

Санкт-Петербургский государственный университет

ДУБИНА Анна Валерьевна

Выпускная квалификационная работа

Сравнительный анализ роста городов по данным дистанционного зондирования

Уровень образования: бакалавриат

Направление 05.04.03 «Картография и геоинформатика»

Основная образовательная программа СВ.5020 «Картография и геоинформатика»

Профиль «Геоинформатика»

Научный руководитель:

к.г.н., доцент СПбГУ,

Артемьева Ольга Владимировна

Рецензент: д.г.н.,

профессор СПбГЭУ,

Корнекова Светлана Юрьевна

Санкт-Петербург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ГОРОДА В СИСТЕМЕ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.....	5
1.1. Город как объект картографирования в системе территориальной структуры государства.....	5
1.2. Типология населенных пунктов Российской Федерации. Основные понятия.....	12
1.3. Анализ литературного и картографического фонда по вопросам картографирования городов.....	14
1.4. Основные характеристики городов Российской Федерации на примере Волгограда, Омска, Симферополя и Сочи.....	21
1.4.1. Волгоград.	21
1.4.2. Омск.	24
1.4.3. Симферополь.	28
1.4.4. Сочи.	32
ГЛАВА 2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В КАРТОГРАФИРОВАНИИ ГОРОДОВ.....	35
ГЛАВА 3. СОЗДАНИЕ ВИЗУАЛЬНЫХ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ГОРОДОВ ВОЛГОГРАД, ОМСК, СИМФЕРОПОЛЬ, СОЧИ.....	50
3.1. Общая технология создания визуальных картографических моделей городов.....	50
3.2. Волгоград.....	58
3.3. Омск.....	61
3.4. Симферополь.....	65
3.5. Сочи.....	70
ГЛАВА 4. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ ГОРОДОВ ВОЛГОГРАД, ОМСК, СИМФЕРОПОЛЬ, СОЧИ ЗА ПЕРИОД 2000-2019 ГГ.....	75
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	80
ЛИТЕРАТУРА.....	81
Приложение №1. Волгоград. Динамика городской застройки.....	85
Приложение №2. Омск. Динамика городской застройки.....	86
Приложение №3. Симферополь. Динамика городской застройки.....	87
Приложение №4. Сочи. Динамика городской застройки.....	88

ВВЕДЕНИЕ

Городские земли составляют небольшую долю поверхности Земли, но в них сосредоточена абсолютно большая часть экономических, социальных и культурных ресурсов. В 2019 г. в России почти 75% населения, а также огромное число объектов промышленности, науки и пр. уже сосредоточено в городах, не смотря на огромную территорию государства. Картографирование городских земель имеет огромную роль для эффективности принятия управленческих решений в целях достижения устойчивого развития территории, а также для изучения региона. Появляется возможность прогнозирования таких показателей, которые в первую очередь влияют на экономическую эффективность города и качество жизни населения. Именно поэтому работа «Сравнительный анализ роста городов по данным дистанционного зондирования» актуальна.

Данные дистанционного зондирования Земли полезны для мониторинга пространственного распределения и роста городских застроенных районов из-за их доступности. Эти данные постоянно обновляются и содержат в себе огромное количество информации, которую порой невозможно получить другими методами, существенно уменьшая экономические издержки исследований. За последние несколько десятилетий исследователи стали проявлять все больший интерес к использованию ДДЗ для решения городских проблем.

Объект исследования – визуальные картографические модели динамики городской застройки.

Предмет исследования: методы дистанционного зондирования Земли.

Целью исследования является проведение сравнительного анализа роста городов с помощью ДДЗ.

Для выполнения цели исследований поставлены следующие задачи:

- 1) Изучить город, как объект системы населенных пунктов государства.
- 2) Изучить вопрос картографирования городов.
- 3) Исследовать опыт применения ДДЗ для картографирования городов.
- 4) Составить визуальные картографические модели, на которых отображена динамика городской застройки.
- 5) Сопоставить полученные результаты, в ходе проведения анализа.

Научная значимость работы: разработана технологическая схема составления визуальных картографических моделей, которая может быть применена для других населенных территорий.

Практическая значимость работы: визуальные картографические модели, полученные в ходе выполнения исследования, могут быть использованы в научных и практических целях. Сравнительный анализ способствует пониманию, как территории, находящиеся в разных физико- и экономико-географических условиях, с разной исторической планировкой, меняют характер своей застройки. В дальнейшем это поможет привести к прогнозированию темпов роста, предсказывать характер изменения застройки. Станет понятно, какие районы имеют те или иные перспективы развития, что при правильном использовании этих данных приведет к экономическому росту городов и повышению качества жизни населения.

Для выполнения работы использовалось следующее программное обеспечение: QGIS 3.12.1 и ArcGIS 10.6.1 (ArcMap, ArcCatalog). Источник ДДЗ – Национальная Геологическая служба США. Источники остальной пространственной информации – GIS-lab; Next.GIS; OSM, ВСЕГЕИ. В качестве справочной информации использовались: книги и научные журналы предметной области, научные статьи прошлых лет, а также источники сети Интернет. Работа выполнена при помощи компьютера с ОС Windows 10 PRO и составлена в Microsoft Word 2013.

ГЛАВА 1. ГОРОДА В СИСТЕМЕ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

1.1. Город как объект картографирования в системе территориальной структуры государства.

Согласно современному определению: город – это населенный пункт, большая часть населения которого, как правило, не занята в сельском хозяйстве. Этот статус закрепляется законодательно на уровне субъекта РФ. В 2018 г. 55% всего населения Земли сосредоточено именно в городах, хотя в 1950 г. уровень урбанизации был 30%, а к 2050 г. увеличится до 68% (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, 2019)

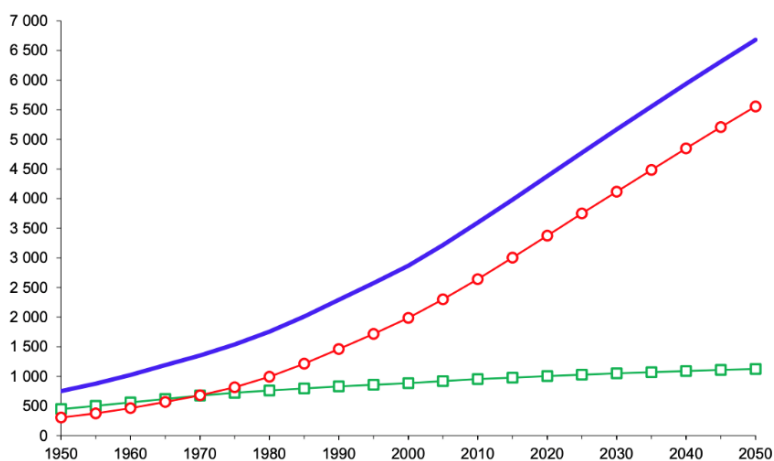


Рис.1. Расчетное и прогнозируемое городское население мира, более развитые регионы и менее развитые регионы, 1950-2050 (по вертикали: численность населения (млн), по горизонтали: года; синий – мир, зеленый – менее развитые, красный – более развитые).

В России в январе 2019 г. зафиксировано, что 74,69% населения проживают в городах (Росстат, 2019). Так как более 110 миллионов человек сосредоточены именно в городах, то их картографирование является показательным для отображения многих явлений, в том числе социально-экономических.

Одним из ключевых признаков города является урбанистическая концентрация. Сосредоточенность множества объектов и различных видов деятельности на ограниченной территории позволяет получить экономический выигрыш, но имеет и ряд негативных последствий (Лаппо, 1998). К примеру, образование моногорода с вредным промышленным предприятием ведет не только к тенденции ухудшения здоровья населения, экологическим проблемам, но и к экономическим проблемам в долгосрочной перспективе из-за риска закрытия предприятия.

Многофункциональность города, в случае эффективного использования физико- и экономико-географического положения, инфраструктуры и высококвалифицированных кадров позволяет городу выжить в условиях рыночной экономики и изменяющихся технологий, что ведет к его динамическому развитию. Это выражается в перепланировках улиц, трансформированию функциональной структуры, адаптации планировок. Это свойство города породило концепцию динамополиса (рис.2.) (Лаппо, 1998).

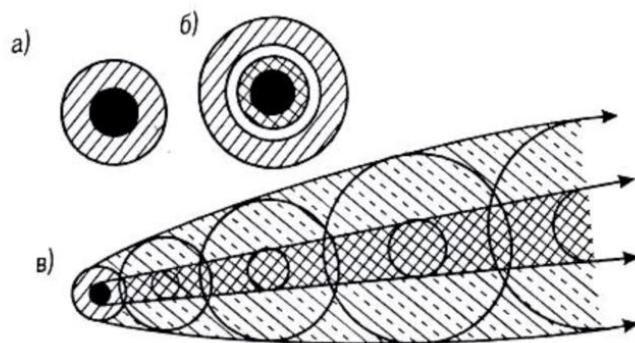


Рис.2. Схема динамического города К. Доксиадиса:

а – компактный город; б – концентрическое расширение города, угнетающее его развитие; в – разрастание города в одном направлении, не препятствующее развитию как самого города, так и его центра.

Городу свойственна историческая многослойность. Это видно на смене стилей архитектуры, переход к застройке иного типа (от свободной к квартальной, радиальной и др.), изменение размеров линейных и площадных структур. Населенные пункты, существующие несколько столетий и более, способны отразить глубину истории. Памятники архитектуры, древние сооружения становятся центрами притяжения туристов, что в дальнейшем способствует саморазвитию города.

Вышеописанные свойства порождают городскую противоречивость и парадоксальность. Экологическое благополучие обеспечивается в основном природным окружением, но при увеличении урбанизированного пространства, населенный пункт «отдаляется» от природы. Благоустроенный город привлекает множество людей, причем и высококвалифицированных кадров, и маргинальное неблагополучное население, что приводит к ухудшению качества городской среды и способствует возникновению ситуаций криминального характера. Строительство новых жилых районов ведет не только к увеличению жилых мест, но и к росту инженерных сетей, транспортных маршрутов, затрат времени и на поездки (Лаппо, 1998).

Экономико-географическое положение (ЭГП) – вид географического положения, определяемый как "совокупность пространственных отношений предприятий, населенных пунктов, ареалов, районов, отдельных стран и их групп к внешним объектам, имеющим для них экономическое значение" (Географический энциклопедический словарь, 1988). Или отношение объекта (города, района, страны) к вне его лежащим данностям, имеющим то или иное экономическое значение, - все равно, будут ли эти объекты природного порядка или созданные в процессе истории (Баранский, 1980). ЭГП города является ключевым фактором его развития, наряду с городской средой.

Рассматривая территориальные уровни ЭГП, различают (Баранский, 1980):

- 1) микроположение - положение по отношению к ближайшим окрестностям, которое нужно изучать по крупномасштабной карте;
- 2) мезоположение – положение города внутри района, к которому он относится; внутри России это чаще всего крупный экономический район;
- 3) макроположение – положение относительно отдаленных данностей, которое нужно изучать на мелкомасштабной карте страны, материка или даже мира (выделение территориальных уровней зависит от ранга города, не имеет смысла говорить о макроположении малого города).

Изучение территории города именно на этих уровнях позволяет понять, почему здесь возник город и в каких направлениях он будет развиваться дальше.

Важным аспектом исследования городов является географическое положение как качественная характеристика размещения: центральное, периферическое и соседское (Маергойз, 1946). Центральное положение говорит о числе потенциальных связей с другими объектами, не всегда обозначая положение в географическом центре какой-либо территории (например, Москва занимает центральное положение исходя из системы расселения и расположения транспортных путей). Периферическое положение создает дополнительные издержки экономическим агентам. Расположение городов на реке Волге было обусловлено выпуклым изгибом реки, так как при остальных равных условиях могли обслуживать большие территории, иметь большие связи (рис.3.). Во времена, когда взаимодействия между населенными пунктами осуществлялось преимущественно с помощью речного транспорта, такое расположение давало конкурентное преимущество (Земцов, Бабурин, 2016).

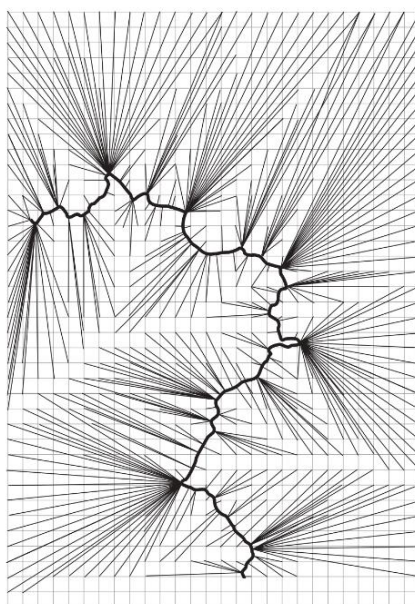


Рис.3. Картограмма изгибов основного русла реки Волги с прямыми линиями, обозначающие зоны потенциального взаимодействия (Рогачев, 2006).

Переходы от одного вида транспорту к другому, освоение новых полезных ископаемых, трансформирование структуры – все это меняет экономические отношения между городами, а значит и делает ЭГП динамичной характеристикой, которое определяется территориально-временными отношениями. Подъемы и спады города обычно определяются изменениями его ЭГП. Например, в городе Астрахани была заложена в 1558 г. важная опорная крепость береговой службы и засечной линии на Волге (рис.4.).



Рис.4. Опорные крепости береговой службы (сторожевой службы) и засечной линии Московского государства XVI в. (красным подчеркивается г. Астрахань) (Военная энциклопедия, 1911).

Через город проходили транспортно-торговые пути в направлении Закаспия и Северного Кавказа. Но в ходе освоения новых территорий, Астрахань оказалась «оторванной» от остальной территории Российского государства, вследствие чего развитие города затормозилось. Так же на это повлияло то, что железнодорожные пути сообщения были проложены позднее, чем в других городах этого региона. Во время Второй Мировой войны Астрахань стала важным узлом связи Урала и Казахстана с Кавказом, потому что были проложены новые железные дороги в Кизляр и Гурьев. Во время освоения газоконденсатного месторождения город преодолел пятисоттысячный рубеж населения, как результат улучшения ЭГП (Лаппо, 1998).

С образованием первых населенных пунктов и поселений в целом, было создано множество карт, схем и планов освоенных территорий. Картографирование городов началось с изображения их на графических рисованных планах типа «Плана Москвы» Сигизмунда Герберштейна (рис.5.), путешествовавшего в XVI по России. План дает изображение города в пределах Кремля, но мало достоверен, и расположение домов на нем совершенно условно (Прохорова, 2018).



Рис.5. План Москвы (Сигизмунд Герберштейн, 1556).

На картах городов отображается его планировка, достопримечательности, степень урбанизации и ее процессы, ландшафты, население и городское хозяйство, экологическое состояние, что в целом определяет их как географические карты. Их содержание может быть

совершенно разнообразным: физико-географические условия, социально-экономическое состояние, экология. Также они могут иметь и различный характер назначения: справочное, историко-культурное, туристское. Картографическое исследование населенных пунктов содержит большое количество задач, связанных с способом проведения работ, научной проработкой вопросов проектирования и составления карт. Формируются как фундаментальные картографические произведения, так и карты-однодневки для показа взаимодействия и зависимости компонентов городской среды между собой, используемых для решения прикладных задач.

Картографирование городов подразделяется на (рис.6.) (Прохорова, 2018):

- 1) Топографическое. Карты и планы, получаемые преимущественно с помощью аэрофото- и топографической съемки, общегеографические. Их используют для навигации, землеустройства и в других сферах. К топографическому картографированию относят атласы городов, на которых с большой точностью локализации показаны здания и строения, улицы и площади, реки, водоемы, железнодорожные платформы, все выходы станций метро (в тех городах, где они есть).
- 2) Инженерно-техническое, специальное. На картах и планах воспроизводится изображение инженерных коммуникаций и их характеристика. На аналитических и комплексных картах показываются сети различного назначения (электрические, газовые, водные, тепловые канализационные), подземные сооружения и другие объекты (на аналитических картах – один определенный вид объектов, с указанием количественных и качественных характеристик).

3) Тематическое. Создаются как отдельные карты, так и серии карт эколого-географической или социально-экономической тематик.

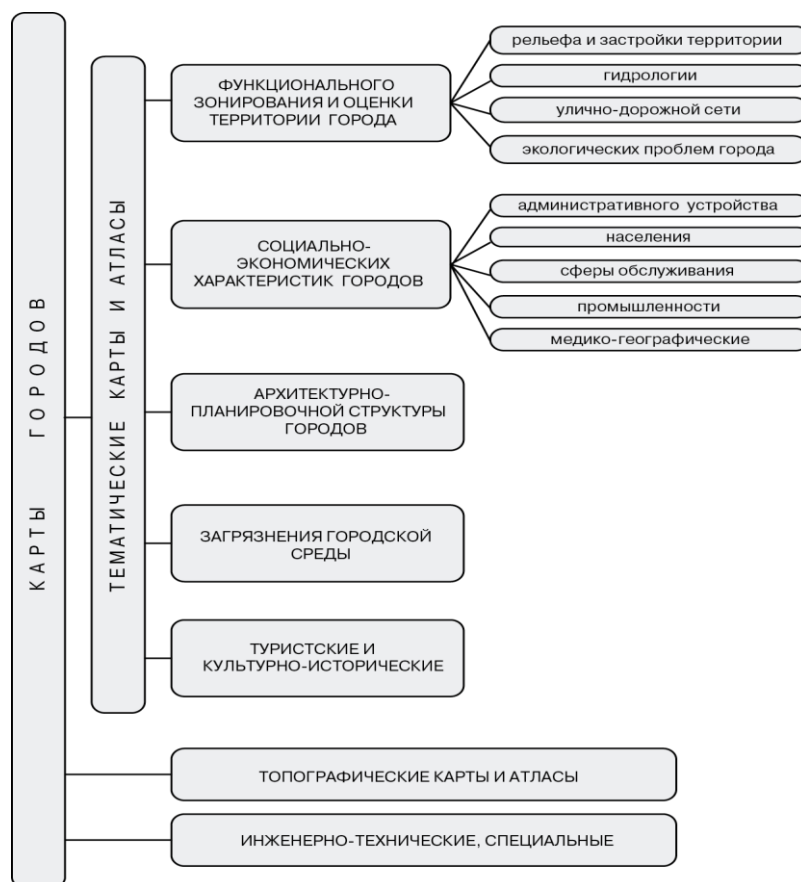


Рис.6. Классификация карт городов.

