этих данных имеет непрерывный характер распределения и плавные переходы между значениями в соседних ячейках (скачки значений плотности населения в соседних ячейках могут быть очень существенны). Значения рангового коэффициента корреляции Спирмена, при расчете которого используется порядковый номер (ранг) каждого члена ряда совокупности, близки к значениям коэффициента парной корреляции и подтверждают полученные результаты.

Учитывая, что в нашем случае оценивается взаимосвязь трех признаков, наиболее важно определить значения коэффициентов множественной корреляции и частного коэффициента корреляции. Коэффициент множественной корреляции измеряет тесноту связи всех факторов с результативным признаком. Расчет значений коэффициента показал, что наиболее независима от других факторов плотность населения (0,54), в то время как ночная яркость территорий определяется совокупным влиянием плотности населения и временем транспортной доступности (0,67).

Частный коэффициент корреляции измеряет чистую (частную) корреляцию между двумя признаками, абстрагируясь от связи с остальными. Результаты подтверждают относительную независимость плотности населения от других признаков (0,53) и полностью зависимый характер ночной освещенности территорий от плотности населения и времени транспортной доступности (0,01).

Приведенные выше коэффициенты корреляции показывают степень общей связи между параметрами, не давая информации о ее пространственном изменении в зависимости от типа и класса объектов. Для этой цели вычислено корреляционное отношение, используя скользящее окно размером 30x30 ячеек/пикселей. Полученные значения распределены по классам населенных пунктов (таблица 3.4).

Наиболее сильная связь между параметрами характерна для крупных населенных пунктов. С уменьшением их людности связь уменьшается, причем это верно для всех трех пар отношений параметров. Следовательно, совместное

использование данных будет иметь наилучшие результаты при картографировании территорий с наибольшей концентрацией населения.

Таблица 3.4 – Корреляционное отношение для различных классов населенных пунктов

Населенные пункты	Параметры		
	L - D	D - T	L - T
≥100 тыс. жителей	0,43	-0,41	-0,64
50 – 99 тыс. жителей	0,37	-0,24	-0,57
10 – 49 тыс. жителей	0,22	-0,11	-0,51
1 – 9 тыс. жителей	0,22	-0,13	-0,47
<1 тыс. жителей	0,33	-0,19	-0,41

Определение математических зависимостей между параметрами

О характере зависимости между явлениями можно судить по виду графика регрессии. Для определения вида аппроксимирующей функции построены графики, отображающие корреляционные поля зависимости ночной яркости территории от плотности населения (рисунок 3.7) и времени транспортной доступности от плотности населения (рисунок 3.8).

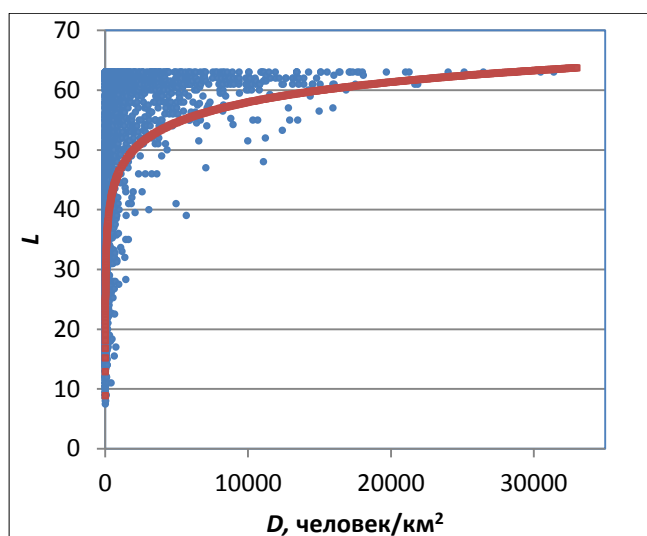


Рисунок 3.7 – Зависимость ночной яркости территории от плотности населения

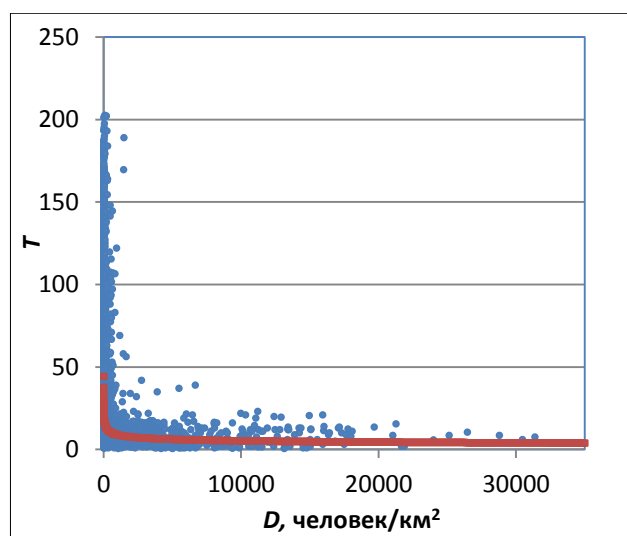


Рисунок 3.8 – Зависимость времени транспортной доступности от плотности населения

При подборе функции регрессии «...чаще всего используются семейства кривых, уравнения которых выражаются многочленами целых положительных степеней» [63]. Кривая, аппроксимирующая нижнюю границу множества зависимости ночной яркости от плотности населения, имеет логарифмический вид и описывается формулой (3.6).

$$L = 46,4981 + 5,10115 * \ln D - 0,05003 * (\ln D)^2, \quad (3.6)$$

где D – плотность населения в ячейке, человек/км²;

L – яркость пикселя, DN.

Использование полинома второй степени позволяет передать одну точку поворота функции.

Кривая, аппроксимирующая зависимость времени доступности от плотности населения, имеет степенный вид и описывается формулой (3.7).

$$T = 44,174 \times D^{-0,232}, \quad (3.7)$$

где D – плотность населения в ячейке, человек/км²;

T – время транспортной доступности до ближайшего крупного города, минуты.

Коэффициенты в формулах (3.6) и (3.7) определены методом наименьших квадратов.

Используя полученные формулы зависимости, получены шкалы для каждого признака и, приравнивая их значения, установлено отношение трех признаков (рисунок 3.9).

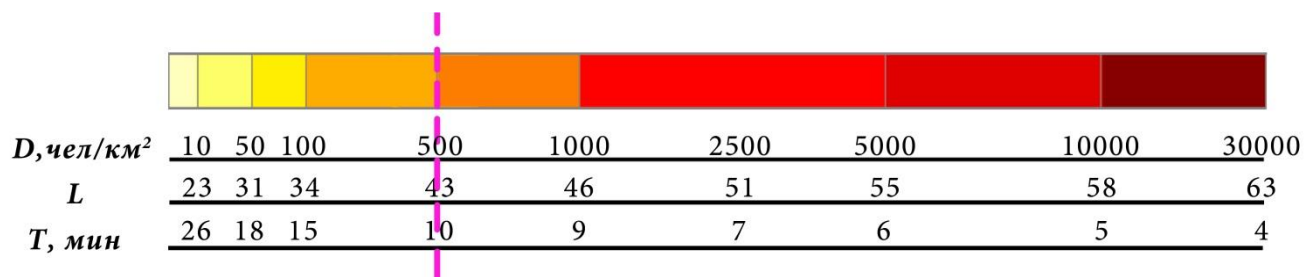


Рисунок 3.9 – Шкала отношения трех признаков

Картографирование ареалов концентрации населения по данным со структурой в виде регулярной геометрической сетки

Концентрацию населения как особенность расселения населения можно описать как пространственный объект – поверхность (площадь распространения явления) или граничную линию (предел распространения явления). Такой методологический подход имеет место не только в геоинформатике, но и в географии [3].

База данных населения LandScan, Карта транспортной доступности и данные НКС DMSP OLS позволяют представить непрерывные пространственные поверхности явлений. Сами данные уже имеют непрерывную структуру, в которой единственный атрибут несет информацию о параметре явления. Пространственное сравнение и анализ таких данных выполняется созданием единой шкалы интервалов и окраской ячеек решетки (или пикселей изображения) в соответствии с разработанной шкалой [21].

Разделим шкалу отношений (рисунок 3.9) на 8 интервалов и окрасим исходные карты в соответствующие цвета (рисунок 3.10). Это позволяет наглядно увидеть различия в точности данных и оценить возможности использования данных для картографирования концентрации населения.

Изображения, полученные по данным НКС DMSP OLS и по Карте транспортной доступности, представляют собой генерализованное отображение размещения концентрации населения. Данные LandScan имеют более точную информацию о плотности населения, характеризующуюся независимым определением числа жителей для каждой ячейки. Вследствие этого, решетка имеет резкие скачки значений параметра в соседних ячейках. Изображения **Б** и **В** имеют сглаженные переходы значений. На изображении **В** они появляются вследствие географических особенностей территории (в большей степени за счет расположения транспортных линий), на изображении **Б** – благодаря оптической генерализации, вызванной пространственным разрешением данных и природой распространения света. На рисунке 3.10 видно, что данные НКС и времени транспортной доступности плохо пригодны для изучения и отображения

изменений плотности населения внутри территорий с высокой концентрацией населения (населенных пунктов), так как внутренние территории имеют недостаточно градаций значений яркости либо времени транспортной доступности. В то же время, они позволяют определить границы ареалов высокой концентрации населения. Резкий переход от светлых тонов (территории с низкой плотностью населения) к темным (территории с высокой плотностью населения) четко выделяет ареалы концентрации населения.

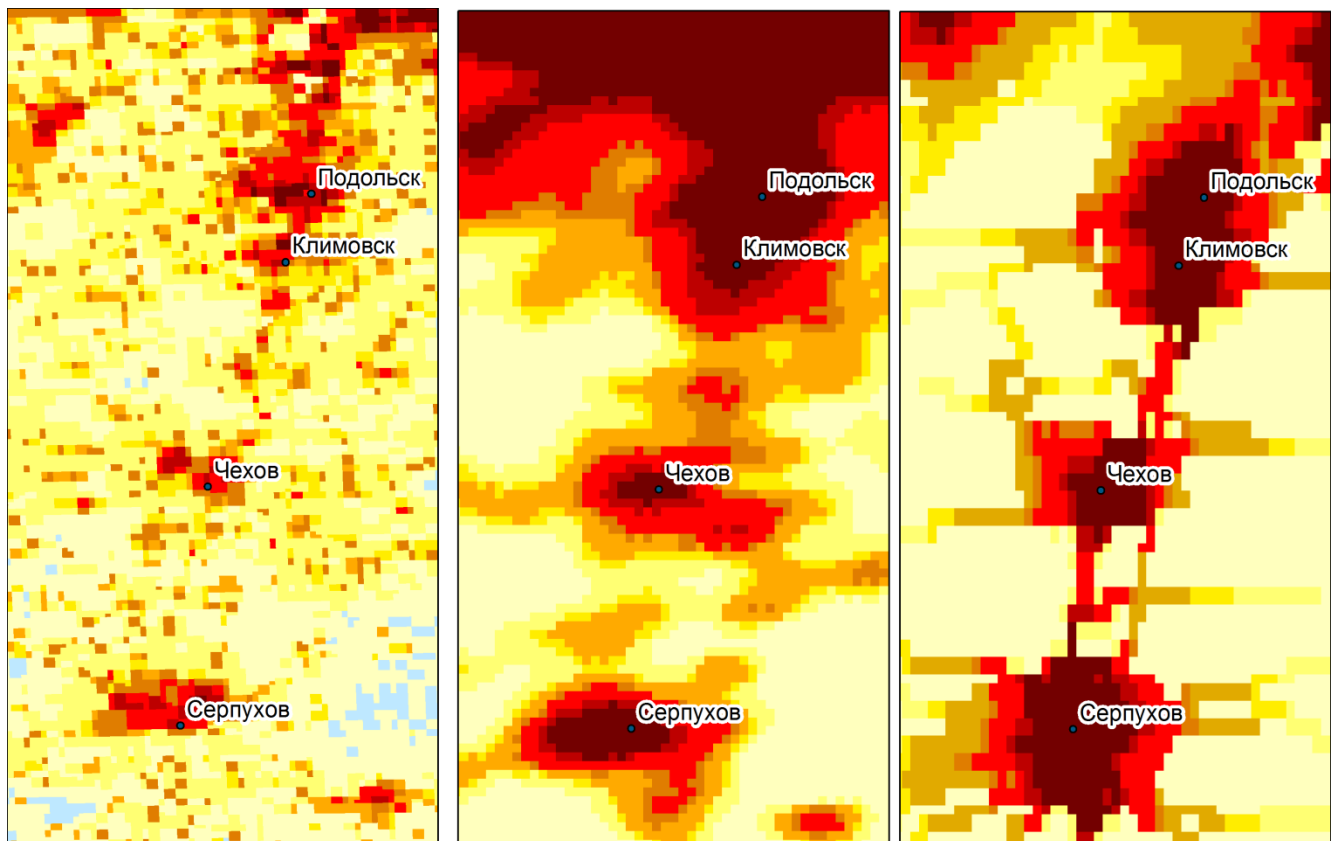


Рисунок 3.10 – Изменение плотности населения вдоль полимагистралей Москва-Серпухов по данным базы данных населения LandScan (А), НКС DMSP OLS (Б), Карты транспортной доступности (В)

Другим представлением данных, характеризующих поверхность, являются изолинии, отображающие границы территорий с равными значениями параметра. Преимуществом такого отображения является наглядность сопоставления распределения значений и возможность наложения границ друг на друга и на другие пространственные данные для оценки точности местоположения сравниваемых контуров.

На этапе моделирования пространственной концентрации населения было установлено предельное значение плотности населения для ареалов концентрации населения равным 500 человек/км^2 (глава 2). Используя полученные в ходе исследования формулы (3.6) и (3.7), вычислены значения, соответствующие установленной плотности населения: для данных DMSP OLS – 43, для времени транспортной доступности – 10 минут. Изолинии этих значений являются границами ареалов концентрации населения (приложения А.3, А.4, А.5).

3.2. Методы, традиционно используемые в картографии

3.2.1. Дазиметрический метод

С учетом анализа пространственной концентрации населения Московской области определена людность «городов-центров» концентрации населения – ≥ 50 тыс. жителей. В отдельных случаях в качестве таких центров могут рассматриваться населенные пункты ≥ 10 тыс. жителей.

В соответствии с методикой В.П. Семенова-Тянь-Шанского [56], уточненной П.М. Поляном [49], вокруг городов ≥ 50 тыс. жителей оконтурена буферная зона, характеризующая зону влияния «города-центра». Радиус зоны равен 3 км, что соответствует 30-минутной пешей доступности территории.

Зоны близлежащих населенных пунктов, расположенные ближе 3 км друг от друга, объединены общим контуром. Для каждой объединенной группы поселений вычислена людность, как сумма жителей городов, попавших в этот контур, и совокупная площадь. В каждом контуре рассчитывается плотность населения.

Плотность населения в ареалах, образованных только городами ≥ 50 тыс. жителей, значительно больше определенного в главе 2 количественного критерия в 500 человек/км^2 . Поэтому для городов ≥ 10 тыс. жителей проведены такие же буферные зоны, перекрывающиеся ареалы объединены и в новых увеличенных контурах вычислена плотность населения.

По полученным значениям плотности населения построена шкала (таблица 3.5) и дана окраска ареалов с увеличением плотности окраски к максимальным значениям (рисунок 3.11). С уменьшением плотности в ареале увеличивается расстояние между населенными пунктами и уменьшается густота поселений.

Таблица 3.5 – Показатели выделенных групп поселений

	Средняя плотность населения, человек/км ²	Среднее расстояние между поселениями, м	Средняя густота поселений на 100 км ²
	2864	70	5,8
	1155-1484	300	6,3
	892-982	360	4,5
	423-661	410	5,5
	119-379	1300	3,4



Рисунок 3.11 – Группы населенных пунктов, выделенные дазиметрическим методом

Контур, имеющие плотность населения ≥ 500 человек/км², образуют ареалы концентрации населения (приложение А.1).

3.2.2. Метод потенциалов поля расселения

Для анализа систем городского расселения часто применяют модель тяготения, которая выражает взаимодействие между парными объектами, обладающими, в нашем случае, людностью. Понятие потенциала выводится из модели тяготения и обычно представлено формулой (3.8) [60]:

$$I = (P_1 \times P_2) / D^2, \quad (3.8)$$

где P_1, P_2 – людность населенных пунктов, человек;

D – расстояние между населенными пунктами, км.

Это уравнение заимствовано из физики, где взаимодействие точечных зарядов или масс принято считать равным произведению величин зарядов (масс), деленному на квадрат расстояния между ними. То есть термин демографического потенциала соответствует физическому понятию гравитационного потенциала [14].

Однако в нашем случае бóльший интерес представляет изучение взаимодействия центра концентрации населения со множеством населенных пунктов в пределах зоны. Поэтому, исходя из формулы парной зависимости (3.1), мера взаимодействия центра j -го с другими i -ми населенными пунктами выразится уравнением (3.9):

$$V_i = \frac{P_i}{D_{ij}}, \quad (3.9)$$

где P_i – людность каждого i -го населенного пункта, человек;

D_{ij} – расстояние от точки j -го центра до i -го населенного пункта, км [40].

Показатель V_j часто называют демографическим потенциалом. Считая, что этот показатель полностью соответствует концепции поля, В.А. Червяков, Ю.Г. Липец, О.А. Евтеев и С. А. Ковалев предложили называть его потенциалом поля расселения [12], [29], [30], [65].

Целью применения методики является определение границ ареалов влияния городов с числом жителей ≥ 50 тыс. человек.

Применение метода потенциала позволяет определить влияние городов с числом жителей ≥ 50 тыс. человек, как центров влияния, на другие населенные пункты.

Для определения потенциала поля расселения выбраны следующие классы населенных пунктов:

- все города с числом жителей ≥ 10 тыс. человек;
- центры, относительно которых определялись расстояния - города с числом жителей ≥ 50 тыс. человек.

Для составления шкалы изопотенциалов V_i определено распределение значений V_i по всем направлениям относительно центров городов с числом жителей ≥ 50 тыс. человек (P_j). Потенциал V_i вычислен по кратчайшим расстояниям (D_{ij}) от центров городов (P_j) до города, в котором определен потенциал V_i . Потенциал V_i определен во всех городах с числом жителей от 10 до 100 тыс. человек.

Предполагаемое влияние определено величиной, обратной расстоянию D_{ij} от центра j до города i (рисунок 3.12). Таким образом, влияние формализуется количественным значением V_{ij} .

При близком расположении двух центров (P_j) потенциал вычислен в двух направлениях. Для городов людностью ≥ 50 тыс. жителей потенциал рассчитывался, учитывая расстояние до ближайшего населенного пункта с бóльшей людностью.

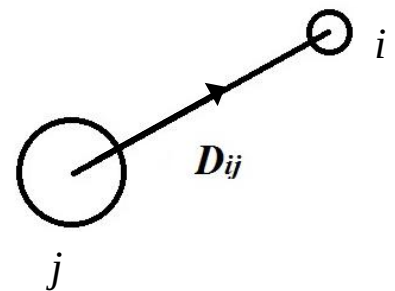


Рисунок 3.12 – Схема влияния центра

Рассчитав потенциалы V_i по всем направлениям и в центрах (ядрах) концентрации городского населения, все значения потенциалов были нанесены на картографическую основу масштаба 1:400 000 [41]. После этого методом картографической интерполяции построена

поверхность, характеризующая распределение значения демографического потенциала по территории Московской области. Составив распределение значений потенциала по всем населенным пунктам ≥ 10 тыс. жителей, выбрана шкала изопотенциалов, в соответствии с которой окрашена полученная поверхность (рисунок 3.13).

Для полученной поверхности построены линии равных значений демографического потенциала. Для замкнутых ареалов, образованных изопотенциалами, вычислена людность, как сумма жителей городов, попавших в этот контур, и совокупная площадь, после этого рассчитана плотность населения.