По назначению выделяют:

- 1) научно-справочные карты;
- 2) рекламно-презентационные;
- 3) научно-популярные;
- 4) учебно-краеведческие;
- 5) карты для туристов.

Некоторые карты автомобильных дорог также можно отнести к городскому картографированию, если они содержат достаточно подробную информацию по каждому населенному пункту.

Тематическое картографирование городов является основой любой муниципальной ГИС для управления городской территорией и создания генерального плана, схемы территориального развития города. Она состоит из компонентов, описывающих городскую инфраструктуру, финансовые, культурно-развлекательные, медицинские и другие учреждения, содержит информацию об архитектурных достопримечательностях, маршрутах

городского транспорта, включает поисковую систему улиц и других объектов, обозначенных на карте по названию, домов и строений – по адресу.

Особенную ветвь картографирования образуют карты и атласы городов. Быстрый рост населения и концентрация его на ограниченной территории, где сосредоточены финансовые, политические и общественные интересы большого числа людей, приводят к тому что, собственно роль города во всех сферах жизни общества возрастает, и, как следствие, увеличивается количество карт, отражающих всевозможные нюансы демографических, экономических и экологических свойств города.

1.2. Типология населенных пунктов Российской Федерации. Основные понятия.

Населенный пункт – часть территории, служащая постоянным или преимущественным местом проживания и жизнедеятельности людей, имеющая сосредоточенную застройку в пределах границы, установленной в соответствии с законодательством Российской Федерации (Закон МО, 2013).

В России на федеральном уровне нет нормативно-правовых актов, регулирующих статус населенных пунктов, за исключением городов федерального значения, так как те имеют статус отдельных субъектов РФ (Конституция РФ, 1993). Наделение населенного пункта тем или иным статусом - это предмет ведения субъектов РФ, то есть вопрос приобретения или утраты статуса рассматривается на региональном уровне.

Основные понятия, связанные с типами поселений (ФЗ-131, 2003):

- поселение - городское или сельское поселение;
- сельское поселение - один или несколько объединенных общей территорией сельских населенных пунктов (поселков, сел, станиц, деревень, хуторов, кишлаков, аулов и других сельских населенных пунктов), в которых местное самоуправление осуществляется населением непосредственно и (или) через выборные и иные органы местного самоуправления;
- городское поселение - город или поселок, в которых местное самоуправление осуществляется населением непосредственно и (или) через выборные и иные органы местного самоуправления;

Для всех субъектов РФ даются различные определения основных населенных пунктов. Для Московской области (Закон МО, 2013):

- городской населенный пункт - административно-территориальная или территориальная единица, являющаяся промышленным, экономическим и социальным центром, имеющая преимущественно средне- и многоэтажную жилую застройку, а также численность населения, соответствующую требованиям настоящего Закона;
- сельский населенный пункт - территориальная единица, не соответствующая совокупности признаков, установленных для городского населенного пункта;

Для Омской области (Закон Омской области, 2003):

- городской населенный пункт - населенный пункт, который, исходя из численности населения, социально-экономического и культурно-исторического значения, отнесен в установленном порядке к категории городов, рабочих или дачных поселков;
- сельский населенный пункт - населенный пункт (село, поселок, деревня, аул, хутор и иные), который не отнесен к категории городских населенных пунктов;

В общероссийском классификаторе муниципальных образований (ОКТМО) зафиксировано 69 типов наименований на общее количество 156 268 населенных пунктов.

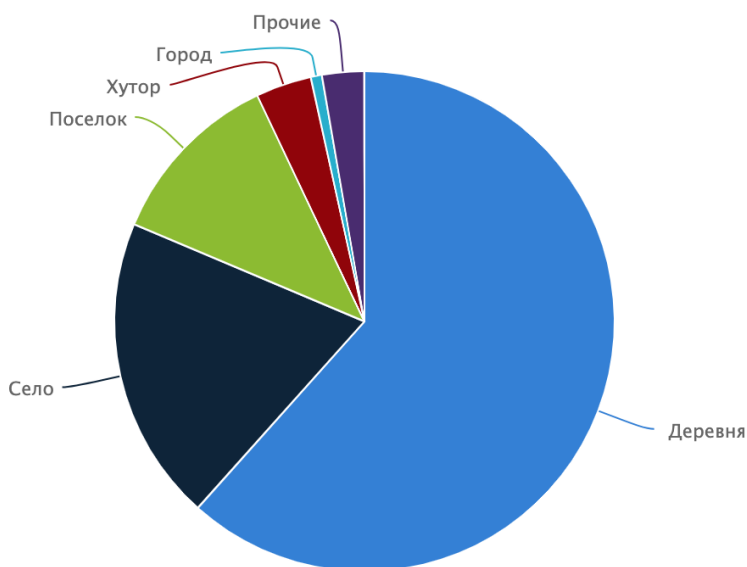


Рис.7. Доли основных типов населенных пунктов РФ.

По функциональной структуре города делятся на (Перцик, 1999):

- 1) многофункциональные, в которых сосредоточены экономические, культурные и административные функции;
- 2) с преобладанием промышленной и транспортной функций;
- 3) с преобладанием других функций, в основном поселения – «местные центры»;

- 4) города-курорты;
- 5) научные и научно-экспериментальные города (технополисы).

Критерии наделения статусом города, описанные в нормативно-правовых актах, в основном касаются численности населения и типа застройки, но в России существуют сельские населенные пункты, существенно превосходящие по численности населения городские. Например, самое большое сельское поселение в России – станица Каневская в Краснодарском крае (44 386 чел.) больше в 109 раз самого маленького города России – Иннополиса (407 чел.) (Росстат, 2010). То есть деление на сельский и городской населённый пункт происходит преимущественно исходя из доли не занятого в сельском хозяйстве экономически активного населения.

1.3. Анализ литературного и картографического фонда по вопросам картографирования городов.

Карта города - это крупномасштабная тематическая карта города (или части города), созданная для обеспечения максимально быстрой ориентации в городском пространстве. Поэтому графическое представление объектов на карте города обычно значительно упрощается и сводится к общепринятой символике. В зависимости от целевой аудитории или рынка, карта города будет включать не только транспортную сеть города, но и другую важную информацию, такую как достопримечательности города, общественные учреждения, функциональные зоны и прочие объекты.

Для составления карт городов необходимо использовать картографические основы разных масштабов. В зависимости от размера города, масштабы могут быть различны:

- 1) 1: 25 000–1:50 000 — обеспечивают картографирование города в целом;
- 2) 1:10 000–1:25 000 — дают возможность изучения территории отдельных административных районов;
- 3) 1:5 000–1:10 000 — позволяют дать детальное внутрирайонное картографическое описание территориальной инфраструктуры;
- 4) 1:2 000–1:5 000 — направлены на детальный показ зданий и сооружений города.

Плотно расположенные центральные районы иногда могут быть частично нарисованы в большем масштабе на отдельной подробной карте или показаны картами-врезками (рис.8.).

Помимо линейных карт с истинным масштабом, существуют также карты с переменным масштабом, например, где масштаб постепенно увеличивается к центру города.



Рис.8. Фрагмент карты города Стравангер, Норвегия (Scarrott, 2010).

Центральным элементом информации, предоставляемой картой города, является сеть улиц, включая названия улиц (часто дополненные хотя бы несколькими номерами домов), а также здания, парки и водные пути. Улицы и достопримечательности обычно также указываются в легенде или регистре, размещая объекты на сетке карты на карте. Важные места, такие как административные здания, культурные учреждения, достопримечательности и т. д., могут быть выделены с помощью пиктограмм. Карта также может быть дополнена изображениями объектов общественного транспорта.



Рис.9. Фрагмент карты Берлина (Brockhaus, 1895).

Еще во времена Древнего Ближнего Востока глиняные таблички производились с масштабным графическим изображением городов. Раскопки шумерского города Ниппур выявили фрагмент карты города, возрастом около 3500 лет, которую иногда называют самой старой из известных карт города (The History of Cartography, 1987). На глиняной табличке изображен храм Энлиля, парк, городская стена с воротами, канал и река Евфрат (рис.10.). Отдельные объекты на этой карте уже были подписаны шумерской клинописью.

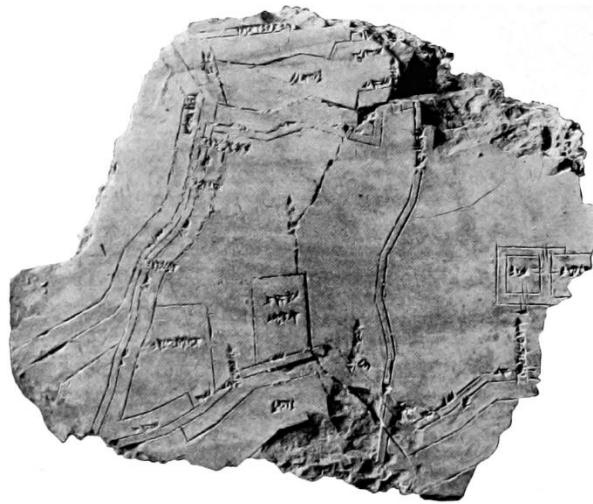


Рис.10. Глиняная табличка с картой вавилонского города Ниппур (ок. 1400 г. до н.э.).

В рукописях и ранних печатных книгах позднего средневековья города часто изображаются в профиль или полуперспективно. На морских картах того времени иногда изображены частично стилизованные городские пейзажи, нарисованные в форме пиктограмм - например, в «Книге островов в архипелаге» Кристофоро Буондельмонти (Liber insularum Archipelagi, 1422 г.) (рис.11.).



Рис.11. Карта Константинополя, (Буондельмонт, 1422).

Нюрнбергская хроника, впервые появившаяся в 1493 г., является одной из наиболее важных коллекций городских пейзажей позднего средневековья, насчитывающих более 100 таких иллюстраций (рис.12.). Тем не менее, панорамы, подобные этому собранию, или панорамы из «Путешествий» Бернхарда фон Брейденбаха от 1483 г., имели больше повествовательных или репрезентативных функций. В этих работах проиллюстрирована местность и соответствующие характеристики - такие как порты, выдающиеся здания, городские стены и другое - все это помогало выявить последствия тех или иных событий для города. С другой стороны, меньший акцент был сделан на точность: в «Нюрнбергской хронике» только четверть видов на город представляла фактический облик рассматриваемого города, а некоторые отдельные изображения даже использовались одновременно для представления нескольких разных городов (Günther, 2009).



Рис.12. Вид города Базель, Швейцария. Нюрнбергская хроника (Хартман Шедель, 1493).

В XVI в. художники и ученые эпохи Возрождения обладали обширными знаниями математических перспектив и проекций. Эти знания также повлияли на работу картографов и производство карт городов (особенно в Италии). Ключевым нововведением было то, что город больше не изображали просто с воображаемой или реальной перспективой, а рисовали сначала как двумерную карту, а затем, используя процесс точного рисования в перспективе, трансформировали в трехмерное изображение (Cosgrove, 1999). Ранним примером

геометрически точной и очень детальной работы такого рода является карта города Венеции, созданная Якопо де Барбари примерно в 1500 г. (рис.13.).



Рис.13. Фрагмент карты Венеции (Италия) (Якопо де Барбари, ок. 1500).

В то время как иллюстрации позднего средневековья, как правило, все еще являются простыми ксилографиями небольшого формата, все более распространенным процессом, начиная с 1500 г., было создание гравюр с огромных ксилографий и деревянных блоков. Карта Венеции Барбари была уже размером 139 сантиметров на 282 сантиметров и состояла из шести отдельных панелей. С середины XVI в. новый процесс гравировки на меди, возникший в Антверпене, начал конкурировать с гравюрой на дереве и позволил сделать гораздо более изысканные и подробные иллюстрации.

Первый в истории мировой картографии и один из самых известных Атлас городов мира (*Civitates Orbis Terrarum*) Ф. Хогенберга и Г. Брауна был опубликован в конце XVI - начале XVII вв. (рис.14.). Шесть томов этой работы были созданы за 46 лет и опубликованы в немецком городе Кельне. Перспективные планы городов и визуальные образы, составлялись с опорой на геодезическую съемку. Как правило, город расположен на заднем плане, а на переднем плане окружающий ландшафт и образы горожан воспроизводятся достаточно подробно, что дополняет историческое и географическое содержание произведения. Более пятисот планов, включенных в атлас, составили целую эпоху в истории картографии городов (Прохорова, 2018).



Рис.14. Антверпен в Атласе городов мира (Хогенберг Ф., Браун Г., 1572-1618).

В 1828 г. в Петербурге на 24 страницах был издан наиболее крупный (1: 4 200) из всех изданных к этому времени планов в истории картографии города «Подробный план Столичного города Санкт-Петербурга». Вдобавок к детальному размещению всех домов и помещений, план детализирует все дворы, объекты гидрографии, болота, а также сады, аллеи и цветники. Помимо этого, на плане присутствует нумерация зданий и участков (Прохорова, 2018).

В XX века картографирование городов начинается с проведения точных геодезических изысканий, что требовалось для отображения местонахождения и конфигурации всех зданий. До 70-х г. прошлого столетия, именно топографическое картографирование городов занимало лидирующую позицию. Создание отдельных карт не способствует изучению городских процессов и не подходит для полного анализа нужд города, так как из них нельзя получить информацию о взаимоотношениях процессов и явлений. Для этого составляются тематические карты и комплексные атласы городских территорий. Карты, входящие в такие атласы, составлены по единым требованиям, обеспечивающих совместимость и взаимодополняемость. Одни из первых, достаточно полных по содержанию, среди комплексных атласов городов можно выделить: «Атлас планирования Западного Берлина» (1962 г.), «Атлас Парижа и Парижского региона» (1967 г.) (рис.15.), «Атлас Лондона» (1968 г.). Современным примером атласа города можно выделить «Атлас Барнаула» 2006 г. Он является комплексным по содержанию, имеет множество исторических карт, содержит космический снимок городской территории (Прохорова, 2018).

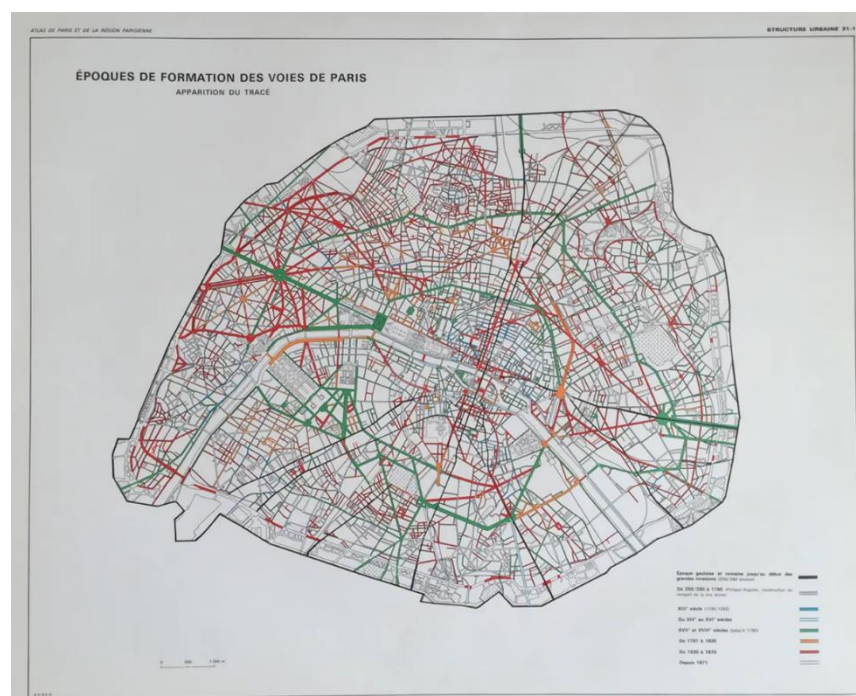


Рис.15. Фрагмент «Атласа Парижа и Парижского региона» (1967).

В наше время для изучения территории города на первое место становятся экологические факторы, закономерности развития территориальных особенностей городской среды. В то же время речь идет не только об установлении отклонений от экологических норм, норм концентрации загрязняющих веществ в окружающей среде или их выбросов промышленными предприятиями. Каждый из этих факторов должен сопровождаться параметрами медико-биологической, гигиенической экспертизы, состояния здоровья населения и так далее. Экологическое картографирование включает в себя отображение изменений теплового и водного балансов, которое возникает по ряду причин: преобладание личного транспорта над общественным, площадь твердых асфальтированных покрытий, преобладающий тип высокоэтажной застройки, загрязнение почв, атмосферы, подземных вод и прочих. Карты загрязнения окружающей среды отображены во многих тематических атласах, включая «Экологический атлас Москвы» 2000 г. (Прохорова, 2018).