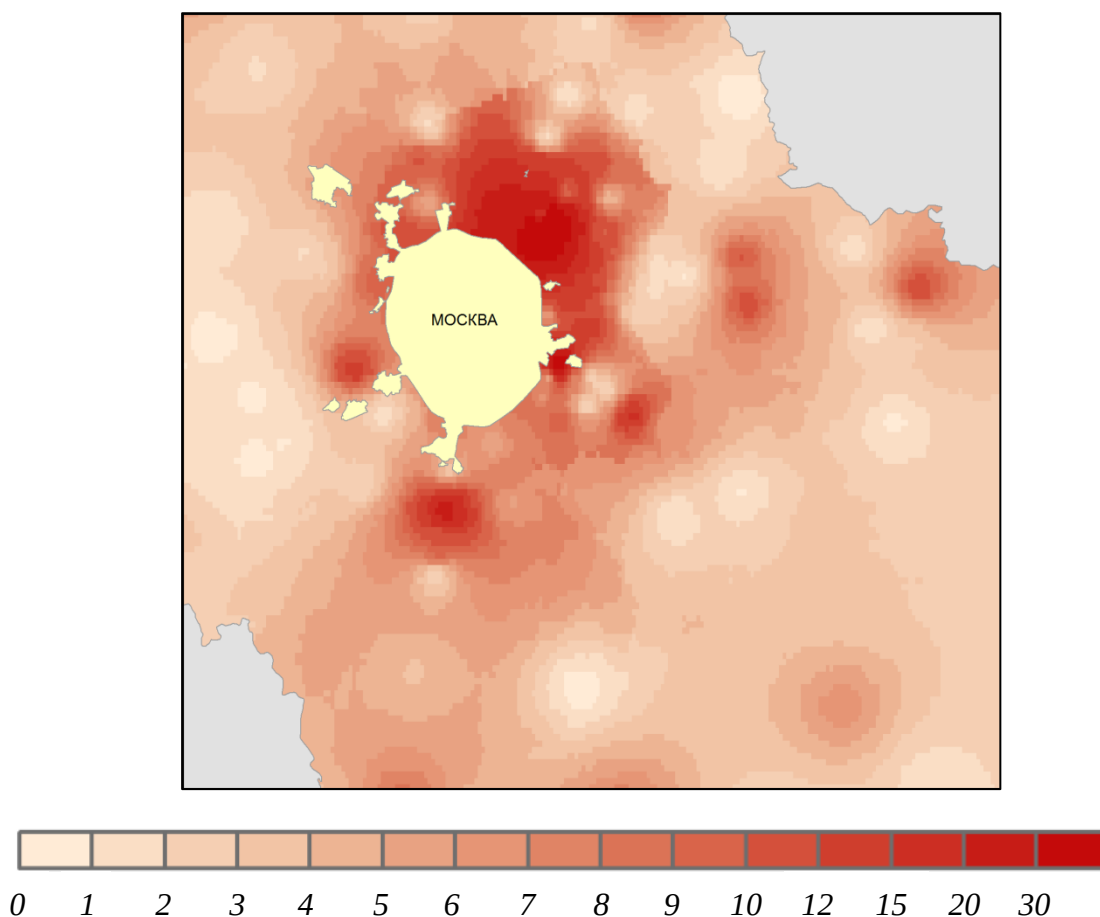


Рисунок 3.13 – Потенциалы поля расселения. Фрагмент Московской области

Основываясь на установленном предельном значении плотности населения, получены ареалы концентрации населения, которыми являются контура с плотностью населения более 500 человек/км². Для перекрывающихся контуров ареалом концентрации населения является бóльший по площади.

Рисунок наглядно показывает, что по мере приближения полимагистралей к Москве ареалы сливаются и превращаются в полукольцо, после которого они располагаются вдоль основных транспортных магистралей (приложение А.2).

Детальность рисовки изопотенциалов зависит от выбора людности городов основных центров. Если в качестве центра использованы населенные пункты <10 тыс. жителей, замкнутые изопотенциалы выделяют ареалы концентрации населения этих центров, т.е. отображаются внутрирайонные различия концентрации населения. Если выбран центр с 50-ти тысячным населением, то изолинии подчеркивают зоны вдоль магистралей, т.е. изопотенциалы подчеркивают межрайонные различия внутри области.

3.3. Сравнение положения полученных ареалов концентрации населения

Ареалы концентрации населения, полученные разными методами, картографировались на основе единых концептуальных положений:

людность «городов-центров» ≥ 50 тыс. жителей,

количественный показатель концентрации населения – плотность населения, предельное значение которого (500 человек/км^2), определяет положение границ ареалов концентрации населения.

Единый подход позволяет выполнить сравнение положения полученных ареалов концентрации населения.

Результаты совмещения границ ареалов, полученных разными методами, приведены на рисунке 3.14.

Для оценки полученных ареалов концентрации населения проведен сравнительный анализ. Ареалы, полученные методами традиционной картографии, и разработанной в диссертационной работе методикой близки по местоположению. Центрами ареалов являются одинаковые населенные пункты, но положение граничных линий отличается в зависимости от метода. Бóльшая часть граничных линий ареала образует полосу шириной от 2 до 10 км, поэтому разработанная методика применима для мелкомасштабного картографирования.

С целью более глубокого анализа полученных ареалов концентрации населения для трех ареалов концентрации населения, выделенных в зоне расселения Москва-Серпухов, определены параметры: площадь ареала, общее число жителей и число населенных пунктов по их людности, входящих в границы ареалов (таблица 3.6).

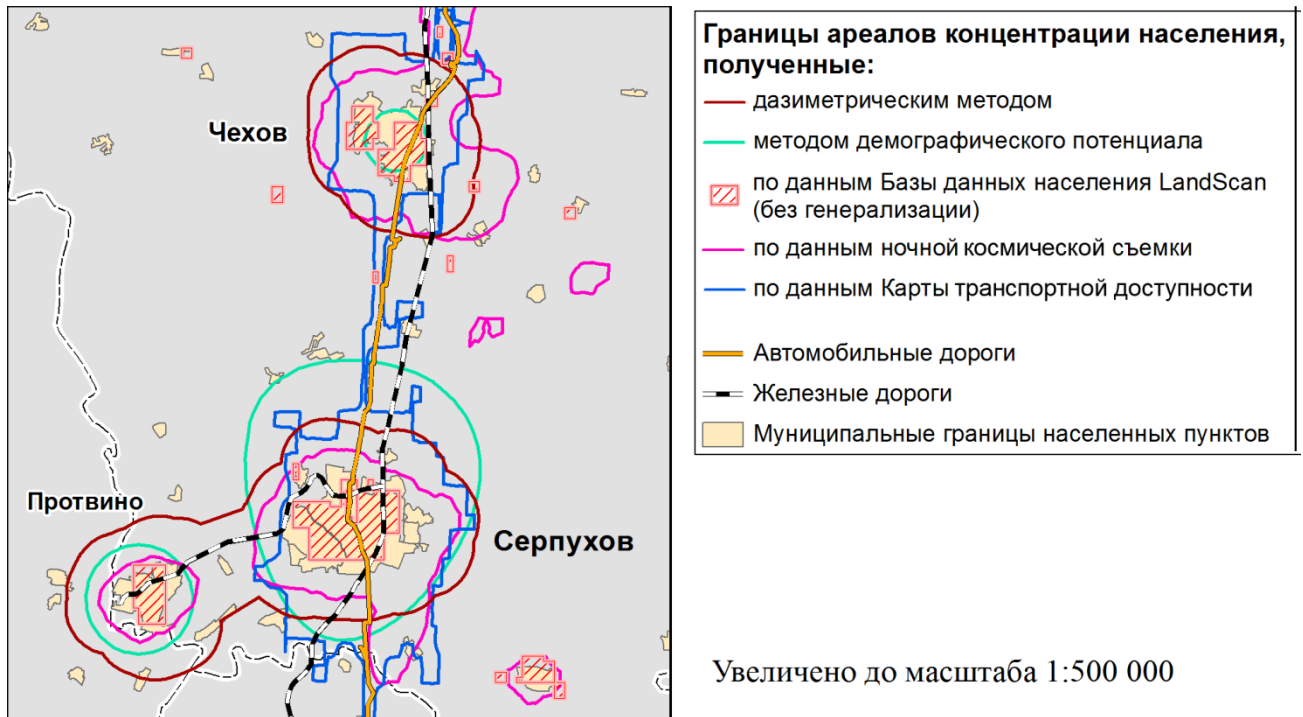


Рисунок 3.14 – Сравнение границ ареалов концентрации населения, полученных различными методами (фрагмент Московской области)

Ареалы, полученные дазиметрическим методом, наиболее близки к ареалам по Карте транспортной доступности. Это объясняется тем, что радиус обводки города в дазиметрическом методе характеризует зону влияния центра и соответствует выбранному значению времени транспортной доступности территории, как и параметр Карты транспортной доступности.

Границы, полученные дазиметрическим методом, преувеличивают ареалы концентрации населения для средних населенных пунктов людностью 10-50 тыс. жителей. Это происходит вследствие использования единого радиуса обводки (3 км) для всех классов населенных пунктов. Границы, полученные дазиметрическим методом, отстоят от границ по данным НКС на 1,5 км (в среднем).

Таблица 3.6 – Параметры ареалов концентрации населения

Город-центр ареала	Параметры ареала концентрации населения		Дазиметрический метод	Метод демографического потенциала	База данных населения LandScan	Данные ночной съемки DMSP OLS	Карта временной доступности
Подольск	Площадь, км		270	201	99	340	269
	Число жителей, человек		292 108	280 285	287 099	355 626	292 305
	Число населенных пунктов по численности	≥100 тыс.	1	1	1	1	1
		50-99 тыс.	1	1	1	1	1
		10-49 тыс.	2	2	1	2	2
		1-9 тыс.	3	3	3	3	4
		<1 тыс.	7	4	1	7	8
Чехов	Площадь, км		114	12	15	134	104
	Число жителей, человек		73 117	52 235	60 028	77 795	66 891
	Число населенных пунктов по численности	≥100 тыс.	-	-	-	-	-
		50-99 тыс.	1	1	1	1	1
		10-49 тыс.	-	-	-	-	-
		1-9 тыс.	1	-	-	1	-
		<1 тыс.	1	-	-	4	1
Серпухов	Площадь, км		265	241	33	115	163
	Число жителей, человек		165 494	136 599	130 824	137 444	138 409
	Число населенных пунктов по численности	≥100 тыс.	1	1	1	1	1
		50-99 тыс.	-	-	-	-	-
		10-49 тыс.	1	-	-	-	-
		1-9 тыс.	1	3	-	2	2
		<1 тыс.	7	4	-	5	5

Ареалы, полученные методом демографического потенциала, являются сильно формализованными областями, положение границ которых значительно отличается от ареалов, полученных другими методами. В частности, расстояние до границ, полученным по данным НКС, колеблется от 1 до 10 км.

Ареалы, имеющие центром крупные населенные пункты с людностью ≥ 100 тыс. жителей, больше по площади ареалов, полученных другими методами. В то же время, площадь некоторых ареалов с центром людностью около 50 тыс. жителей меньше муниципальных границ городов (например, г. Солнечногорск и г. Чехов). Поэтому, использование формализованного признака, как демографический потенциал, позволяет выделить только обобщенные места концентрации населения.

Использование разработанной в диссертационной работе методики и современных источников данных позволяет получить более точные и актуальные ареалы концентрации населения.

Ареалы, полученные по материалам базы данных населения LandScan, отражают фактическое население в дневное время с учетом коллективных передвижений, которое концентрируется в основном в городской черте. Площадь этого ареала в несколько раз меньше ареалов, полученных по другим источникам. Места концентрации населения, полученные по этим данным, позволяют судить о внутренней инфраструктуре населенных пунктов и являются ядрами ареалов концентрации населения. Полученная карта без учета уровня обобщения информации может служить адресной картой для построения ареалов концентрации населения.

Недостатком данных является трудность в получении (высокая стоимость доступа) и высокая детальность данных, требующая дополнительной обработки, без которой невозможно проследить систему расселения в целом.

Границы ареалов транспортной доступности в основном повторяют по конфигурации и площади ареалы, полученные по данным НКС. В пределах

полученных ареалов постоянный состав населенных пунктов, площади ареалов приблизительно равны.

Карта транспортной доступности позволяет довольно точно определить границы ареалов концентрации населения. Вследствие характера отображаемой информации возможны неточности в положении границ в районах выхода транспортных магистралей из населенных пунктов. Происходит вытягивание ареалов вдоль дорог, которое вносит ошибки в распределение населения. Полученные по этим данным границы почти совпадают (от 0 до 1 км) с границами по данным НКС, но в местах выхода из населенного пункта путей сообщения расстояние между границами увеличивается до 5 км. Также, недостатком является отсутствие обновленной информации после 2007 года. Тем не менее, эти данные могут служить хорошим дополнением для определения границ ареалов концентрации населения и характеристики зон расселения населения.

Данные НКС DMSP OLS позволяют определить границы ареалов концентрации населения, учитывая территории со значительной концентрацией населения, не входящие в муниципальные границы населенного пункта. Трудностью в использовании этих данных является выделение в качестве ареалов концентрации населения населенных пунктов, имеющих плотность населения < 500 человек/км², но являющихся производственными центрами, на территории которых расположены интенсивно освещаемые промышленные объекты (например, рабочие поселки Тучково, Фряново). Поэтому ареалы, полученные по этим данным, могут также использоваться для получения информации о пространственной концентрации экономической активности.

Трудностью в использовании данных является упомянутый выше (п. 3.2.1) эффект «свехжара», не позволяющий точно определить границы ареалов концентрации населения, непосредственно прилегающих к крупным населенным пунктам, таким как г. Москва.

Использование данных за близкие даты показывает, что использование только картографических и статистических источников дает неполную картину

расселения населения. Урбанизированные территории западного сектора Ближнего Подмоскovie с высокой плотностью населения, выделяющиеся только с использованием данных ночной съемки DMSP OLS, требуют отображения на картах, несмотря на отсутствие большого числа крупных населенных пунктов.

Наложение границ ареалов концентрации населения показывает, что наиболее точно совпадают границы, полученные по данным ночной съемки и Карте транспортной доступности. При этом использование данных ночной съемки DMSP OLS является наименее трудоемким из всех методов, описанных в работе.

Доступность получения, широкий временной диапазон и ежегодное обновление этих данных позволяет использовать композитную карту DMSP OLS как наиболее актуальный источник информации для получения ареалов концентрации населения, требующий наименьшее количество трудозатрат.

3.4.Обобщенная методика картографирования ареалов концентрации населения

В результате проведенных исследований разработана методика картографирования ареалов концентрации населения, которая в обобщенном виде состоит из четырех этапов (рисунок 3.15).

Этап 1. Для определения конфигурации области исследования установлены характеристики предметной области, выполнен анализ современной системы расселения исследуемого региона.

Этап 2. Выявление основных тенденций размещения населенных пунктов и факторов, влияющих на ход процесса развития системы расселения, позволяет определить принцип размещения узлов и линий опорного каркаса системы расселения. Учет закономерностей расселения населения позволяет при дальнейшей обработке ограничить объем данных, рассматривая только города основных зон расселения. Для установления категории «городов-центров» концентрации населения определяется доля этих населенных пунктов в общей

численности жителей основных зон расселения. Детализация модели пространственной концентрации населения осуществляется методами статистического анализа. Выбирается статистический показатель и его предельное значение, определяющее местонахождение ареалов концентрации населения.

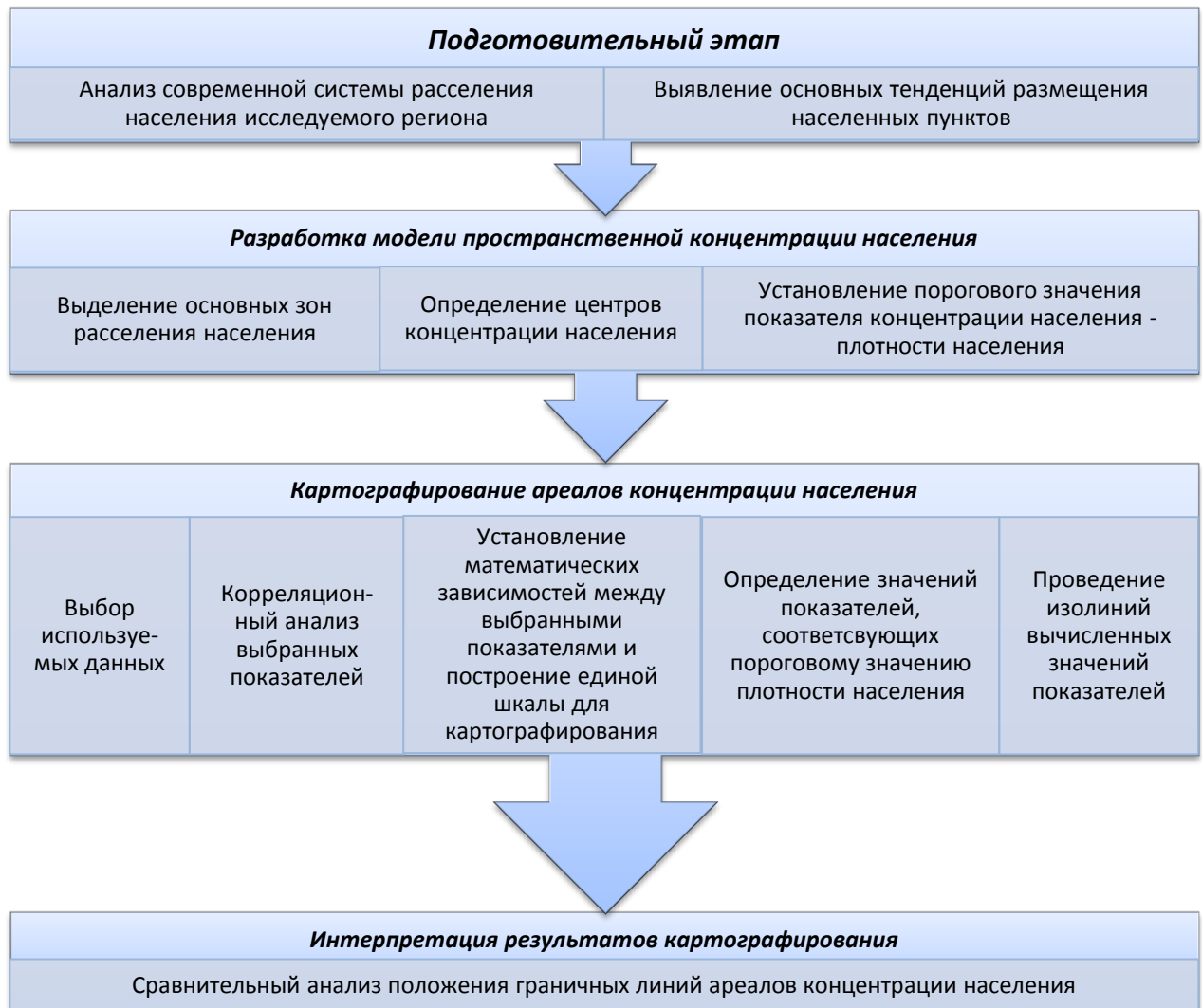


Рисунок 3.15 – Схема разработанной методики картографирования ареалов концентрации населения

Этап 3. Для визуализации ареалов концентрации населения выполняется:

- выбор исходных данных в зависимости от возможностей получения информации и требований, предъявляемых к получаемым картам (приложение Б);

- установление математических зависимостей выбранных показателей и определение предельных значений, формирующих границы ареалов концентрации населения;
- приравнивание количественных шкал с различными единицами измерения, позволившее выполнить сравнение границ ареалов.