Первые карты городов возникли еще в древности, но отображали только перспективные рисунки населенных пунктов. В связи с появлением первых геодезических съемок, увеличения роли математики в картографии, появление новых способов более быстрой и качественной печати, был осуществлен переход от изображения «городских пейзажей» к достаточно точным картам и планам городов. Со временем задачи картографирования населенных пунктов менялись: в 70-х г. XX в. начали издаваться комплексные атласы, отображающие необходимые данные для анализа потребностей

населения, состояния города в принципе. В данный момент первоочередными задачами картографирования является воспроизведения влияния деятельности города на экологическую обстановку, и анализ территориального устройства населенного пункта, прогнозирование его роста и изменений в структуре функционирования.

1.4. Основные характеристики городов Российской Федерации на примере Волгограда, Омска, Симферополя и Сочи.

1.4.1. Волгоград

Волгоград – промышленный город и административный центр Волгоградской области. Город лежит на западном берегу реки Волги. Волгоградская область граничит с Астраханской, Ростовской, Воронежской, Саратовской областями, республикой Калмыкия и Казахстаном. В Волгограде жаркий летний влажный континентальный климат. Среднее количество осадков составляет 403 мм в год, в то время как средние температуры в январе составляют $-7,3^{\circ}\text{C}$ (с минимальными значениями $-32,6^{\circ}\text{C}$), а в июле $- 24,2^{\circ}\text{C}$ (максимальные 42°C). Зима холодная, с частыми снегопадами и оттепелями. Лето жаркое и несколько длинное, температура может легко достигать 35 градусов (Сайт "Погода и климат", 2020).



Рис.16. Географическое положение Волгограда.

Документальное подтверждение возникновения Царицына в месте слияния рек Царица и Волга датируется 1589 г. Григорий Засекин основал крепость Сары-Су (татарское название «желтая вода» или «желтая река») как часть защиты южной границы Русского Царства. Вскоре Царицын стал ядром торговых путей. В 1670 г. войска Степана Разина захватили крепость. Его войска ушли через месяц. В августе 1774 г. Емельян Пугачев безуспешно пытался штурмовать город. В 1708 г. Царицын был назначен в Казанскую губернию; в 1719 г. в Астраханскую губернию. В 1773 г. поселок был назначен провинциальным и уездным городом. В 1780 г. город перешел во вновь созданную Саратовскую губернию. В XIX в. Царицын стал важным речным портом и торговым центром (официальный сайт администрации Волгограда).

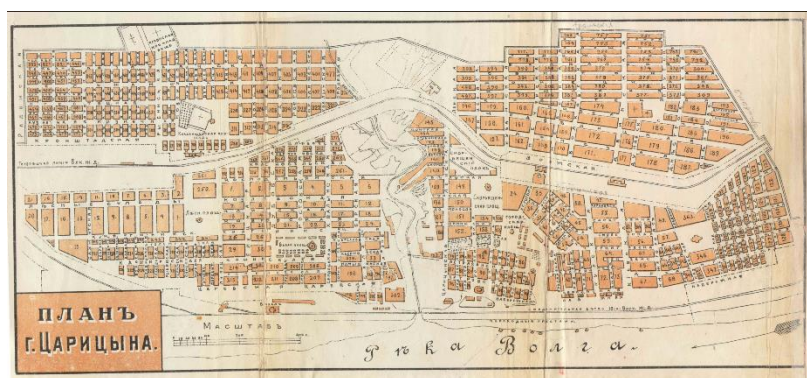


Рис.17. План Царицына (1909).

Во время гражданской войны Царицын попал под советский контроль с ноября 1917 г. В 1918 г. войска Белого движения под командованием атамана донского казачьего войска Петра Краснова осадили Царицын. Боевые действия с июля 1918 г. по январь 1920 г. стали называться битвой за Царицын. 10 апреля 1925 г. город был переименован в Сталинград. При Сталине город стал центром тяжелой промышленности и перевалки железнодорожного и речного транспорта. Во время Второй мировой войны немецкие войска атаковали город, и в 1942 г. он стал местом одного из ключевых сражений войны. 10 ноября 1961 г. администрация

Никиты Хрущева изменила название города на Волгоград (официальный сайт администрации Волгограда).

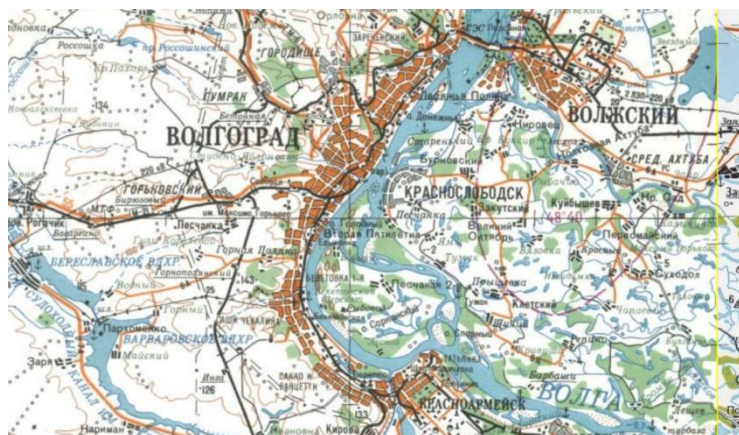


Рис.18. Волгоград на фрагменте топографической карты (Генштаб СССР, 1985).

На 1 января 2019 г. по численности населения город находился на 15 месте городов России, 1 013 468 человек. Согласно переписи населения 1720 г., в городе проживало 408 человек. Население быстро увеличивалось, с 3 000 человек в 1807 г. до 84 000 в 1900 г.

Современный Волгоград остается важным индустриальным городом. Отрасли включают судостроение, нефтепереработку, производство стали и алюминия, производство машин и транспортных средств, а также химическое производство. Крупная Волгоградская ГЭС находится недалеко от севера Волгограда (официальный сайт администрации Волгограда).

Волгоград - крупный железнодорожный узел, обслуживаемый Приволжской железной дорогой. Город стоит в восточной части Волго-Донского канала, открытого в 1952 г. для соединения двух великих рек юга России. Европейский маршрут E40, самый длинный европейский маршрут, соединяющий Кале во Франции с Риддером в Казахстане, проходит через Волгоград. Автомагистраль М6 между Москвой и Каспийским морем также проходит через город. Городской речной терминал является центром местных пассажирских перевозок по реке Волге. Международный аэропорт Волгограда обеспечивает авиасообщение с крупными городами России. В систему общественного транспорта Волгограда входит служба скоростного трамвая, известная как Волгоградский метрополитен. Местный общественный транспорт обеспечивается автобусами, троллейбусами и трамваями (официальный сайт администрации Волгограда).

1.4.2. Омск.

Омск - город и административный центр Омской области, расположенный в юго-западной Сибири в 2236 километрах от Москвы. Омск является важным транспортным узлом, который служит железнодорожной станцией для Транссибирской магистрали и промежуточным пунктом для реки Иртыш.



Рис.19. Географическое положение Омска.

В имперскую эпоху Омск был резиденцией генерал-губернатора Западной Сибири. В течение короткого периода во время гражданской войны в России в 1918–1920 гг. он служил столицей антибольшевистского российского государства и имел имперские золотые запасы.

Омск расположен на юге Западно-Сибирской равнины вдоль берегов северного Иртыша в месте его впадения в реку Омь. Город имеет высоту 87 метров над средним уровнем моря в самой высокой точке, площадь города составляет 566,9 км² (10-ый в РФ) (Росстат, 2019). Омская область имеет государственную границу с Казахстаном на юге. Новосибирская область, Томская область, Тюменская область также граничат с Омской областью. В Омске влажно-континентальный климат, характеризующийся резкими колебаниями погоды. Среднесуточные температуры, взятые за последние три десятилетия, составляют +20°C в июле и -17°C в январе, хотя температура может очень редко достигать +40°C летом и очень редко опускается до -45°C зимой. В среднем Омске более 300 солнечных дней в г. (2201 час). Среднегодовое количество осадков составляет 415 мм (официальный сайт администрации Омска).

Деревянная крепость Омск была построена в 1716 г. казачьим отрядом во главе с Иваном Бухгольцем для защиты расширяющейся русской границы вдоль рек Ишим и Иртыш от киргизских и джунгарских степных кочевников. В 1768 г. Омская крепость была перенесена. Омск получил статус города в 1782 г.



Рис.20. План города Омска (1786).

В 1822 г. Омск стал административной столицей Западной Сибири, а затем, в 1882 г., центром обширной Степной области (сегодня северная часть Казахстана) и Акмолинской области. Но когда граница отступила и ее военное значение уменьшилось, город пришел в упадок. За это время Омск стал крупным центром сибирских ссылок. Развитие города было вызвано строительством Транссибирской магистрали в 1890-х г., что повлияло на значимость Омска как логистического центра.



Рис.21. План города Омска (ок.1840).

Многие торговые компании открыли магазины и офисы в Омске, определяющие характер центра города. Британские, голландские и немецкие консульства были созданы примерно в одно и то же время, чтобы представлять их коммерческие интересы. Вершиной развития для дореволюционного Омска стала Сибирская экспозиция сельского хозяйства и промышленности в 1910 г. на всемирной выставке (Краткий историко-статистический очерк города Омска, 1911).

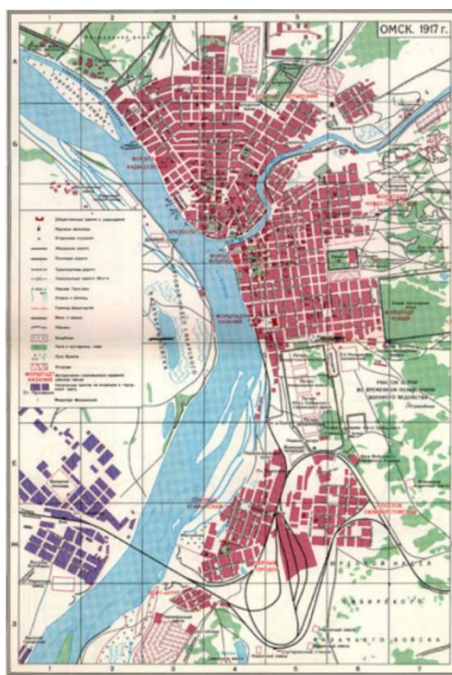


Рис.22. План города Омска (Лагутина, 1917).

Советское правительство предпочло молодой Новониколаевск (Новосибирск) в качестве административного центра Западной Сибири, что вызвало массовую передачу административных, культурных и образовательных функций из Омска. Это несколько замедлило рост города и вызвало постоянное соперничество между двумя городами. Омск получил новую жизнь в результате Второй мировой войны. Поскольку он был далек от боевых действий и имел хорошо развитую инфраструктуру, город предоставил идеальное убежище для большей части промышленности, эвакуированной с фронта в 1941 г. В конце войны Омск оставался крупным промышленным центром, впоследствии становясь лидером советского военного производства. В 1950-х г., после разработки нефтяного и газового месторождения в Сибири, был построен нефтеперерабатывающий комплекс вместе с целым «городом

нефтяников», расширяющим Омск на север вдоль Иртыша (Энциклопедия города Омска, 2011).

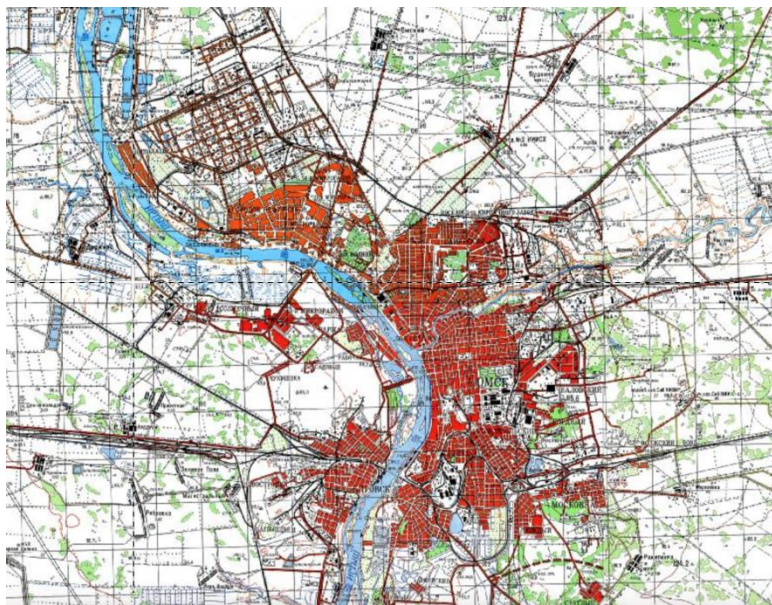


Рис.23. Фрагмент топографической карты окрестностей Омска (Генштаб СССР, 1980).

Согласно записям, население Омска неуклонно росло: с 31 000 в 1881 г. до 53 050 в 1900 г. и до 1 148 418 в 1989 г. Перепись 2002 г. зафиксировала, что численность населения сократилась до 1 134 016 человек, но незначительно восстановилась, согласно переписи 2010 г., в которой численность населения составила 1 154 116 человек, на 2019-го 1 164 815 человек, это третий по величине город России к востоку от Уральских гор после Новосибирска и Екатеринбурга и девятый по величине в стране (Энциклопедия города Омска, 2011).

Омск - крупнейший промышленный центр Омской области и один из крупнейших в России. В 2013 г. Омск занял 5-е место в рейтинге крупнейших промышленных центров России по объему промышленного производства, который составил 528 млрд рублей. Омская промышленность базируется на нефтепереработке, нефтехимии, химической промышленности и машиностроении (производство самолетов, бронетехники и сельскохозяйственной техники) (институт территориального планирования "Урбаника", 2013).

Омск является важным железнодорожным узлом и узлом пересечения северной и южной ветвей Транссибирской магистрали (рис.24.). Город также служит крупным центром региональной сети автомобильных дорог. Речные портовые сооружения обслуживают как пассажиров, так и грузы, предоставляя городу доступ к обширным водным путям рек Иртыш и Обь. Водные пути связывают Омск с угольными и горнодобывающими городами далее вверх по реке в Казахстане, а также с операциями по добыче нефти, природного газа и пиломатериалов в Северной Сибири. Омск обслуживается Центральным аэропортом, который

предлагает доступ к внутренним и международным (главным образом, немецким и казахским) направлениям, что делает город важным авиационным узлом для Сибири и российского Дальнего Востока (Энциклопедия города Омска, 2011).

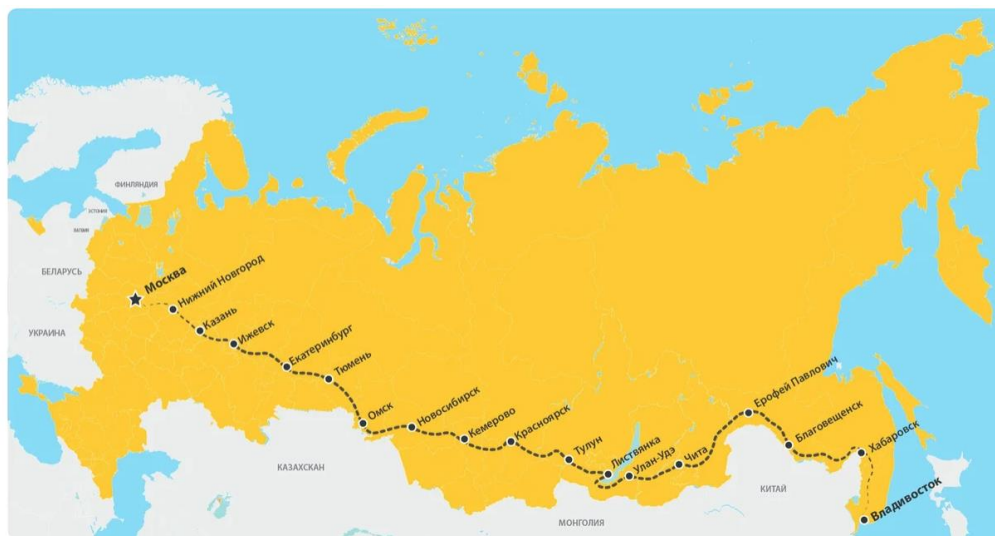


Рис.24. Схема Транссибирской магистрали.

Городской транспорт состоит из крупных автобусных, троллейбусных и трамвайных сетей, хотя последние из них сильно испортились после распада СССР. маршрутки (маршрутные такси) дополняют муниципальные транзитные сети. Система метро, предложенная в конце 1980-х г., но отложенная из-за нехватки средств, в настоящее время находится в стадии строительства, с мостом Метро через реку Иртыш. Мост уже открыт для автомобилей (верхний уровень), но метро (нижний уровень) все еще находится в стадии строительства. В качестве первого шага одна короткая линия соединит районы на северо-западе с центром города. С 2017 г. открыта только одна станция, которая служит в качестве пешеходного метро (официальный сайт администрации Омска).

1.4.3. Симферополь.

Симферополь – административный центр Республики Крым, второй по величине город на Крымском полуострове. Является важным политическим, экономическим и транспортным узлом полуострова и служит административным центром как Симферопольского муниципалитета, так и окружающего Симферопольского района. Основанный на месте крымско-татарского города Акмесджит, город принял свое нынешнее название после присоединения Крымского ханства к Российской империи.

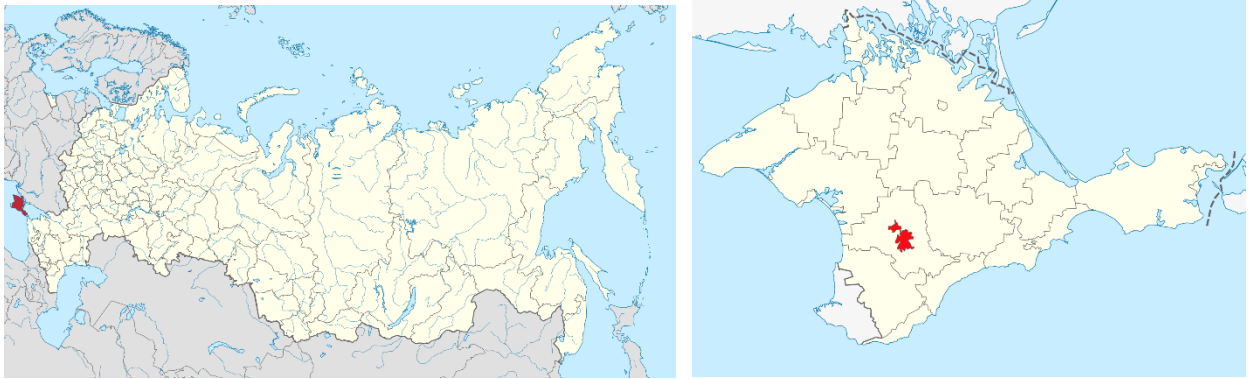


Рис.25. Географическое положение Симферополя.

Симферополь расположен в южно-центральной части Крымского полуострова. Город лежит на реке Салхир и возле Симферопольского водохранилища, которое обеспечивает город чистой питьевой водой. Земляная плотина Симферопольского водохранилища является крупнейшей в Европе. В городе преобладает влажный субтропический климат. Средняя температура в январе составляет 0,2°C и 22,3°C в июле. Среднее количество осадков составляет 514 миллиметров в год, а общее количество солнечного света составляет 2471 час в год.

Археологические находки в Чокурчинской пещере свидетельствуют о наличии древних людей, проживающих на территории современного Симферополя. Скифский Неаполис, известный по греческому названию, также расположен в городе, который является остатками древней столицы крымских скифов, которые жили на территории с III в. до нашей эры до IV в. нашей эры. Позже крымские татары основали город Акмесджит. Некоторое время Акмесджит служил резиденцией Калыя-Султана, второго по значимости поста в Крымском ханстве после самого хана (официальный сайт города Симферополя, 2020).



Рис.26. Карта Черного моря , Северного Причерноморья и Крыма(Ортелиус, 1590).

Город был переименован в Симферополь в 1784 г. после присоединения Крымского ханства к Российской империи Екатериной II. Название Симферополь по-гречески Συμφερόπολις (Симферополь) буквально означает «город полезности». В 1802 г. Симферополь стал административным центром Таврической губернии. Во время Крымской войны 1854–1856 гг. в городе были размещены резервы и госпиталь Российской императорской армии. После войны более 30 000 русских солдат были похоронены в окрестностях города.



Рис.27. Карта Таврической области (Вильбрехт, 1792).

В XX в. Симферополь вновь пострадал от войн и конфликтов в регионе. В конце Гражданской войны в России там находился штаб генерала Петра Врангеля, лидера антибольшевистской Белой армии. 13 ноября 1920 г. Красная Армия захватила город, а 18 октября 1921 г. Симферополь стал столицей Крымской Автономной Советской Социалистической Республики.

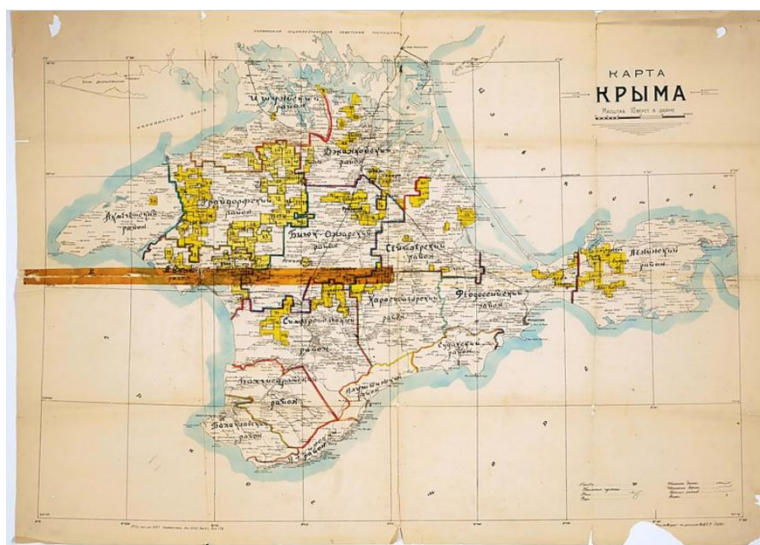


Рис.28. Карта Крымского статистического управления (1926).

Во время Второй мировой войны Симферополь был оккупирован нацистской Германией с 1 ноября 1941 г. по 13 апреля 1944 г. Немцы совершили одно из крупнейших военных убийств в Симферополе, убив в общей сложности более 22 000 местных жителей - в основном евреев, русских, крымчаков и цыган. 18 мая 1944 г. крымско-татарское население города вместе со всем крымско-татарским народом Крыма было принудительно депортировано в Среднюю Азию в форме коллективного наказания. 26 апреля 1954 г. Симферополь вместе с остальной частью Крымской области был переведен из РСФСР в УССР. Генеральным секретарем ЦК КПСС Никитой Хрущевым (Баев, 1967). После распада Советского Союза в 1991 г. Симферополь стал столицей Автономной Республики Крым в составе новой независимой Украины.

16 марта 2014 г. был проведен референдум, результаты которого показали, что большинство крымчан проголосовали за независимость Крыма от Украины и присоединение к России в качестве субъекта. Законность результатов референдума была поставлена под сомнение несколькими странами и независимыми информационными организациями. 21 марта Симферополь официально стал столицей нового субъекта федерации Российской Федерации. Референдум не был признан на международном уровне, и многие рассматривали это событие как аннексию крымской земли Российской Федерацией (Reuters, 2014).

При последней переписи населения 2014 г. население Симферополя составляло 332 317 человек, что является самым высоким показателем среди городов Крыма и уступает только Севастополю на Крымском полуострове (Росстат, 2014). На 1 января 2019 г. по численности населения город находился на 57 месте городов России, численность составляет 341 527.

Симферополь представляет из себя достаточно крупный промышленный центр. Главными отраслями являются машиностроение, пищевая и лёгкая промышленности. Всего в городе находится около 70 значительных предприятий. «Фиолент» - самое крупное предприятие в городе, завод по выпуску электроинструментов, микромашин и систем корабельной автоматики (официальный сайт города Симферополя, 2020).

В городе находится крупный железнодорожный вокзал, который обслуживает миллионы туристов каждый год. В декабре 2014 г. Украина перерезала железнодорожную линию в Крым на границе. В настоящее время станция обслуживает только пригородный пассажирский поезд и поезда из Москвы и Санкт-Петербурга. Город связан с Симферопольским международным аэропортом, который был построен в 1936 г., новый международный терминал действует с 2018 г., но обслуживает только Российские рейсы. В городе есть несколько основных автовокзалов с маршрутами в направлении многих городов,

включая Севастополь, Керчь, Ялту и Евпаторию. Крымский троллейбус связывает Симферополь с городом Ялтой на крымском побережье Черного моря (рис.29.). Линия является самой длинной троллейбусной линией в мире общей протяженностью 86 километров (с 2014 г. снова 96 километров) (официальный сайт города Симферополя, 2020).



Рис.29. Схема троллейбусной трассы Симферополь-Алушка-Ялта.

1.4.4. Сочи.

Сочи – город в Краснодарском крае. Он расположен в западной части России, на побережье Черного моря недалеко от южной границы России. Площадь Большого Сочи, которая включает территории и населенные пункты, подчиненные собственно Сочи, имеет общую площадь 3526 км² и простирается на 145 километров вдоль берега Черного моря, недалеко от Кавказских гор. Площадь самого города составляет 176,77 км². Будучи частью Кавказской Ривьеры, Сочи имеет влажный субтропический климат с мягкой зимой (в среднем

11°C днем и 4°C ночью) и теплым летом (в среднем 24°C днем и 16°C ночью) в период с мая по октябрь (Сайт "Погода и климат", 2020).



Рис.30. Географическое положение Сочи.

С VI по XI вв. территория города последовательно принадлежала грузинским царствам Лазица и Абхазия, которые позднее были объединены в единую грузинскую монархию в XI в. Христианские поселения вдоль побережья были разрушены вторгающимися аланами, хазарами, монголами и другими империями кочевников. С XIV по XIX вв. в регионе преобладали абхазские, убыхские и адыгские племена. Береговая линия части Черного моря была передана России в 1829 г. в результате Кавказской войны и Русско-турецкой войны 1828–1829 гг. После окончания Кавказской войны (в период 1864–1870 гг.) Почти все убыхи и большая часть шапсугов, живших на территории современного Сочи, были убиты во время геноцида черкесов или высланы в Османскую империю. В 1896 г. Даховский Посад был переименован в Сочинский Посад (по названию местной реки) и включен в состав вновь образованной Черноморской губернии. Сочи был присвоен статус города в 1917 г.



Рис.31. План Сочи. Приложение к Путеводителю (Конец 1910-х г.).

Во время гражданской войны в прибрежной зоне периодически происходили вооруженные столкновения. В результате войны Сочи стал территорией России. В 1923 г.

Сочи приобрел одну из самых отличительных черт - железную дорогу, которая проходит от Туапсе до Грузии в пределах одного-двух километров от береговой линии. Во время правления Сталина побережье стало усыпано внушительными неоклассическими зданиями. Область непрерывно развивалась до распада Советского Союза. В 1961 г. советские чиновники решили расширить пределы города, образовав Большой Сочи, который простирался на 140 километров от южной части Туапсе до Адлера. В июле 2005 г. Россия подала успешную заявку на проведение зимней Олимпиады 2014 г. в городе. В 2018 г. в городе проводились матчи Чемпионата Мира по футболу (Молчанов, 1989; Ермаков, Леонов, 1987).

Согласно переписи 2010 г., население города составляло 343 333 человека по сравнению с 328 809, зафиксированными в переписи 2002 г., что делало его крупнейшим курортным городом России до 2014 г. Численность населения на январь 2019 г. составила 438 726 человек (официальный сайт администрации города Сочи, 2020).

Общественный транспорт представлен в основном автобусами и маршрутными такси. Сочи обслуживается международным аэропортом Адлер-Сочи. Виды немассового общественного транспорта включают два фуникулера и три канатные дороги, также есть несколько канатных дорог в Красной Поляне. Здание порта Сочи было построено в 1955 г. Пять железнодорожных станций Сочи были отремонтированы к зимним Олимпийским играм 2014 г. Еще один новый железнодорожный вокзал был построен в Тесядке, недалеко от Красной Поляны (официальный сайт администрации города Сочи, 2020).

ГЛАВА 2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В КАРТОГРАФИРОВАНИИ ГОРОДОВ.

Дистанционное зондирование - это получение информации об объекте или явлении без физического контакта с объектом, таким образом, в отличие от наблюдений в полевых условиях. Дистанционное зондирование используется во многих областях, включая географию, геодезию и большинство наук о Земле (например, гидрология, экология, метеорология, океанография, гляциология, геология); он также имеет военные, разведывательные, коммерческие, экономические и гуманитарные приложения.

При современном использовании термин «дистанционное зондирование» обычно относится к использованию сенсорных технологий на основе спутников или летательных аппаратов для обнаружения и классификации объектов на Земле, в том числе на поверхности, в атмосфере и океанах, на основе распространяющихся сигналов (например, электромагнитных излучение). Он может быть разделен на «активное» дистанционное зондирование (например, когда сигнал испускается спутником или летательным аппаратом и его отражение объектом обнаруживается датчиком) и «пассивное» дистанционное зондирование (рис.32.) (например, когда отражение солнечного света обнаружен датчиком) (Schowengerdt, 2007; Schott, 2007).

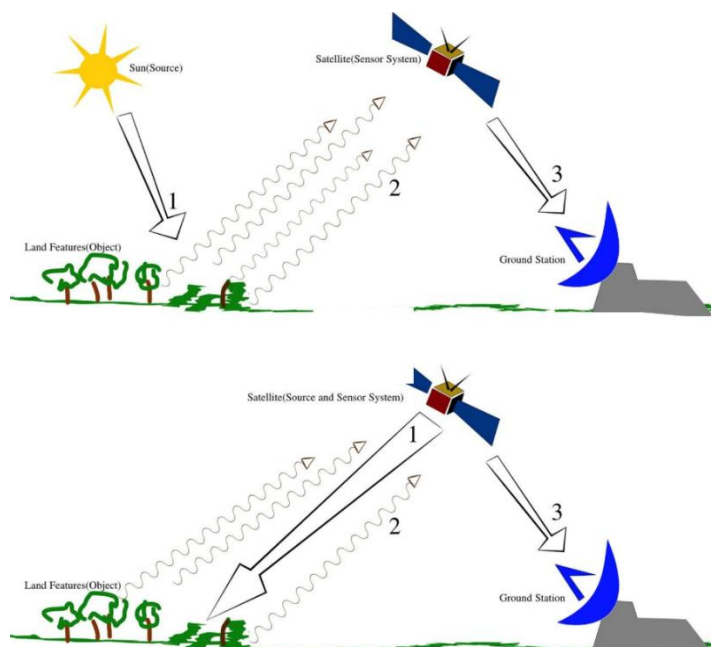


Рис.32. Вверху – пассивное дистанционное зондирование; внизу – активное дистанционное зондирование (цифры обозначают порядок отражения энергии).

Современная дисциплина дистанционного зондирования возникла с развитием полета. Фотограф Гаспар-Феликс Турнашон (псевдоним Nadar) сделал снимки Парижа со своего воздушного шара в 1858 г. (National Air and Space Museum, 2019). Почтовые голуби, воздушные змеи, ракеты и беспилотные воздушные шары также использовались для ранних изображений. За исключением воздушных шаров, эти первые отдельные изображения не были особенно полезны для создания карт или для научных целей.

Систематическая аэрофотосъемка была разработана для целей военного наблюдения и разведки, начиная с первой мировой войны и достигая апогея во время холодной войны с использованием модифицированных боевых самолетов, таких как P-51, P-38, RB-66 и F-4C или специально разработанные платформы для сбора, такие как серии U2 / TR-1, SR-71, A-5 и OV-1, как в верхнем, так и в автономном сборах (The Daily Telegraph, 2019). Более поздние технологии визуализации будут включать инфракрасный, обычный, доплеровский и радиолокатор с синтезированной апертурой (DARPA, 2019).

Развитие искусственных спутников во второй половине XX в. позволило дистанционному зондированию прогрессировать в глобальном масштабе к концу холодной войны. Контрольно-измерительные приборы на борту различных спутников наблюдения Земли и метеорологических спутников, таких как Landsat, Nimbus и более поздних миссий, таких как RADARSAT и UARS, обеспечивали глобальные измерения различных данных для гражданских, исследовательских и военных целей. Космические зонды с другими планетами также предоставили возможность проводить исследования дистанционного зондирования во внесемных средах. Радар с синтезированной апертурой на борту космического корабля Магеллан предоставил подробные топографические карты Венеры, в то время как приборы на борту SOHO позволили проводить исследования на Солнце (NASA Solar System Exploration, 2019).

Несколько исследовательских групп в Силиконовой долине, в том числе NASA Ames Research Center, GTE и ESL Inc., разработали методы преобразования Фурье, которые привели к первому заметному улучшению данных изображений. В 1999 г. был запущен первый коммерческий спутник (IKONOS), собирающий изображения очень высокого разрешения.

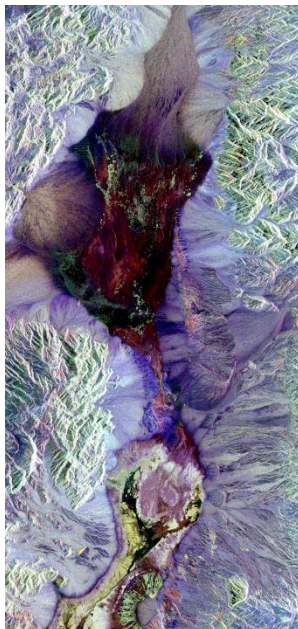


Рис.33. Синтетический апертурный радиолокационный снимок Долины Смерти, окрашенный с помощью поляриметрии.

Для создания карт на основе датчиков большинство систем дистанционного зондирования экстраполируют данные относительно контрольной точки, включая расстояния между известными точками на земле. Это зависит от типа используемого датчика. Например, на обычных снимках расстояния точны в центре изображения, а искажения измерений увеличиваются по мере удаления от центра. Другим фактором является то, что валик, к которому прижимается пленка, может привести к серьезным ошибкам при использовании снимков для измерения расстояний до земли. Этап, на котором решается эта проблема, называется геопривязкой и включает в себя компьютерное сопоставление точек на изображении (обычно 30 или более точек на изображение), которое экстраполируется с использованием установленного эталонного теста, «деформируя» изображение для получения точные пространственные данные. С начала 1990-х г. большинство спутниковых снимков выполняются с полной привязкой.

Радиометрическая коррекция позволяет избежать радиометрических ошибок и искажений. Освещенность объектов на поверхности Земли неравномерна из-за разных свойств рельефа. Этот фактор учитывается в методе радиометрической коррекции искажений.

Радиометрическая коррекция дает шкалу значений пикселей, т.е. монохроматическая шкала от 0 до 255 будет преобразована в фактические значения яркости (Grigoriev, 2015).