Этап 4. Для интерпретации результатов картографирования выполняется сравнительный анализ положения граничных линий ареалов концентрации населения, определение величины отстояния границ друг от друга и от муниципальных границ населенного пункта. Выполняется анализ населенных пунктов, выделенных ареалами концентрации населения: их местоположение, людность, функциональная специализация.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований достигнута поставленная цель — разработана методика картографирования ареалов концентрации населения и составлены пять карт «Ареалы концентрации населения» на территорию Московской области.

Основные результаты диссертационного исследования состоят в следующем:

1. На основе анализа научных публикаций определена сущность новых видоизменений, привнесенных процессом урбанизации в расселение населения: пространственная концентрация населения не ограничивается границами города. Концентрация населения в ускоренных темпах проявляется на прилегающих территориях, а также сельских районах, население которых приняло городской образ жизни и общения. Отсюда, отображение на картах концентрации населения не может ограничиваться муниципальными границами городов.
2. Для формализованного представления пространственной концентрации населения разработана модель, позволяющая минимальным набором показателей дать полное описание пространственной концентрации населения для целей картографирования.
3. Определен единый количественный показатель — плотность населения, позволяющий устанавливать положение граничных линий ареалов концентрации населения, а также производить сравнение и оценку ареалов пространственной концентрации населения, построенных на основе данных, полученных из различных источников.

4. Обоснована возможность использования данных ночной космической съемки DMSP OLS как индикатора распространения населения, для оценки людности населенных пунктов и близко расположенных групп поселений. Предложен новый параметр, характеризующийся площадью освещенных территорий, как альтернатива индекса агломеративности;
5. Выполнен корреляционный анализ основных показателей расселения населения (плотности населения, времени транспортной доступности и яркости территории на ночном космическом изображении), в результате которого получены количественная оценка тесноты связи между исследуемыми показателями и определена форма их взаимного влияния.
6. Получены формулы, которые выражают математическую зависимость яркости территории на ночном космическом изображении от плотности населения и времени транспортной доступности от плотности населения. На их основе сформирована единая шкала соотношения основных параметров расселения населения для целей картографирования;
7. Определены значения яркости территории на ночном космическом изображении и времени транспортной доступности, соответствующие предельному значению плотности населения для Московской области;
8. Полученные результаты отражены на картах, составленных методами традиционной картографии (2 карты) и разработанной в диссертационной работе методикой с использованием статистических данных (база данных населения LandScan, Карта транспортной доступности «A global map of Accessibility») и данных дистанционного зондирования Земли (материалы ночной космической съемки DMSP OLS).

9. Анализ ареалов концентрации населения, полученных разработанной методикой, позволил получить информацию о:
- внутренней инфраструктуре населенных пунктов (источник: база данных населения LandScan),
 - связи плотности населения городов с густотой дорожной сети и транспортной доступностью территории (источник: Карта транспортной доступности «A global map of Accessibility»),
 - актуализированном размещении населения в отличие от сети населенных пунктов, показываемых на современных общегеографических картах (источник: материалы ночной космической съемки DMSP OLS).

Перспективы дальнейшего развития изучения систем населенных пунктов и концентрации населения заключаются в более активном использовании современных статистических данных, полученных различными геоаналитическими способами, и широком привлечении данных ДЗЗ различного типа.

Полученные результаты диссертационной работы демонстрируют большой потенциал для использования ночной космической съемки для изучения системы расселения населения и решения социально-экономических задач. Рост технических возможностей космической съемки и спроса на данные ДЗЗ, полученные в ночное время, обусловил создание специальных сенсоров, предназначенных для получения ночных данных. Одним из примеров является космический аппарат Suomi NPP, один из спектральных каналов которого целенаправленно разработан для регистрации излучения земной поверхности в ночное время. Более высокое пространственное разрешение, повышенная точность детектирования ночных огней и улучшенная периодичность съемки (по сравнению с аппаратурой DMSP OLS) позволяют решать широкий спектр задач и улучшить достоверность получаемых результатов. К сожалению, в России на данный момент отсутствуют космические системы, позволяющие получать данные среднего и низкого разрешения в ночное время. В связи с этим, ввиду

роста спроса на данные такого типа и увеличения спектра задач, необходимо рассмотреть возможность уточнения характеристик аппаратур планируемых к запуску космических аппаратов для обеспечения съемки в ночное время.

Другим перспективным направлением использования материалов ночной космической съемки является мониторинг инфраструктуры. Для этих целей целесообразно использовать ночную съемку аппаратурой с высоким разрешением (лучше 10 м). На сегодняшний день российские космические аппараты «Ресурс-П», «Канопус-В» могут выполнять подобную съемку. Материалы ночной космической съемки высокого разрешения могут найти применение при мониторинге объектов, расположенных в удаленных и труднодоступных участках. Особенно перспективно использование подобных данных для районов Крайнего Севера ввиду продолжительного периода без солнечного освещения (до 180 дней). Интенсивное освоение российского сектора Арктики и создание крупных объектов нефтегазовой инфраструктуры (порт «Сабетта», морские добывающие платформы, станции и перерабатывающие заводы) открывает большие возможности для применения ночной космической съемки высокого разрешения.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ГП	–	городское поселение.
ДЗЗ	–	дистанционное зондирование Земли.
КК	–	композитная карта.
НКС	–	ночная космическая съемка.
НП	–	населенный пункт
СНП	–	сельский населенный пункт
DMSP–		Defense Meteorological Satellite Programm
OLS	–	Operational Linescan System

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас мира.— 3-е изд. — М.: Роскартография, 2002.
2. Бабурин В.Л., Горлов В.Н, Шувалов В.Е. Роль и основные функции внешней зоны в территориальной структуре Московского региона // Вестн. Моск. ун-та. Сер.5. География. — 1988. — №4. — С. 24-30.
3. Бунге В. Теоретическая география. — М.: Прогресс, 1967. — 267 с.
4. Вишневский А.Г., Зайончковская Ж.А., Пивоваров Ю.Л. Влияние демографической ситуации на эволюцию расселения в СССР // Изв. АН СССР. Сер. географ. — 1983. — № 6. — С. 68-76.
5. Всесоюзная перепись населения 1939 г. Численность городского населения СССР по городским поселениям и внутригородским районам [Электронный ресурс] // Демоскоп Weekly: электронный журнал. Институт демографии Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики». URL: http://demoscope.ru/weekly/ssp/0517/rus_pop_39_3.php (дата обращения: 15.03.2014).
6. Всесоюзная перепись населения 1959 г. Численность городского населения РСФСР, ее территориальных единиц, городских поселений и городских районов по полу [Электронный ресурс] // Демоскоп Weekly: электронный журнал. Институт демографии Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики». URL: http://demoscope.ru/weekly/ssp/0517/rus52_reg2.php (дата обращения: 15.03.2014).
7. Всесоюзная перепись населения 1970 г. Численность городского населения РСФСР, ее территориальных единиц, городских поселений и городских районов по полу [Электронный ресурс] // Демоскоп Weekly: электронный журнал. Институт демографии Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики». URL:

http://demoscope.ru/weekly/ssp/0517/rus70_reg2.php (дата обращения: 15.03.2014).

8. Всесоюзная перепись населения 1979 г. Численность городского населения РСФСР, ее территориальных единиц, городских поселений и городских районов по полу [Электронный ресурс] // Демоскоп Weekly: электронный журнал. Институт демографии Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики». URL: http://demoscope.ru/weekly/ssp/0517/rus79_reg2.php (дата обращения: 15.03.2014).
9. Всесоюзная перепись населения 1989 г. Численность городского населения РСФСР, ее территориальных единиц, городских поселений и городских районов по полу [Электронный ресурс] // Демоскоп Weekly: электронный журнал. Институт демографии Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики». URL: http://demoscope.ru/weekly/ssp/0517/rus89_reg2.php (дата обращения: 15.03.2014).
10. Всероссийская перепись населения 2002 г. Численность городского населения России, ее территориальных единиц, городских поселений и городских районов по полу [Электронный ресурс] // Демоскоп Weekly: электронный журнал. Институт демографии Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики». URL: http://demoscope.ru/weekly/ssp/0517/rus02_reg2.php (дата обращения: 15.03.2014).
11. Глушков В.М. О прогнозировании на основе экспертных оценок / В.М. Глушков // Кибернетика. – 1969. – № 2. – С. 8–17.
12. Евтеев О.А., Ковалев С.А. Население и трудовые ресурсы // Комплексные региональные атласы. – М., 1976. – Гл. 16.
13. Елисеева И.И., Юзбашев М.М. Общая теория статистики: Учебник / под ред. И.И. Елисеевой. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2004. — 656 с.

- 14.Изард У. Методы региональной науки: введение в науку о регионах. – М.: Прогресс, 1968. – 659 с.
- 15.Карта плотности населения [Карты]: тематическая карта. – 1:1 500 000 // Московская область. Атлас. – М.: ГУГК, 1976. – С. 22.
- 16.Книжников Ю.Ф, Кравцова В.И. Аэрокосмические методы картографирования и географических исследований // Итоги науки и техники. Том 2. – М.: ВИНТИ, 1984. – 139 с.
- 17.Ковалёв С.А., Ковальская Н.Я. География населения СССР. – М.: Изд. МГУ, 1980. – 286 с.
- 18.Колесников Ю. Глобальная база данных помогает спасателям [Электронный ресурс] // Русский базар: электронный журнал. – 2005. – № 3. URL: <http://russian-bazaar.com> (дата обращения 3.12.2013).
- 19.Константинов О.А., Покшишевский В.В. О новых направлениях в развитии советской экономической географии. – Л., 1970.
- 20.Концепция совершенствования региональной политики в Российской Федерации на период до 2020 года (проект). [Электронный ресурс] – М., 2011.
URL:http://www.minregion.ru/uploads/attachment/documents/2011/03/2403/konсер_reg_pol.doc (дата обращения: 10.08.2014).
- 21.Кушнырь О.В. Анализ концентрации населения по данным с растровой структурой // Геодезия и картография. – 2014. – № 7. – С. 39-43.
- 22.Кушнырь О.В., Макаренко А.А. Использование данных дистанционного зондирования Земли для определения плотности населения // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2013.– № 6 (с). – С.110-113.
- 23.Кушнырь О.В. Ночная космическая съёмка как индикатор распространения населения // Земля из космоса. – 2014. - № 2 (18). – С. 94-98.
- 24.Кушнырь О.В. Разработка методики определения плотности населения по ночным снимкам DMSP OLS // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2014. – № 1. – С. 66-70.