В труднопроходимых горах из-за рельефа эффективное освещение пикселей значительно варьируется. В изображении дистанционного зондирования пиксель на тенистом склоне получает слабое освещение и имеет низкое значение яркости, в отличие от этого пиксель на солнечном склоне получает сильное освещение и имеет высокое значение яркости. Для того же объекта значение яркости пикселя на тенистом склоне будет отличаться от значения на солнечном склоне. Кроме того, разные объекты могут иметь одинаковые значения яркости. Эти неоднозначности серьезно повлияли на точность извлечения информации с дистанционных изображений в горных районах. Это стало основным препятствием для дальнейшего применения изображений дистанционного зондирования. Цель топографической коррекции состоит в том, чтобы устранить этот эффект, восстанавливая истинную отражательную способность объектов.

Устранение атмосферной дымки путем изменения масштаба каждой полосы частот (атмосферная коррекция) таким образом, чтобы ее минимальное значение (обычно в водоемах) соответствовало значению пикселя, равному 0. Оцифровка данных также позволяет манипулировать данными путем изменения значений серой шкалы.

Качество данных дистанционного зондирования состоит из следующих позиций:

- Пространственное разрешение. Размер пикселя, который записывается в растровом изображении. Обычно пиксели могут соответствовать квадратным областям с длиной стороны от 1 до 1000 метров.
- Спектральное разрешение. Длина волны различных записанных полос частот - обычно это связано с количеством полос частот, записанных аппаратом. В настоящее время коллекция Landsat состоит из семи полос, включая несколько в инфракрасном спектре, в диапазоне от спектрального разрешения 0,7 до 2,1 мкм. Датчик Hyperspectral на Earth Observing-1 вмещает 220 полос от 0,4 до 2,5 мкм со спектральным разрешением от 0,10 до 0,11 мкм на полосу.
- Радиометрическое разрешение. По количеству различных интенсивностей излучения датчик способен различить, как правило, диапазон от 8 до 14 битов, что соответствует 256 уровням серой шкалы и до 16384 интенсивностей или «оттенков» цвета в каждой полосе. Это также зависит от «шума» прибора.
- Временное разрешение. Частота облетов со спутника или самолета и имеет значение только в исследованиях временных рядов или в тех случаях, когда

требуется усредненное или мозаичное изображение, как при обезлесении. Впервые это было использовано разведывательным сообществом, где повторное освещение показало изменения в инфраструктуре, развертывание подразделений или модификацию/внедрение оборудования. Облачный покров над данной областью или объектом делает необходимым повторение сбора информации.

Программа Landsat является старейшей по получению спутниковых снимков Земли. Это совместная программа NASA/USGS (Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства/Национальная геологическая служба США). 23 июля 1972 г. был запущен Спутник Технологических Ресурсов Земли (Earth Resources Technology Satellite). В конечном итоге он был переименован в Landsat. Самый последний, Landsat 8, был запущен 11 февраля 2013 г.

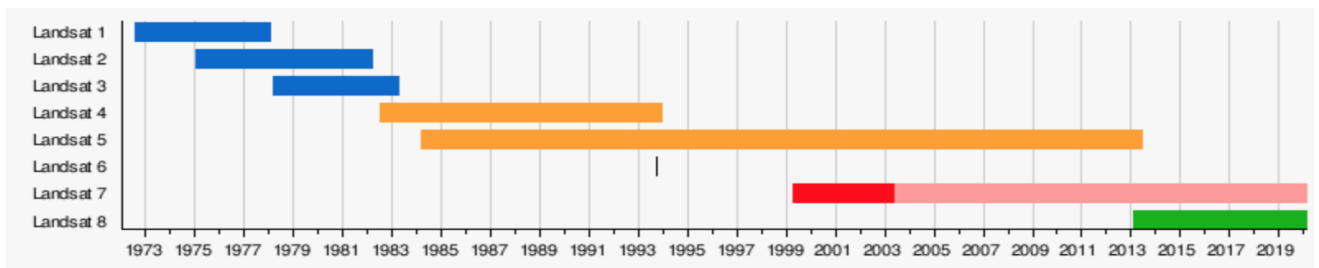


Рис.34. Временной ряд миссий Landsat.

Приборы на спутниках Landsat получили миллионы изображений. Изображения, заархивированные в США и на приемных станциях по всему миру, являются уникальным ресурсом для исследований глобальных изменений и применения в сельском хозяйстве, картографии, геологии, лесном хозяйстве, региональном планировании и пр. Данные Landsat 7 имеют восемь спектральных полос с пространственным разрешением от 15 до 60 метров; временное разрешение составляет 16 дней. Изображения Landsat обычно делятся на сцены для

удобства загрузки. Каждая сцена имеет длину около 185 километров в длину и 185 километров в ширину (Национальная Геологическая служба США, 2019).



Рис.35. Landsat 7.

Landsat с 1 по 5 был оснащен мультиспектральным сканером (MSS). Landsat 4 и 5 включали инструменты MSS и Thematic Mapper (TM). Landsat 7 использует сканер Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). Landsat 8 использует два прибора: Операционный наземный имиджер (OLI) для оптических диапазонов и Тепловой инфракрасный датчик (TIRS) для тепловых диапазонов. Обозначения полос, полосы пропускания и размеры пикселей для инструментов Landsat (Национальная Геологическая служба США, 2019).

Landsat 1-3 MSS	Landsat 4-5 MSS	Диапазон волн (мкм)	Разрешение (м)
Band 4 - Зеленый	Band 1 - Зеленый	0.5 - 0.6	60
Band 5 - Красный	Band 2 - Красный	0.6 - 0.7	60
Band 6 – Ближний инфракрасный (NIR)	Band 3 - NIR	0.7 - 0.8	60
Band 7 - NIR	Band 4 - NIR	0.8 - 1.1	60

Таб.1. Спектральные характеристики Landsat 1-5.

Landsat 4-5 Thematic Mapper (TM)	Диапазон волн (мкм)	Разрешение (м)
Band 1 - Синий	0.45 - 0.52	30
Band 2 - Зеленый	0.52 - 0.60	30
Band 3 - Красный	0.63 - 0.69	30
Band 4 - NIR	0.76 - 0.90	30
Band 5 – Коротковолновый инфракрасный (SWIR) 1	1.55 - 1.75	30
Band 6 - Тепловой	10.40 - 12.50	120* (30)
Band 7 - SWIR 2	2.08 - 2.35	30

Таб.2. Спектральные характеристики Landsat 4-5 (TM Band 6 был приобретен с разрешением 120 метров, но продукты передискретизированы до 30 метров на пиксель).*

Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)	Диапазон волн (мкм)	Разрешение (м)
Band 1 - Синий	0.45 - 0.52	30
Band 2 - Зеленый	0.52 - 0.60	30
Band 3 - Красный	0.63 - 0.69	30
Band 4 - NIR	0.77 - 0.90	30
Band 5 - SWIR 1	1.55 - 1.75	30
Band 6 - Тепловой	10.40 - 12.50	60* (30)
Band 7 - SWIR 2	2.09 - 2.35	30
Band 8 - Панхроматический	0.52 - 0.90	15

Таб.3. Спектральные характеристики Landsat 7 (ETM+ Band 6 получен с разрешением 60 метров, но продукты передискретизированы до 30 метров на пиксель).*

Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)	Диапазон волн (мкм)	Разрешение (м)
Band 1 - Ультрасиний (побережья и аэрозоли)	0.435 - 0.451	30
Band 1 - Синий	0.452 - 0.512	30
Band 2 - Зеленый	0.533 - 0.590	30
Band 3 - Красный	0.636 - 0.673	30
Band 5 - NIR	0.851 - 0.879	30
Band 6 - SWIR 1	1.566 - 1.651	30
Band 7 - SWIR 2	2.107 - 2.294	30
Band 8 - Панхроматический	0.503 - 0.676	15
Band 9 – Перистые облака	1.363 - 1.384	30
Band 10 - Тепловой 1	10.60 - 11.19	100* (30)
Band 11 - Тепловой 2	11.50 - 12.51	100* (30)

Таб.4. Спектральные характеристики Landsat 8 (Полосы TIRS получены с разрешением 100 метров, но в доставленном продукте данных передискретизация до 30 метров на пиксель).*

Для автоматизации определения территории, занимаемой городской застройкой используют множество индексов. В 2018 было выявлено, что наиболее точно отображает городскую застройку Москвы индекс NDBI (нормализованный индекс застройки), в исследовании вычисляли следующие индексы:

$$NDBI = (R_{SWIR1} - R_{NIR}) / (R_{SWIR1} + R_{NIR});$$

$$V_{T}NIR - BI = (R_R - R_{NIR}) / (R_R + R_{NIR});$$

$$V_gNIR - BI = (R_G - R_{NIR}) / (R_G + R_{NIR});$$

$$UI = (R_{SWIR2} - R_{NIR}) / (R_{SWIR2} + R_{NIR});$$

$$NDISI = (R_{TIR1} - ((R_G + R_{NIR} + R_{SWIR1}) / 3)) / (R_{TIR1} + ((R_G + R_{NIR} + R_{SWIR1}) / 3)),$$

где R_G – значение спектральной плотности излучения в зеленом канале видимого диапазона (0,52–0,60 мкм); R_R – значение спектральной плотности излучения в красном канале видимого диапазона (0,63–0,69 мкм); R_{NIR} – значение спектральной плотности излучения в ближнем инфракрасном канале (0,76–0,90 мкм); R_{SWIR1} – значение спектральной плотности излучения в среднем инфракрасном канале (1,55–1,75 мкм); R_{SWIR2} – значение спектральной плотности излучения в среднем инфракрасном канале (2,08–2,35 мкм); R_{TIR1} – значение спектральной плотности излучения в тепловом канале (10,6–11,2 мкм) (Estoque, Yuji, 2015).

Цель исследования – оценить применимость указанных выше индексов для определения изменений городской застройки за как можно больший период времени. Для этого потребовалось отобрать снимки достаточно высокого разрешения, на которых отсутствовала облачность. Было выбрано 11 снимков Landsat разных миссий с 1986 г. по 2016, периода июнь-сентябрь. В ходе исследования для каждого растра были рассчитаны бинарные индексы методом Оцу (необходимо найти пороговое значение индекса, в соответствии с которым все пиксели индексного изображения будут разделены на два класса). Метод разбивает изображение на два класса с минимальной дисперсией, определенной взвешенной суммой дисперсий двух классов, а критерий максимальной дисперсии между классами определяет оптимальное пороговое значение для разделения изображения. Приведенные выше индексы все описали городскую застройку, но NDBI и UI показали наиболее точные результаты.

Год	Доля пикселей, отнесенных к классу застройки, % (от общего количества пикселей бинарного растра)				
	NDBI	UI	VrNIR-BI	VgNIR-BI	NDISI
1986	33,8	28,7	31,9	29,2	27,1
1989	36,2	31,5	37,2	40,8	28,9
1990	37,4	33,7	40,2	41,5	21,3
1994	33,5	27,3	34,2	31,4	26,0
1998	45,8	37,6	37,9	30,0	9,9
2001	35,3	28,6	33,1	30,8	42,1
2003	28,5	22,8	32,0	29,6	26,5
2007	37,3	27,7	33,0	31,4	37,2
2011	39,1	33,7	36,1	33,5	11,5
2014	44,8	60,6	37,3	31,0	26,7
2016	34,9	28,6	35,6	36,2	40,6

Таб.5. Доли пикселей, отнесенных к классу застройки, за весь рассматриваемый период для каждого индекса.

Основные ошибки были связаны с тем, что объектам, не относящимся к застройке, присваивался тот же индекс и наоборот, участки застройки относились к классу прочих объектов. Открытые участки грунта, распаханые сельскохозяйственные земли относились к

классу застройки для индексов NDBI, VrNIR-BI, VgNIR-BI, UI. Хвойные леса, участки торфоразработки в индексе NDISI во всех годах отнесены к классу застройки, а в прочих индексах лишь единичные случаи этой ошибки. Отнесение городской застройки к классу прочих объектов, присутствуют на бинарных растрах всех индексов, в наибольшей степени – NDISI. Индексы NDBI и UI являются наиболее подходящими для исследования изменения застройки Москвы, потому что в сравнении с другими индексами наиболее точно передают характер изменения застройки. Худшим образом передает застройку и ее изменение индекс NDISI (Грищенко, Сарычев, 2018).

В 2012 г. была проведена исследовательская работа, направленная на тестирование уже существующих и выявление новых индексов застройки. Исследование проводилось для территории города Волос, Греция. Были рассмотрены следующие индексы:

$NDBaI = (R_{SWIR1} - R_T)/(R_{SWIR1} + R_T)$ – индекс нормализованной разности открытой поверхности, отделяет разные почвы друг от друга и от некоторой части построек, основан на температурной разности поверхности почв.

$NDWI = (R_G - R_{NIR})/(R_G + R_{NIR})$ – индекс водных поверхностей, основан на том, что вода отражает в видимом диапазоне волн гораздо больше, чем в инфракрасном. Этот же принцип используется в индексе с таким же названием NDWI, но вместо зеленого канала используют красный канал видимого спектра. В 2006 индекс был модифицирован, были подавлены шумы, появляющиеся за счет зданий:

$$NDWI = (R_G - R_{SWIR1})/(R_G + R_{SWIR1})$$

$NDVI_C = (R_{NIR} - R_R)/(R_{NIR} + R_R)$ – Нормализованный вегетационный индекс.

$UI = \left(\frac{R_{SWIR2} - R_{NIR}}{R_{SWIR2} + R_{NIR}} + 1 \right) * 100$ – индекс урбанизированных территорий, в нем не

участвуют каналы видимого спектра, так как они больше всего подвержены влиянию атмосферных условий. Каналы имеют R_{SWIR2} и R_{NIR} отрицательную зависимость с яркостью антропогенных урбанизированных объектов.

$$IBI = \left(\frac{\frac{2R_T}{2R_T + R_{NIR}} - \left[\frac{R_{NIR}}{R_{NIR} + R_R} + \frac{R_G}{R_G + R_{SWIR1}} \right]}{\frac{2R_T}{2R_T + R_{NIR}} + \left[\frac{R_{NIR}}{R_{NIR} + R_R} + \frac{R_G}{R_G + R_{SWIR1}} \right]} \right) - \text{индекс, основывающийся на}$$

индексах. В формулу входят модифицированные индексы городской застройки, растительности и воды (NDBI, NDVI, NDWI).

$BU_b = NDBI_b - NDVI_b$ – бинарный индекс строений, основанный на разнице нормализованных индексов растительности и городских строений.

$BU_c = NDBI_c - NDVI_c$ – аналогичный индекс BU_b , но использованы не бинарные значения индексов NDBI и NDVI, а исходные.

Был выбран снимок Landsat за июль 2009 г. (рис.36.), полученные индексированные изображения сопоставлялись с предоставленной маской от Греческой Кадастровой Службы, разрешение менее 1-го метра на пиксель (2007-2009 гг.) (рис.37.).

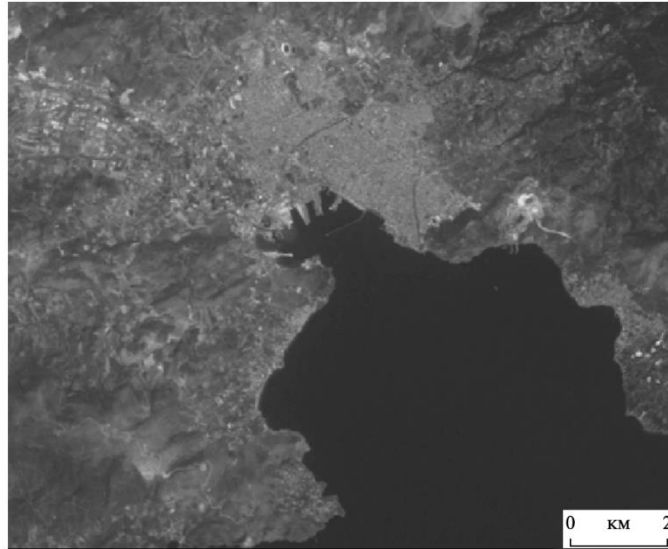


Рис.36. Исходный снимок Landsat, ближний инфракрасный канал.



Рис.37. Маска урбанизированных земель.

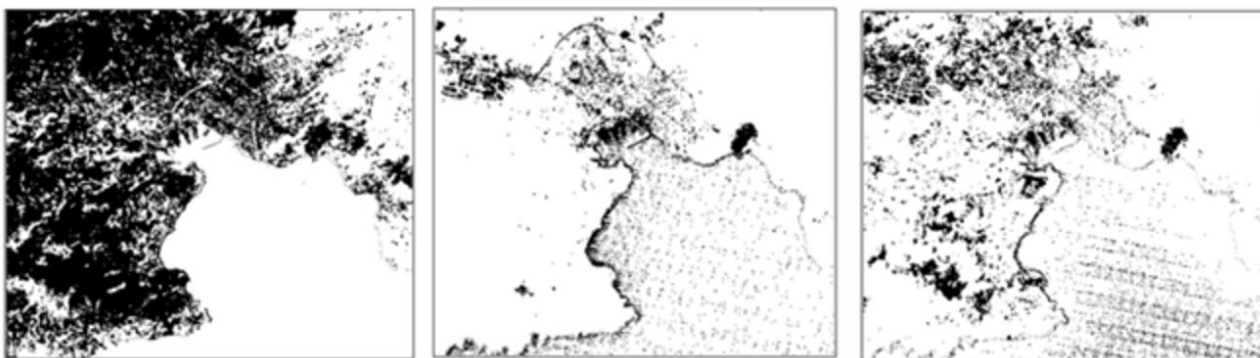


Рис.38. Маски застроенных территорий, полученные на основе разных индексов: 1 – IBI (пороговое значение 0.13); 2 – BUb; 3 – BUc (пороговое значение 0.25).