- 25.Лаппо Г.М. Развитие городских агломераций в СССР. – М.: Наука, 1978. – 305 с.
- 26.Лаппо Г.М. Рассказы о городах. – М.: Недра, 1972. – 188 с.
- 27.Лаппо Г.М., Пивоваров Ю.Л., Зайончковская Ж.А. и др. География населения СССР в условиях НТР: Основные факторы и изменения населения. – М.: Наука, 1988. – 167 с., ил.
- 28.Леш А. Плановое хозяйство. - Варшава: 1961.
- 29.Липец Ю.Г. Системное моделирование в экономической и социальной географии // Итоги науки и техники. Т.5. – М.: ВИНТИ, 1987. – С.47-55.
- 30.Липец Ю.Г., Чижов Н.Н. Статистические методы изучения потенциала поля городского расселения // Проблемы современной урбанизации. – М.: Статистика, 1972. – С. 204–222.
- 31.Листенгурт Ф.М. Критерии выделения крупномасштабных агломераций в СССР // Известия АН СССР. Сер. географ. – 1975.– № 1. – С. 41-48.
- 32.Лурье И.К., Косиков А.Г. Теория и практика цифровой обработки изображений.– М.: Научный мир, 2003.– 168 с.
- 33.Лютый А.А., Малахова Н.Н. Аэрокосмическая информация в изучении и картографировании социально-экономических территориальных систем. – М.: Институт географии АН СССР, 1987. – 108 с.
- 34.Махрова А.Г., Нефедова Т.Г., Трейвиш А.И.. Современные особенности территориальной структуры [Электронный ресурс] // Демоскоп Weekly: электронный журнал. 2012. № 517-518. URL: <http://demoscope.ru/weekly/2012/0517/tema03.php> (дата обращения: 13.01.2013).
- 35.Махрова А.Г., Нефедова Т.Г., Трейвиш А.И. Субурбанизация и постсубурбанизация в условиях развитой агломерации (на примере Московской области) [Электронный ресурс] // Материалы XII ежегодной конференции «Леонтьевские чтения»: [презентация]. 2013. URL: http://uisrussia.msu.ru/docs/nov/Leontief/2013/4-1_Mahrova.pdf (дата обращения: 07.06.2014).

- 36.Махрова А.Г., Перцик Е.Н. Агломерации второго порядка Московского столичного региона (типологический анализ) // Вестник Московского Университета. Серия 5. География. – 1988. – № 6. – С. 3-9.
- 37.Мелуа А.И. Применение космических снимков при изучении крупных городов и городских агломераций // Проблемы больших городов, вып. 4. – М.: Гос. науч.-иссл. ин-т научн. и техн. информ., 1981.
- 38.Месарович М. и др. Общая теория систем: математические основы. – М.: Мир, 1978. – 311 с.
- 39.Методические установки по созданию эколого–географической карты масштаба 1:2 500 000 / под ред. О.А. Евтеева. – М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1992. – 111 с.
- 40.Молодикова И.Н., Ханин С.Е. Использование потенциала поля расселения для прогноза развития городов региона (на примере Московской области) // Вестник Московского Университета. Серия 5. География. – 1985. – № 5. – С. 39-45.
- 41.Московская область. Карта автомобильных дорог / сост. и подгот. к изд. ООО «Атолл-Н»; ред. Л.В. Подгорская. – 1:400 000. – Омск: ФГУП «Омская картографическая фабрика», 2009.
- 42.Московский столичный регион: территориальная структура и природная среда. (Опыт географического исследования) / под ред. Г.М. Лаппо, Г.А. Гольца, А.И. Трейвиша. – М.: ИГ АН СССР, 1988. – 320 с.
- 43.Новые идеи в географии. Городские системы и информатика: Сб. статей. Вып. 2. – М.: Прогресс, 1976. – 246 с.
- 44.Новый взгляд на экономическую географию. Доклад о мировом развитии 2009. (Обзор) [Электронный ресурс] / Международный банк реконструкции и развития. Всемирный банк. 2008. URL: http://siteresources.worldbank.org/INTWDR2009/Resources/4231006-1225840759068/WDR09_OVERVIEW_RU_Web.pdf (дата обращения: 7.12.2013).

45. Новый словарь иностранных слов. – М.: Изд. центр «Азбуковник», 2008. – 1040 с.
46. Петров Н.В. Городские агломерации: состав, подходы к делимитации // Проблемы изучения городских агломераций. – М.: ИГ АН СССР, 1988. – С.6-25.
47. Пивоваров Ю.Л. Урбанизация России в XX веке: представления и реальность // Общественные науки и современность. – 2001. – № 6. – С. 101-113.
48. Подмосковье [Карты]: общегеографическая карта. – 1:1 500 000 // Атлас мира / сост. и подгот. к изд. ПКО «Роскартография». – 3-е изд. – М., 1999. – С.18: цв. карта; 25х25 см.
49. Полян П.М. Возрождение через столетие? Дазиметрические карты В.П. Семенова–Тян–Шанского и перспективы их построения и использования в информационном поле XXI века / П.М. Полян // Территориальные структуры – урбанизация – расселение: теоретические подходы и методы изучения. – М.: Новый хронограф, 2014. – Гл. 2. – С. 144-165.
50. Полян П.М. Методика выделения и анализа опорного каркаса расселения. 1 часть. – М.: ИГ АН СССР, 1988. – 220 с.
51. Полян П.М. Теоретические и методические аспекты изучения магистралей и полимагистралей. – М.: Изв. АН СССР. Сер. Геогр., 1979. – №1. – С. 31-41.
52. Полян П.М. Урбанизированность СССР (к методике оценки и картографирования) // Изв. АН СССР. Сер. географическая. – 1987. – № 2. – С. 35-42.
53. Постановление Правительства МО от 30.12.2003 № 743/48 «Об утверждении Основных направлений устойчивого градостроительного развития Московской области» [Электронный ресурс]. URL: kremlin-moscow.com/documents2/datxa/stat-diveyg/index.htm (дата обращения: 10.08.2014).

54. Российская Федерация. Законы. Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации [Текст] : федер. закон : [принят Гос. Думой 15 декабря 2004 г.: одоб. Советом Федерации 24 декабря 2004 г.] [Электронный ресурс] // Правовой сайт «КонсультантПлюс». URL: base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?reg=doc;base=LAW;n=50940 (дата обращения: 10.08.2014).
55. Саймон Г. Науки об искусственном: пер. с англ. – М.: Едиториал УРСС, 2009. – 3-е изд. – 144 с.
56. Семенов–Тянь–Шанский В.П. Дазиметрическая карта Европейской России. – Петроград: Научное Химико–Техническое издательство, 1923. – 26 с.
57. Социологические проблемы польского города / под ред. О.Н. Яницкого. – М.: Прогресс, 1966. – 375 с.
58. Схема территориального планирования Московской области – основные положения градостроительного развития. Утверждена постановлением Правительства Московской области от 11.07.2007 г. № 517/23. [Электронный ресурс] – URL: guag.mosreg.ru/userdata/doc-13/1.doc (дата обращения: 10.08.2014).
59. Теоретические и общие вопросы географии // Итоги науки и техники. – ВИНТИ, 1987. – Том 5. - 167 с.
60. Тикунов В.С.. Моделирование в картографии: Учебник. – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 405 с.
61. Типы населенных пунктов [Карты]: тематическая карта. – 1:3 500 000 // Атлас Забайкалья. – М.: Изд-во ГУГК, 1967. –С. 102-103.
62. Урбанистический разговорник 2011. 30 главных понятий о городском развитии [Электронный ресурс] // Материалы Международного урбанистического форума «Глобальные решения для российских городов». 2011. URL: <http://slidershare.net/urbanforum712/ss-10705048> (дата обращения: 20.01.2012).

- 63.Фёрстер Э., Рёнц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа. Руководство для экономистов / пер. с немецкого и предисловие В.М. Ивановой. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 304 с.
- 64.Хорев В.С. Проблемы городов: Урбанизация и единая система расселения. – М.: Мысль, 1975. – 428 с.
- 65.Червяков В.А. Концепция поля в современной картографии. – Новосибирск: Наука, 1978. – 135 с.
- 66.Численность населения Российской Федерации по городам, посёлкам, городского типа и районам на 1 января 2010.– М.: Росстат, 2010.
- 67.Шаши Шекхар, Санжей Чаула. Основы пространственных баз данных / пер. с англ. – М.: КУДИЦ–ОБРАЗ, 2004. – 336 с.
- 68.Ягельский А. География населения. – М.: Прогресс, 1980. – 368 с.
- 69.Cheng L., Zhou Y., Wang L., Wang S., Du C. An estimate of the city population in China using DMSP night-time satellite imagery [Электронный ресурс] // Geoscience and Remote Sensing Symposium. – Barcelona, 2007. – P. 691-694. URL:
http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=4422890&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D4422890
(дата обращения 10.05.2013).
- 70.Clark C. Urban population densities // Journal of the Royal Statistical Society. – 1951. – Vol. CXIV, part IV (Series A). – P. 490-496.
- 71.Dobson J.E. LandScan: A global population database estimating populations at risk / J.E. Dobson, E.A. Bright, P.R. Coleman, R.C. Durfee, B.A. Worley // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2000. –N 7. – P. 849-857.
- 72.Doll C. Population detection profiles of DMSP-OLS night-time imagery by regions of the world [Электронный ресурс] // The 30th Asia-Pacific Advanced Network. – 2010. – Vol. 30. – P. 190–206. URL:
<http://journals.sfu.ca/apan/index.php/apan/article/view/92> (дата обращения 10.05.2013).