Во всех опробованных индексах так или иначе используются формулы нормализованных индексов застройки и вегетации. В ходе исследования был выявлен новый индекс, основанный также на формулах NDVI и NDBI:

$$VIBI = \frac{NDVI}{NDVI - NDBI} \text{ (Vegetation Index – Built-up Index)}$$

Граничное значение коэффициента вычисляется экспериментально.

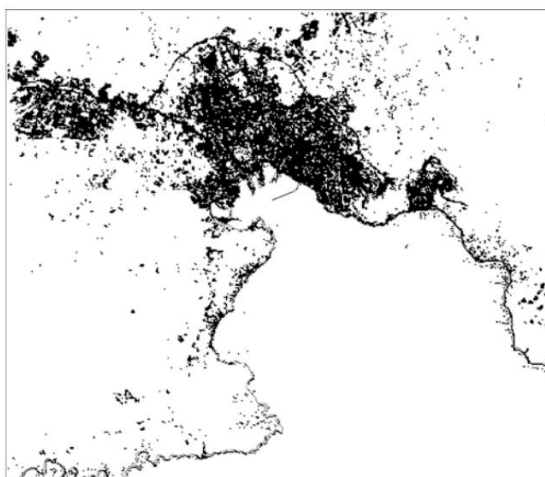


Рис.39. Результаты выделения застроенных территорий с использованием индекса VIBI (пороговое значение = 0.2).

В результате исследований было продемонстрировано, что предложенный авторами индекс VIBI дает лучшие результаты при дешифрировании урбанизированных территорий, чем существующие на сегодняшний день аналоги. С помощью индекса выделяется класс базы данных CORINE первого уровня “искусственные поверхности” (artificial surfaces), за исключением подкласса “зеленые массивы в поселениях” (urban green), которые, конечно же, с использованием данного индекса выделить невозможно (Статакис, 2012).

В 2010 г. специалисты из Пекинского университета исследовали разницу в построении индексных изображениях застроенных территорий на примере Пекинского

Национального Олимпийского Парка (рис.40.) и оценили их точность. Он занимает территорию 12,5 км², начал активно застраиваться в 2000 г. в ходе подготовки к Олимпиаде 2008 г. Исследования проводились с помощью снимка Landsat 7 2001 г., снимку IKONOS того же г., топографической карте 1972 г., масштаб 1:500 000, карте землепользования на 2000 г., масштаб 1:100 000.

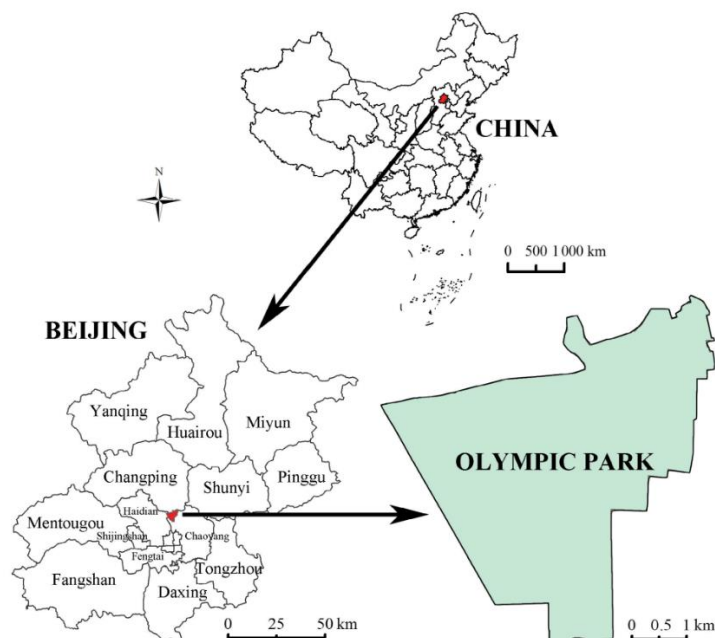


Рис.40. Исследуемая территория Пекинского Национального Олимпийского Парка. (Китай-Пекин-Олимпийский парк).

Были использованы бинарные и исходные индексы NDVI и NDBI, причем положительным значениям присваивались разные индексы при переклассификации для получения бинарных изображений. Для получения конечных индексных изображений вычислялась разность двух индексов: первое – в бинарной системе; второе – в исходных значениях (Chunyang He, 2010).

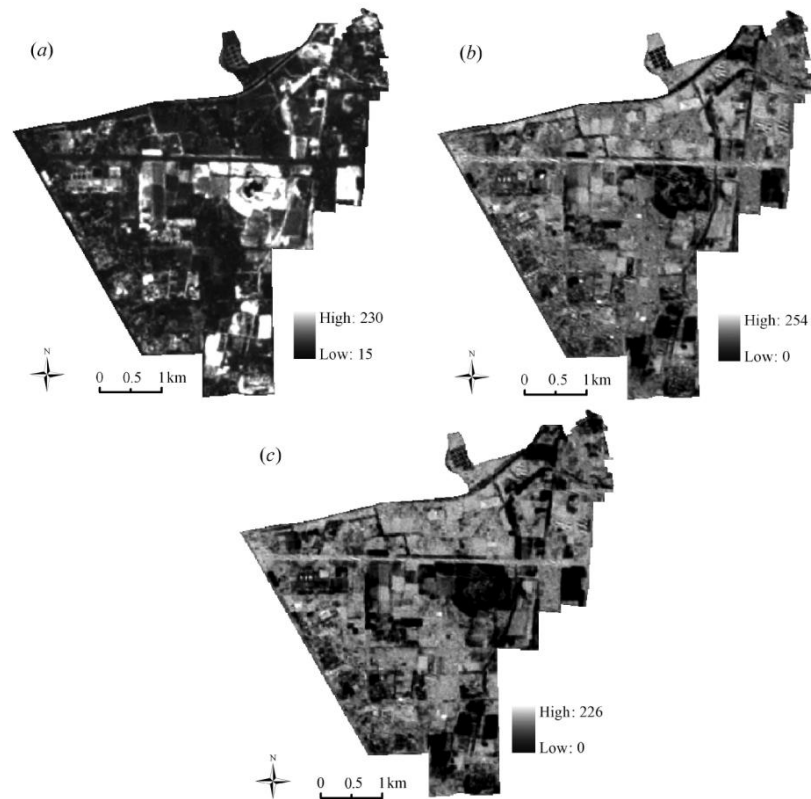


Рис.41. Непрерывные изображения (а – непрерывное изображение NDVI, б – непрерывное изображение NDBI, с – непрерывное изображение застроенной территории.

Однако, как и оригинальный подход NDBI, предложенный подход также имеет некоторые ограничения, потому что это полуавтоматический метод. Поэтому он в определенной степени опирается на опыт и умение оператора. Кроме того, предлагаемый подход не может полностью отделить голые земли и застроенные участки из-за их аналогичного спектрального характера (Chunyang He, 2010).

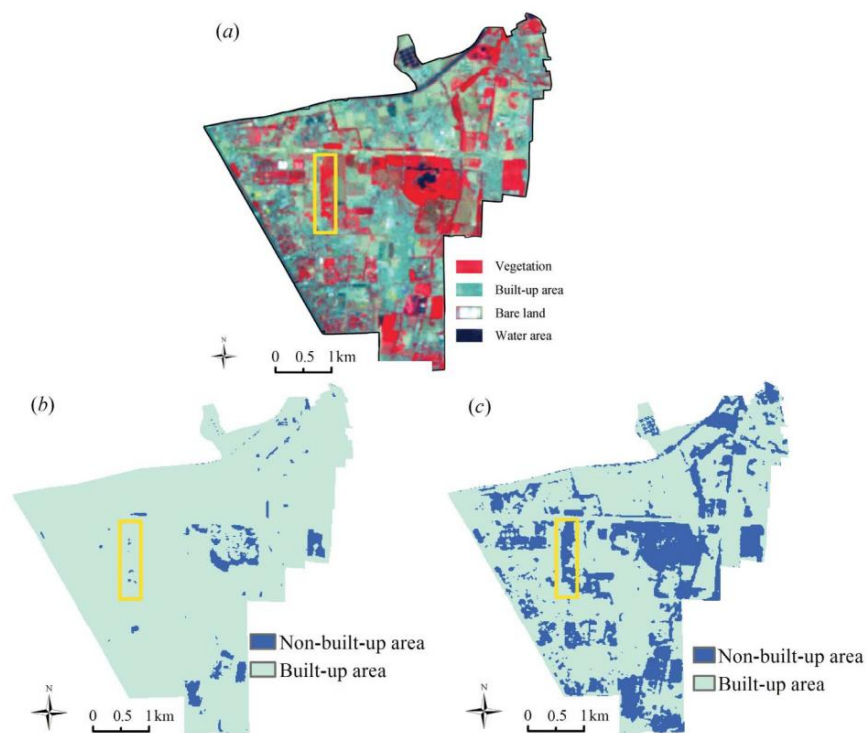


Рис.42. Сравнение результатов по оригинальному и предлагаемому подходам (а – изображение Landsat 7 4-2-3, б – результирующее двоичное изображение застроенных и незастроенных областей по бинарному индексу, с – результирующее двоичное изображение застроенных и не застроенных областей по непрерывным индексам).

ГЛАВА 3. СОЗДАНИЕ ВИЗУАЛЬНЫХ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ГОРОДОВ ВОЛГОГРАД, ОМСК, СИМФЕРОПОЛЬ, СОЧИ.

3.1. Общая технология создания визуальных картографических моделей городов

В ходе составления визуальных картографических моделей использовалось следующее программное обеспечение: QGIS 3.12.1 и ArcGIS 10.6.1 (ArcMap, ArcCatalog).

QGIS (рис.43.) - программное обеспечение, географическая информационная система (ГИС), позволяя пользователям анализировать и редактировать пространственную информацию, а также составлять и экспортировать графические файлы. QGIS поддерживает как растровые, так и векторные слои; векторные данные хранятся в виде точечных, линейных или полигональных объектов. Поддерживается несколько форматов растровых изображений, программа также может выполнить их географическую привязку. QGIS поддерживает shape-файлы, покрытия, персональные базы геоданных, dxf, MapInfo, PostGIS и другие форматы. Web-службы (Web Map Service и Web Feature Service), также поддерживаются. QGIS интегрируется с другими пакетами ГИС с открытым исходным кодом, включая PostGIS, GRASS GIS и MapServer. Плагины, написанные на Python или C ++, расширяют возможности программы. Они могут работать с помощью API геокодирования Google, выполнять функции геообработки, аналогичные функциям стандартных инструментов, имеющихся в ArcGIS, и взаимодействовать с базами данных PostgreSQL / PostGIS, SpatiaLite и MySQL (официальный сайт QGIS, 2020).

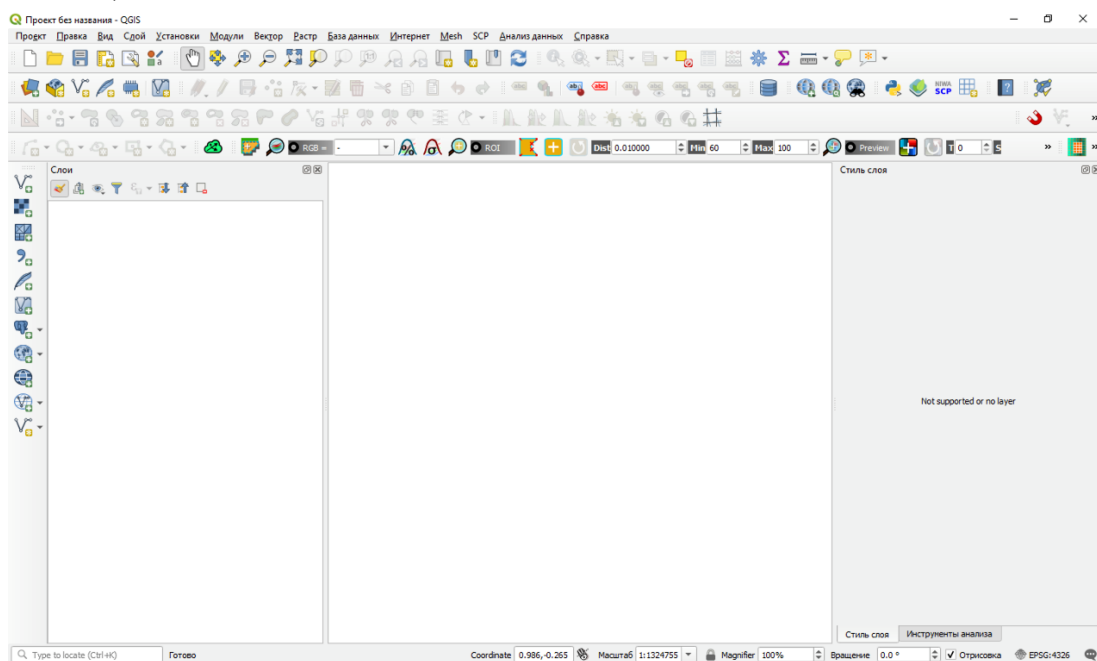


Рис.43 Стартовое окно QGIS 3.12.1.

ArcGIS – ГИС для работы с пространственной информацией, поддерживаемая Институтом Исследования Экологических Систем (ESRI). Программа используется для создания и использования карт, отображения географических данных, анализа информации, использования карт и географической информации в ряде приложений, также для управления географической информацией в базе данных. ArcGIS состоит из следующего программного обеспечения для Windows:

- ArcReader, который позволяет просматривать и запрашивать карты, созданные с помощью других продуктов ArcGIS;
- ArcGIS Desktop (часто называемый «ArcMap», чтобы отличать его от ArcGIS Pro) состоит из четырех основных приложений:
 - ArcMap, для просмотра и редактирования данных в двухмерном пространстве, измерения и создания плоских карт;
 - ArcScene, для просмотра и редактирования трехмерных пространственных данных;
 - ArcGlobe, для отображения больших глобальных 3D-наборов данных;
 - ArcCatalog, для задач управления и манипулирования данными ГИС.
- ArcGIS Pro, новое ГИС-приложение, планирует в конечном итоге заменить ArcMap и его сопутствующие программы. ArcGIS Pro работает в 2D и 3D для картографии и визуализации и включает в себя искусственный интеллект (AI).

В состав продукта ArcGIS Enterprise входят также серверное программное обеспечение ArcGIS, а также приложения ArcGIS для мобильных устройств, таких как телефоны и планшеты. Расширения можно приобрести отдельно для увеличения функциональности (официальный сайт ERSI, 2020).

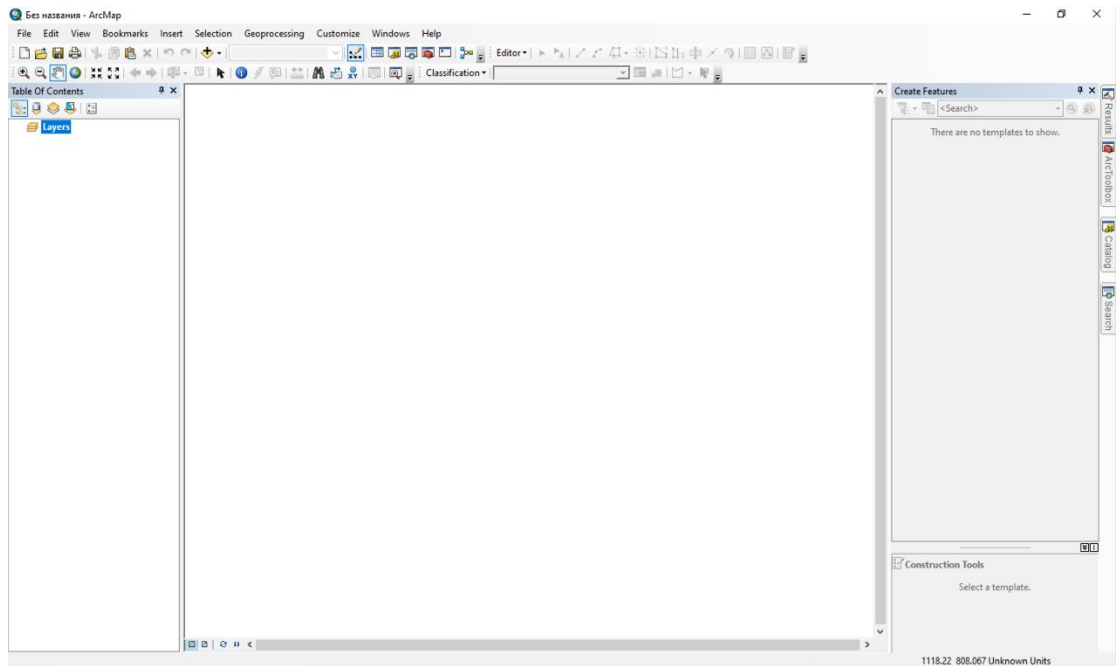


Рис.44. Стартовое окно ArcMap 10.6.1.

Растровые данные дистанционного зондирования, необходимые для исследования, были выгружены из портала Геологической Службы США (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Для проведения работы потребовались разновременные космоснимки Landsat различных миссий. Свежие данные были представлены Landsat 8 (2013 г.-наше время), более ранние – Landsat 7 (1999-2003 гг., т.к. аппаратура была повреждена) или Landsat 4-5 (1982-2014 гг.), в зависимости от показаний облачности на космоснимке (не больше 20%). Для поиска снимков было необходимо:

- 1) выделить область поиска, точкой или полигоном (рис.45.).

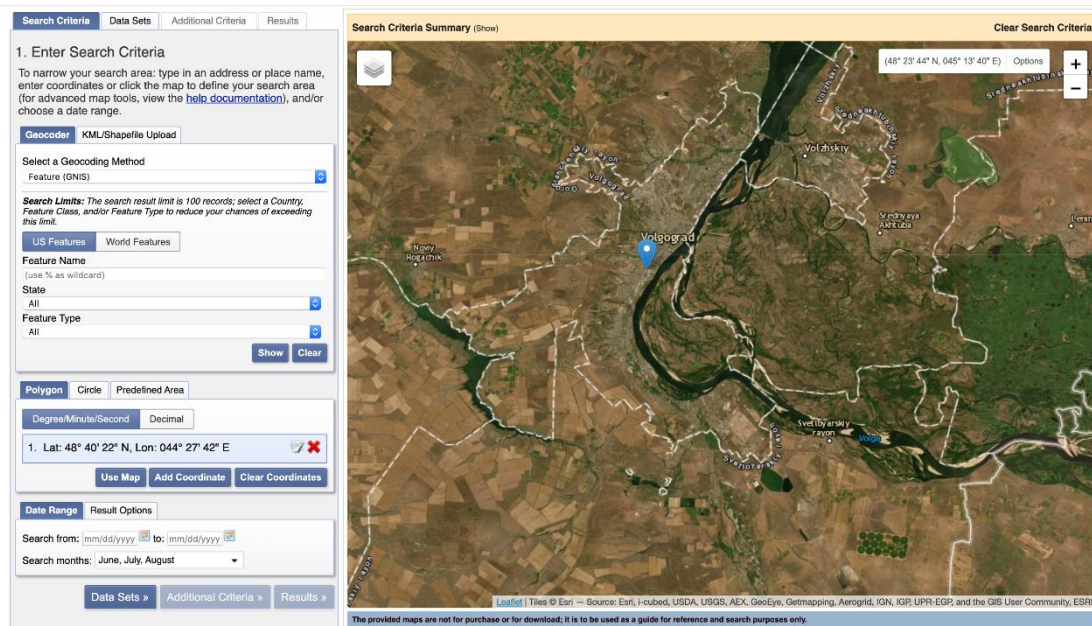


Рис.45. Окно геопортала Геологической Службы США.

- 2) выбрать снимки за летний период в графе «Data Range/Search months»
- 3) в графе «Data set» выбрать нужную миссию Landsat (рис.46.);

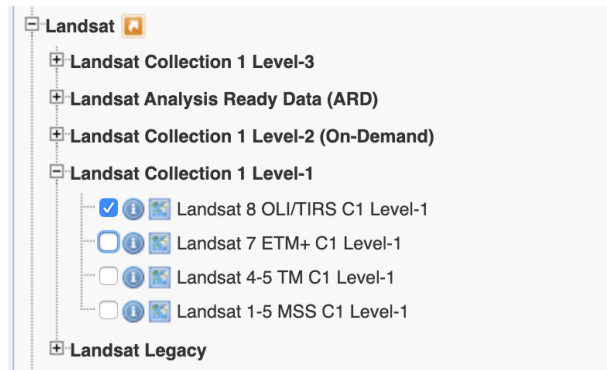


Рис.46. Меню выбора ДДЗ Landsat.

- 4) в графе «Additional Criteria (Optional)» поставить значение облачности («Land Cloud Cover») меньше 20%, для Landsat 7 выбрать период съемки до 2003 г. («Scan Line Corrector»);
- 5) нажать «Results», выбрать наиболее подходящие снимки, где тень от облаков и сами облака отсутствуют на исследуемой территории (рис.47.);

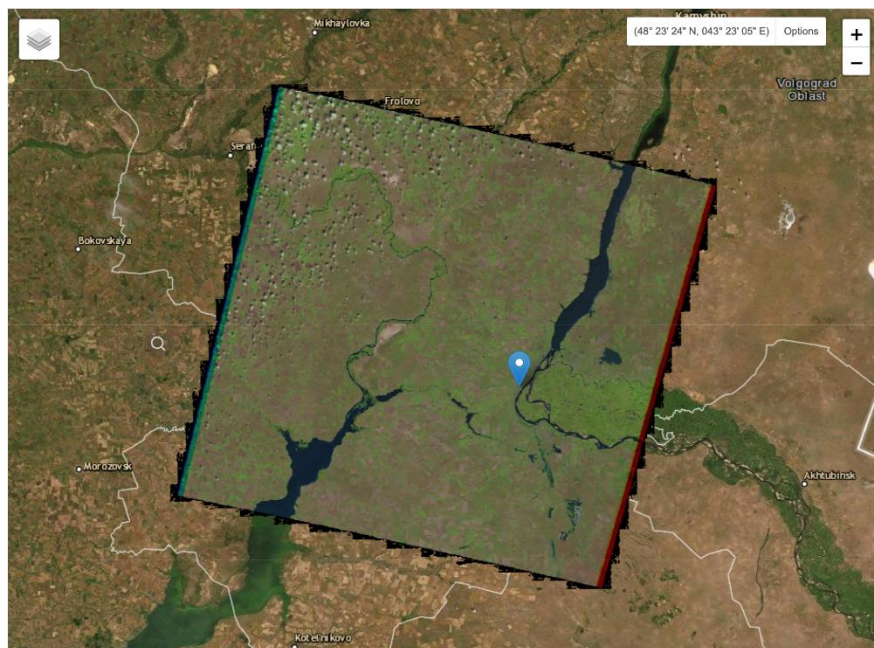


Рис.47. Наиболее подходящий снимок.

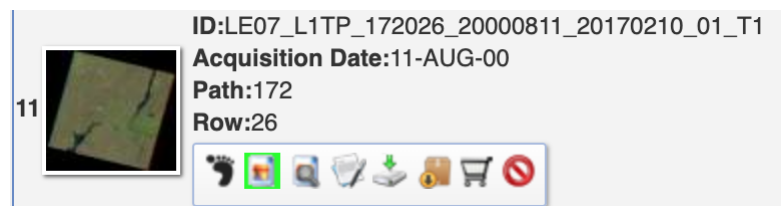


Рис.48. Наиболее подходящий снимок в боковом меню.

б) скачать снимок в формате GeoTIFF (рис.49.).

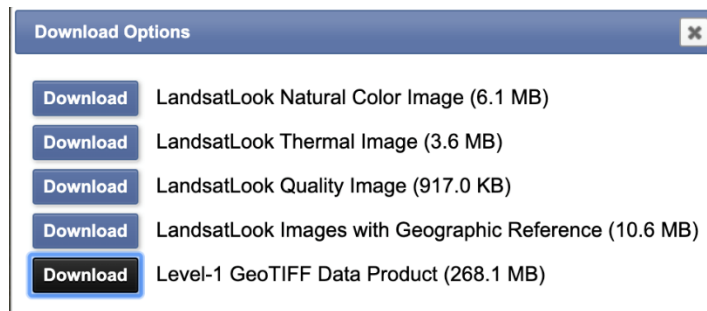


Рис.49. Меню выбора данных для скачивания.

Векторные данные для дальнейшей работы широко представлены на порталах GIS-Lab, ВСЕГЕИ, Open Street Map. Были использованы готовые данные в формате shape-файлов.

Далее работа проходила в программе QGIS. Для каждого города были созданы четыре новых проекта (Проект/Создать). Первый этап паншарпинга и атмосферной коррекции проходил при помощи модуля Semi-Automatic Classification Plugin. Для осуществления операций в боковом меню должно быть выбрано «Preprocessing», указана директория хранения снимка и метафайла, помечены необходимые действия.

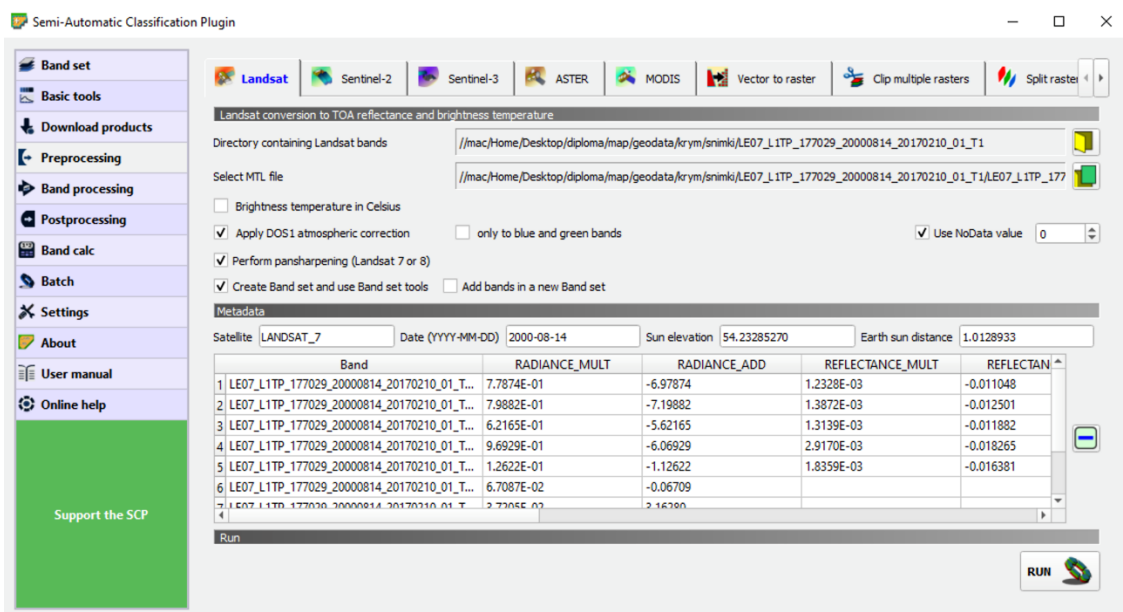


Рис.50. Диалоговое окно Semi-Automatic Classification Plugin.

Каналы с коррекцией автоматически были добавлены в проект. Для сборки их в один многоканальный растр был использован модуль GDAL (Растр/Прочее/Результат) (рис.51.). В диалоговом окне выбраны каналы 1-5 для Landsat 4-5/7, для Landsat 8 2-6 (важно, что они располагались по порядку). Для правильного осуществления операции были отмечены опции загрузки каждого файла как отдельного канала, загружен результат не в виртуальный слой, а в отдельный файл.

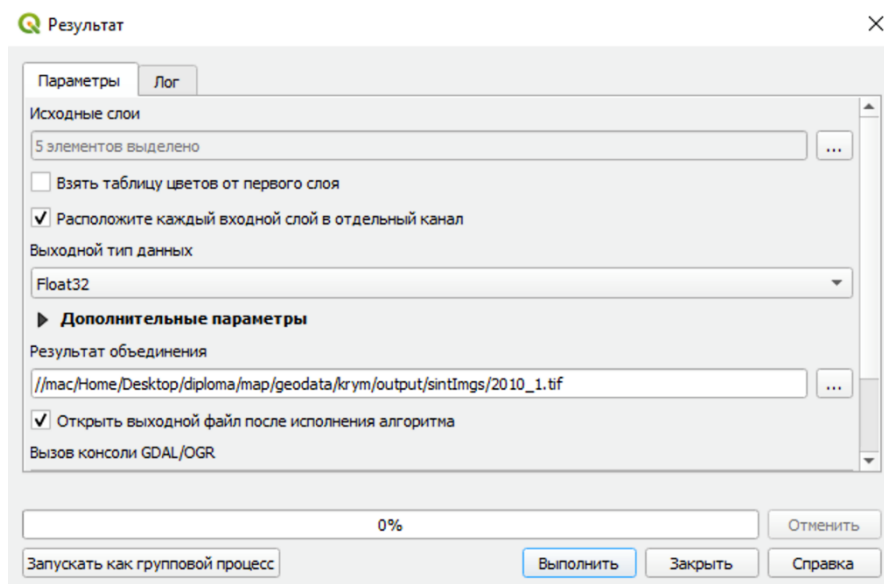


Рис.51. Диалоговое окно операции «Результат» модуля GDAL.

Многоканальные снимки были добавлены в проект (Слой/Добавить слой/Добавить растровый слой (рис.52.)), в диалоговом меню необходимо указать путь к файлам.

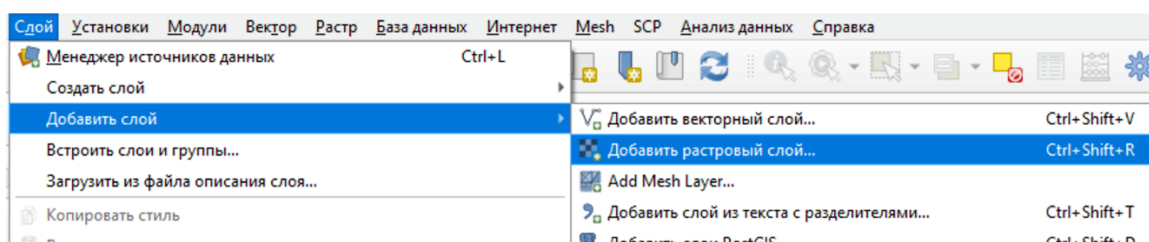


Рис.52. Меню добавления растровых слоев.

Следующий этап – формирование индексных изображений, для дешифрирования застроенных территорий. Для этого использовался инструмент «Raster Calculator». В боковом меню необходимо выбрать нужные каналы и указать операции, в которых они будут участвовать. Например, для составления NDBI участвовали 4 и 5 каналы (рис.53.).

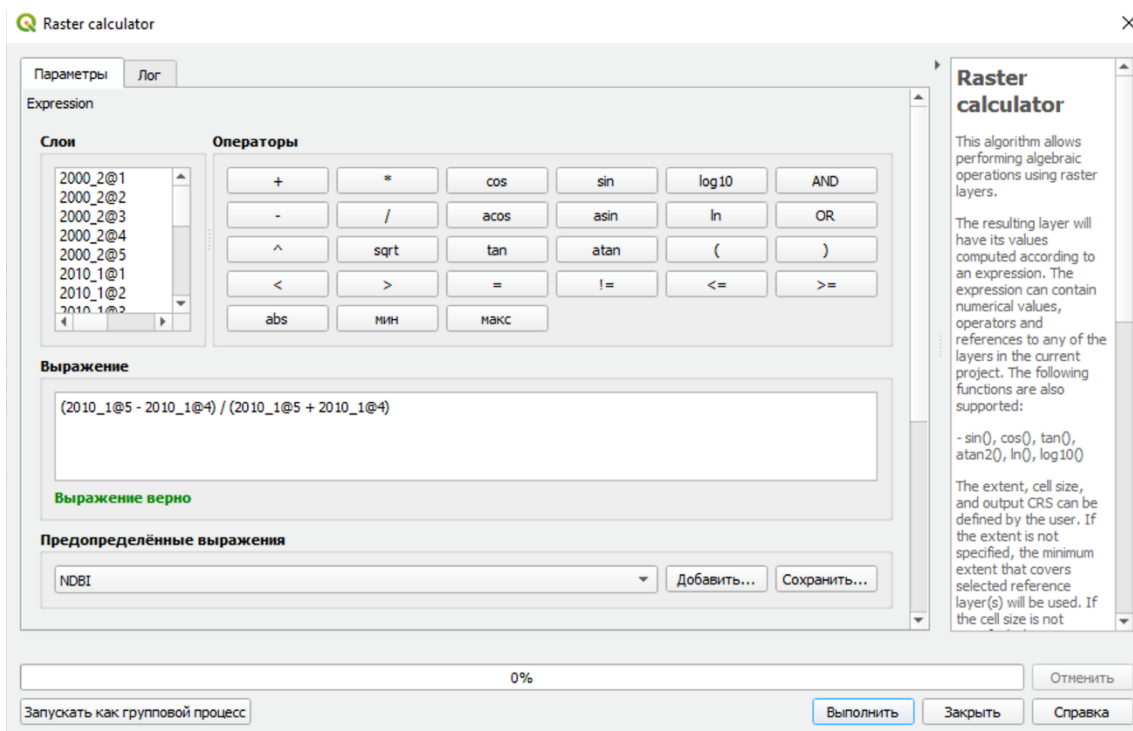


Рис.53. Диалоговое окно калькулятора растров с формулой NDBI.

Для выявления разницы в застройке был использован тот же инструмент «Raster Calculator». Индексное изображение получилось при вычитании разновременных изображений друг из друга, пороговое значение вычислялось при помощи визуального сравнения синтезированных растров.

Следующим этапом была проведена полуавтоматическая классификации в ArcMap инструментом «Image Classification» (Customize-Tollbars- Image Classification). В матрицу для классификации вошли два класса: первый – новые застроенные территории, второй – все остальное.



ID	Class Name	Value	Color	Count
1	Class 1	1		1884640
2	Class 7	7		679214

Рис.54. Матрица для полуавтоматической классификации.

Далее была проведена постклассификационная обработка растров. Использовался инструмент «Majority filter» (рис.55.) (ArcToolbox-Spatial Analyst Tools-Generalization- Majority filter) до тех пор, пока растр не стабилизировался и не перестал изменяться.

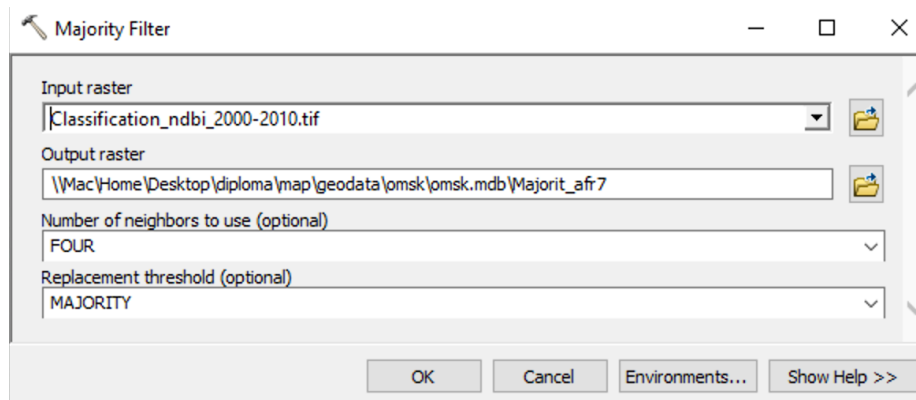


Рис.55. Диалоговое окно инструмента «Majority filter».