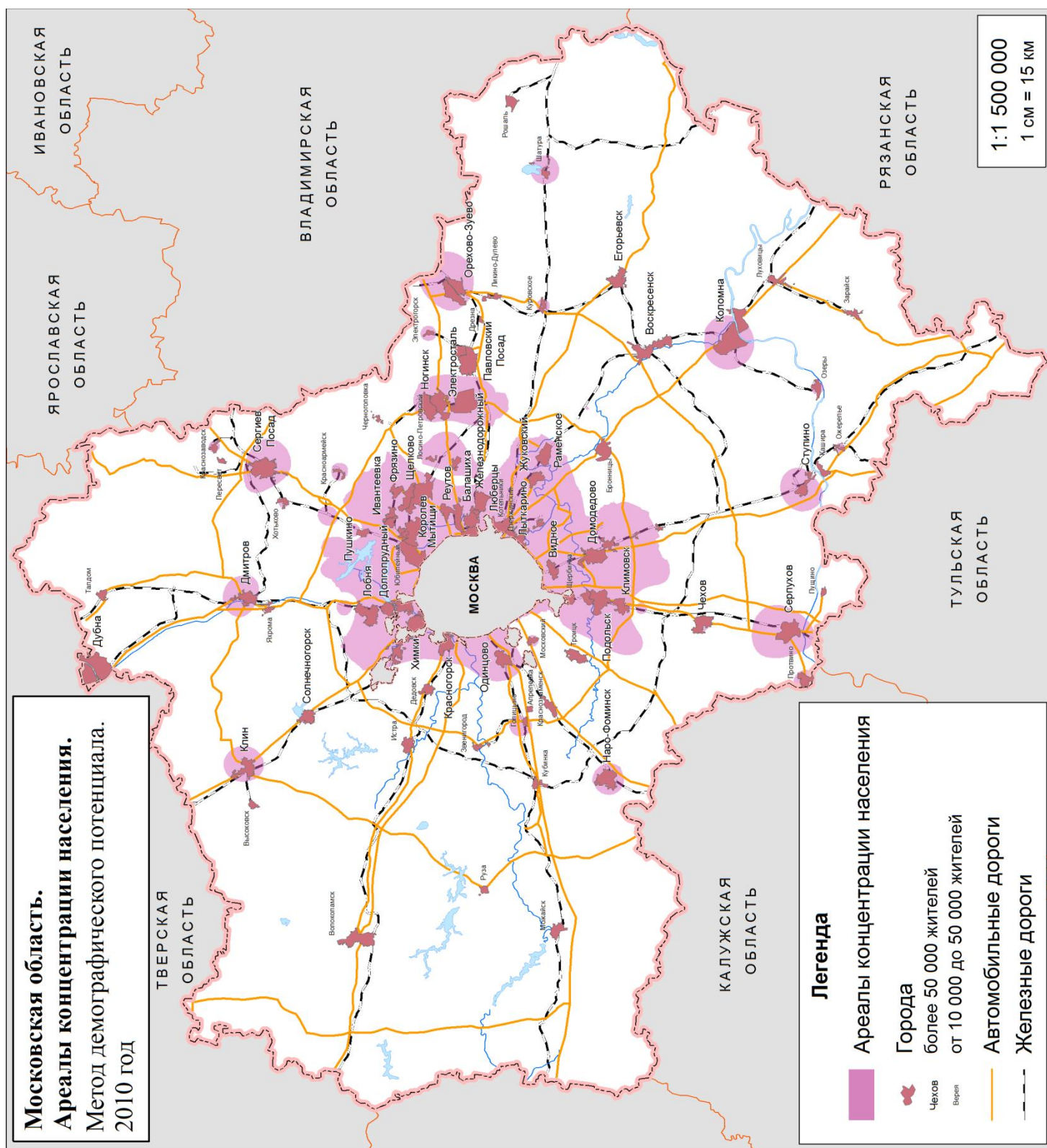
73. Doll C., Muller J-P. An evaluation of global urban growth via comparison of DCW and DMSP-OLS satellite data [Электронный ресурс] // Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'99). – Hamburg, 1999. – P. 1134–1136. URL: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=774556&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D774556 (дата обращения 10.05.2013).
74. Elvidge C.D. Mapping city lights with nighttime data from the DMSP operational linescan system / C.D. Elvidge, K.B. Baugh, E.A. Kihn, H.W. Kroehl, E.R. Davis // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1997. – Vol. 63, № 7. – P. 727-734.
75. Elvidge C.D. The Nightsat mission concept [Электронный ресурс] / C.D. Elvidge; P. Cinzano; D.R. Pettit; J. Arvesen; P. Sutton; C. Small; R. Nemani; T. Longcore; C. Rich; J. Safran; J. Weeks; S. Ebener // International Journal of Remote Sensing. – 2007. – Vol. 28, № 12. – P. 2645-2670.
76. Elvidge C.D., Baugh K.E., Hobson V.R., Kihn E.A., Kroehl H.W., Davis E.R., Cocero D. Satellite inventory of human settlements using nocturnal radiation emissions: A contribution for the global toolchest // Global Change Biology. – 1997. – Vol. 3, N 5. – P. 387-395.
77. Elvidge C.D., Safran J., Tuttle B., Sutton P., Cinzano P., Pettit D., Arvesen J., Small Ch.. Potential for global mapping of development via a nightsat mission // Geojournal. – 2007. – N 69. – P. 45–53.
78. Hermansen T. Spatial organization and economic development. – Mysore: Institute of Development Studies, Mysore University, 1971. – 86 p.
79. Imhof M., Lawrence W., Stutter D., Elvidge C. A technique for using composite DMSP OLS "City Lights" satellite data to map urban area // Remote Sensing of Environment. – 1997. – N 61. – P. 361–370.
80. Jensen J.R., Cowen D.C. Remote sensing of urban/suburban infrastructure and socio-economic attributes // Photogrammetric engineering and remote sensing. – 1999. – Vol. 65, N 5. – P. 611–622.

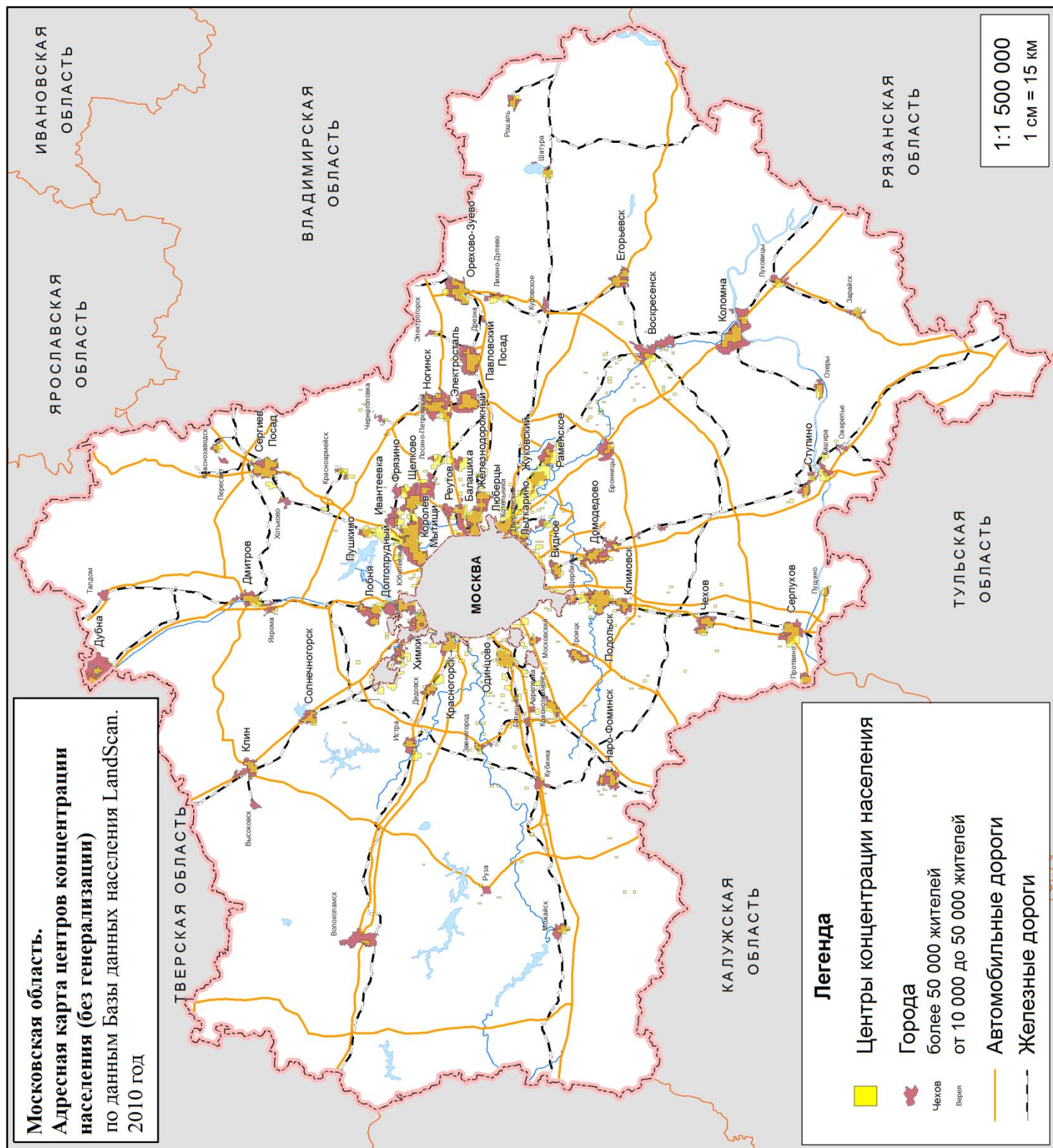
81. Kotlyakov V., Komarova A. Elsevier's dictionary of geography. English–Russian–French–Spanish–German. – The Netherlands: Elsevier Amsterdam, 2007. – 1072 p.
82. LandScan documentation [Электронный ресурс] / Oak Ridge National Laboratory [сайт]. URL: http://web.ornl.gov/sci/landscan/landscan_documentation.shtml (дата обращения: 05.09.2013).
83. Lo C.P. Modeling the population of China using DMSP operational linescan system nighttime data // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2001. – N 67. – P. 1037–1047.
84. Nordbeck S. Urban allometric growth // Geografiska Annaler. Series B, Human Geography. – 1971. – №1. – P. 54-67.
85. Qing Liu. Relationships between nighttime imagery and population density for Hong Kong [Электронный ресурс] / Qing Liu, P.C. Sutton, C.D. Elvidge // Proceedings of the Asia–Pacific Advanced Network. – 2011. – Vol. 3. – P. 79-90. URL: <http://dx.doi.org/10.7125/APAN.31.9> (дата обращения: 15.11.2013).
86. Rashed T., Jurgens C. Remote sensing of urban and suburban areas. – Springer Science+Business Media B.V., 2010. – 352 p.
87. Stewart J., Warntz W. Physics of population distribution // Journal of regional science. – 1958. – №1. – P. 99-123.
88. Sutton P.C. Census from heaven: estimation of human population parameters using nighttime satellite imagery [Электронный ресурс] // UC Santa Barbara. Department of Geography [Santa Barbara, 1999]. URL: http://www.geog.ucsb.edu/graduates/phd-dissertations/pdf/Sutton_Paul_Dissertation_1999.pdf (дата обращения: 10.07.2013).
89. Sutton P.C. Estimation of human population parameters using night-time satellite imagery / Mesev V. // Remotely Sensed Cities. – London: Taylor & Francis, 2003. – P. 301–334.

90. Sutton P., Roberts D., Elvidge C., Meij H. Comparison of nighttime satellite imagery and population density for the continental United States // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 1997. – Vol. 63, N 3. – P. 1303-1313.
91. Sutton P., Elvidge C., Obremski T. Building and evaluating models to estimate ambient population density // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 2003. – Vol. 69, N 5. – P. 545–553.
92. Tobler W. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region // Economic Geography. – 1970. – Vol. 46, N 2. – P. 234-240.
93. Travel time to major cities: A global map of Accessibility. Download the map [Электронный ресурс] / Joint Research Centre EC [сайт]. URL: http://bioval.jrc.ec.europa.eu/products/gam/download/accessibility_path_final.pdf (дата обращения 10.10.2013).
94. Travel time to major cities: A global map of Accessibility. Data sources [Электронный ресурс] / Joint Research Centre EC [сайт]. URL: <http://bioval.jrc.ec.europa.eu/products/gam/sources.htm> (дата обращения: 7.12.2013)
95. Uchida H., Nelson A. Agglomeration index: Towards a new measure of urban concentration. background paper for the World Bank's. World Development Report 2009 [Электронный ресурс]. URL: <http://siteresources.worldbank.org/INTWDR2009/Resources/4231006-1204741572978/Hiro1.pdf> (дата обращения: 7.12.2013).
96. Version 4 DMSP-OLS Nighttime Lights Time Series [Электронный ресурс] // NOAA National geophysical data center [сайт]. URL: <http://ngdc.noaa.gov/eog/dmsp/downloadV4composites.html> (дата обращения: 25.09.2012).

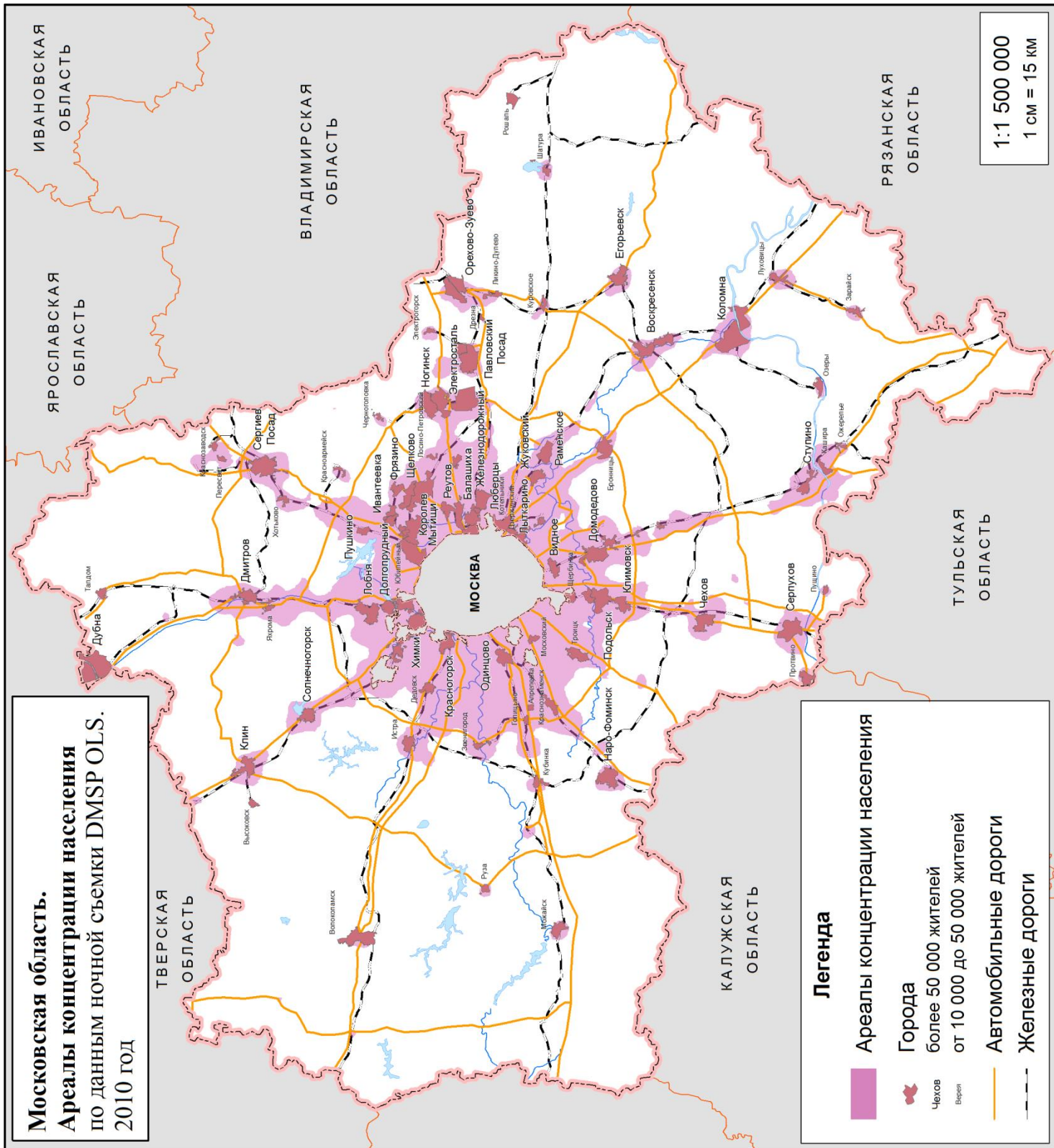


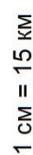
ПРИЛОЖЕНИЕ А.2





ПРИЛОЖЕНИЕ А.4





ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Сравнительные характеристики методов обработки данных

Методы обработки данных		Используемые данные		Характеристики данных					Недостатки
				Ежегодное обновление	Доступность получения данных	Необходимость цифровой обработки	Дополнительные вычисления для определения статистического показателя	Возможность сплошного отображения плотности населения	
Методы, традиционно используемые в картографии	Дазиметрический метод	границы населенного пункта	людность населенного пункта	+	+	-	+	-	Преувеличение ареалов концентрации населения для средних населенных пунктов
	Метод демографического потенциала	центр населенного пункта	людность населенного пункта	+	+	-	+	-	Сильно формализованные границы ареалов концентрации населения
Метод, основанный на использовании данных со структурой в виде регулярной решетки		Композитная карта ночной космической съемки DMSP OLS		+	+	+	-	+	Выделение производственных центров плотностью <500 человек/км ²
		База данных населения LandScan		+	-	+	-	+	Высокая детализация информации
		Карта транспортной доступности ("A global map of Accessibility")		-	+	+	-	+	Вытягивание границ в районах транспортных магистралей

ПРИЛОЖЕНИЕ В

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального конструктора
ОАО «Российские космические системы»

В.А. Селип

10 2014 г.

АКТ О ВНЕДРЕНИИ

результатов диссертационной работы
Кушнырь Оксаны Валерьевны
в Научном центре оперативного мониторинга Земли
ОАО «Российские космические системы»

Комиссией в составе заместителя начальника НЦ ОМЗ по науке, к.т.н. А.А. Емельянова, начальника отдела К.С. Емельянова, начальника сектора, к.ф.-м.п. Л.А. Гришанцевой, ведущего научного сотрудника, к.т.п. Л.И. Пермитиной установлено, что следующие результаты диссертационной работы О.В. Кушнырь «Разработка методики картографирования ареалов концентрации населения», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 25.00.33 «Картография», внедрены в практическую деятельность НЦ ОМЗ ОАО «Российские космические системы».

1. Методика картографирования ареалов концентрации населения с использованием единой шкалы соотношения основных параметров расселения использована для оценки демографического давления на территорию в процессе выполнения «пилотного» проекта в рамках Межведомственной рабочей группы по формированию требований и критериев осуществления дистанционного зондирования Земли в целях Федерального государственного экологического надзора.

2. Алгоритм обнаружения изменений ночной освещенности территории использован при отработке технологии создания базового продукта дистанционного зондирования Земли – мультитимеменного композита данных ночной съемки, предназначенного для детектирования изменений использования территорий (в том числе появления новых промышленных объектов при осуществлении экологического надзора), в рамках ОКР «Регион-В-Архив», выполняемой по заказу Федерального космического агентства, в период 2012-2013 гг.

Заместитель начальника НЦ ОМЗ по науке, к.т.н.

А.А. Емельянов

Начальник отдела перспективного развития и
научно-методического обеспечения НЦ ОМЗ

К.С. Емельянов

Начальник сектора НЦ ОМЗ, к.ф.-м.п.

Л.А. Гришанцева

Ведущий научный сотрудник НЦ ОМЗ, к.т.п.

Л.И. Пермитина