После использовался инструмент «Boundary clean» для сглаживания границ между зонами (ArcToolbox-Spatial Analyst Tools-Generalization-Boundary clean).

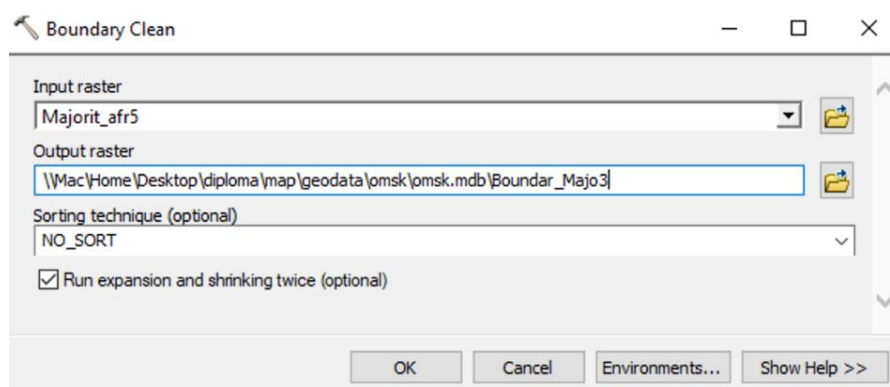


Рис.56. Диалоговое окно инструмента «Boundary clean».

Растры были переведены в векторный формат с помощью инструмента «Raster to Polygon» (ArcToolbox-Conversion Tools-From Raster-Raster to Polygon), экспортированы в формате shp-файла. Также было проведено визуальное сравнение полученных полигональных векторных слоев с исходными синтезированными растрами на предмет неверной классификации и исправления ошибок.

Последний этап – задание стилей и составление макета в QGIS.

Таким образом, общая технологическая схема составления визуальных картографических моделей выглядит так:

1. Получение разновременных космоснимков, векторных данных.
2. Атмосферная коррекция и паншарпинг космоснимков.
3. Получение индексных изображений.
4. Проведение полуавтоматической классификации с обучением.

5. Постклассификационная обработка растра для удаления шумов.
6. Визуальное сравнение и удаление ошибочно выделенных зон.
7. Задание стилей и составление макета.

3.2. Волгоград.

1. Для составления модели были скачаны снимки Landsat 7 2000 г., Landsat 4-5 2010г., Landsat 8 2019 г.

2. Для всех каналов всех снимков была проведена атмосферная коррекция, для Landsat 7/8 проведена операция паншарпинга по хроматическому снимку с пространственным разрешением 15 метров на пиксель.

3. Для всех годов были получены индексные изображение NDBI (рис.57.) и их разницы (рис.58.) (2000-2010 гг. – для выявления новых застроенных территорий в 2010 г., 2010-2019 гг. – для выявления новых застроенных территорий в 2019 г.).

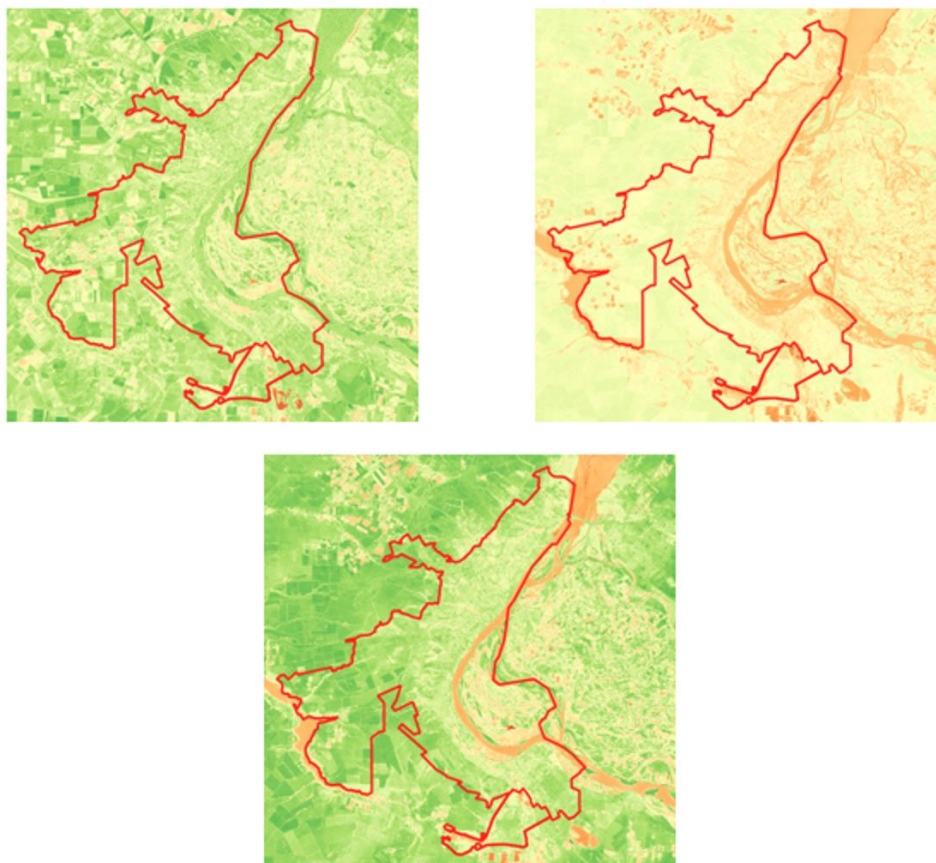


Рис.57. Индексные изображения NDBI 2000, 2010, 2019 гг., красные линии – границы города Волгограда.

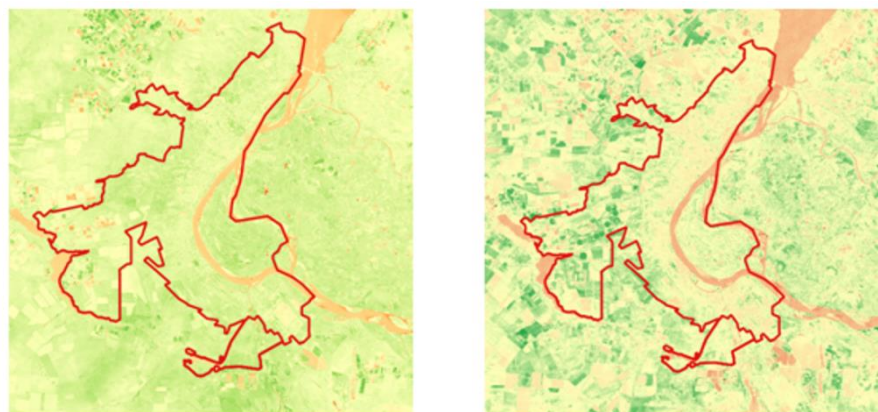
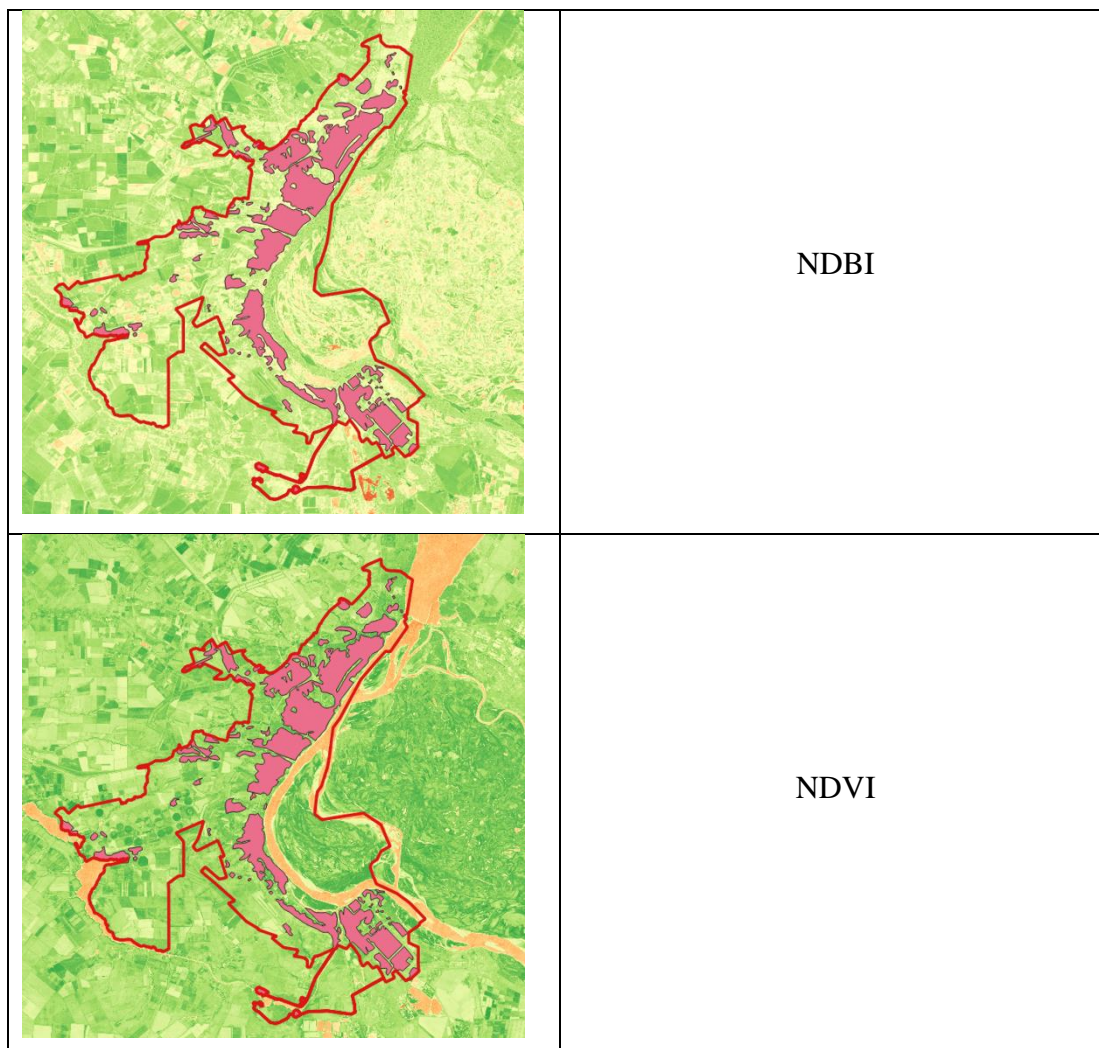

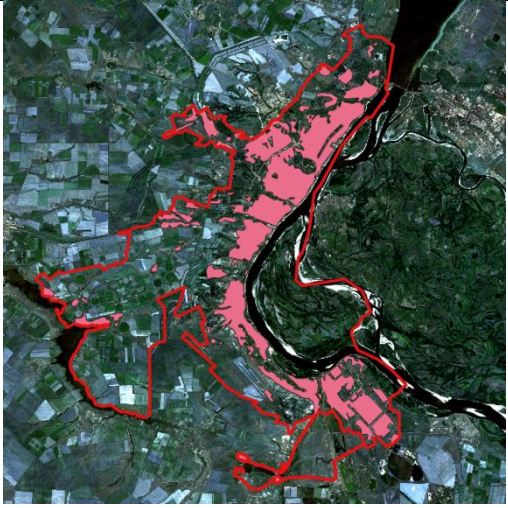


Рис.58. Изображения разницы индексов 2000-2010 и 2010-2019 гг., красные линии – границы города Волгограда.

Застроенная территория за 2000 г. была выделена при помощи визуального ручного дешифрирования, опираясь на синтезированное изображение в 3-2-1 и 2-3-4 каналах (Blue-Green-Red), индекс NDBI и NDVI.



	<p>2-3-4</p>
	<p>3-2-1</p>

Таб.6. Застроенная территория 2000 г., Волгоград.

4. На растрах после проведения полуавтоматической классификации с обучением имеются шумы и неправильно определенные группы пикселей.

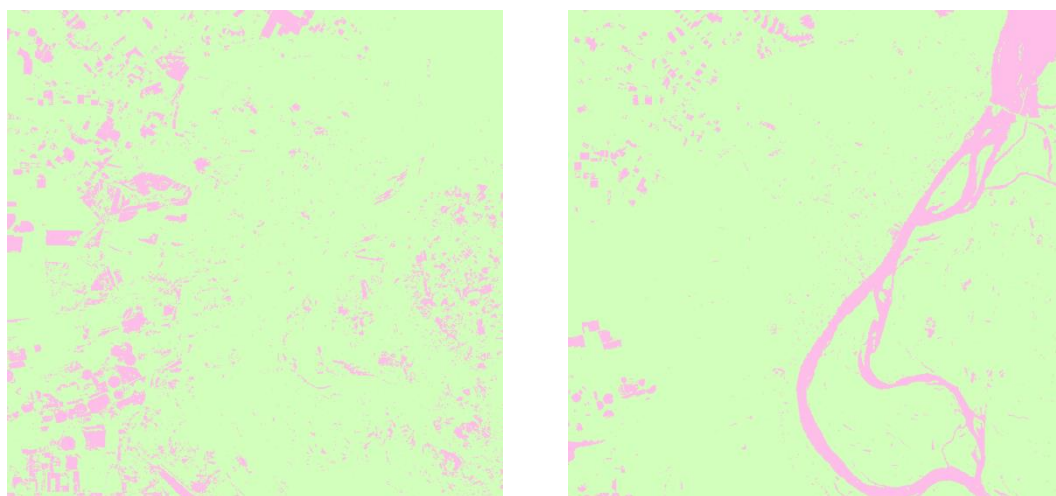
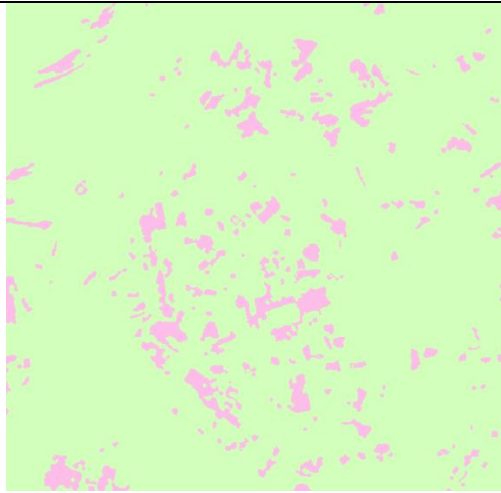

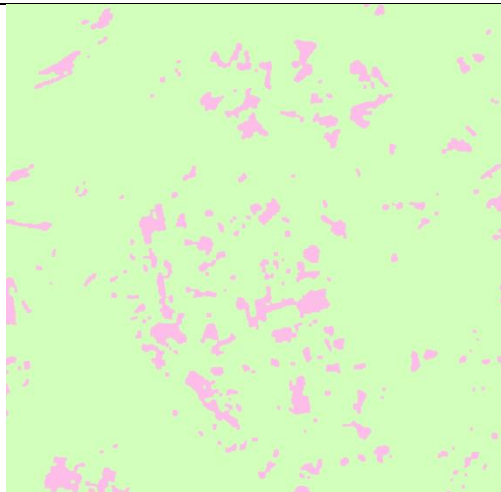
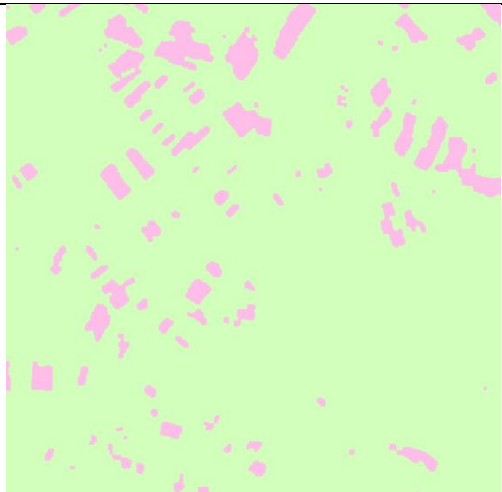


Рис.59. Бинарные изображения разницы застройки 2000-2010 гг. и 2010-2019 гг.

5. Для генерализации растров потребовалось 9 и 5 использований инструмента «Majority filter» для 2000-2010 гг. и 2010-2019 гг. соответственно.

	2000-2010 гг.	2010-2019 гг.
Majority filter		
Boundary clean		

Таб.7. Постклассификационная обработка бинарных изображений.

6. На снимках ошибочно классифицировались поля, которые раньше были засеяны, а на более поздних снимках урожай уже убран, или же наоборот. Также ошибочно выделились некоторые водные территории и все территории, с открытым грунтом из-за одинаковой отражательной способности в 4-5 каналах.

7. Придание стилей и создание макета проходило в программе QGIS. Результат представлен в приложении №1.

3.3. Омск.

1. Для составления модели были скачаны снимки Landsat 7 2000 г., Landsat 4-5 2010г., Landsat 8 2019 г.

2. Для всех каналов всех снимков была проведена атмосферная коррекция, для Landsat 7/8 проведена операция паншарпинга по хроматическому снимку с пространственным разрешением 15 метров на пиксель.

3. Для всех годов были получены индексные изображение NDBI (рис.60.) и их разницы (рис.61.) (2000-2010 гг. – для выявления новых застроенных территорий в 2010 г., 2010-2019 гг. – для выявления новых застроенных территорий в 2019 г.).

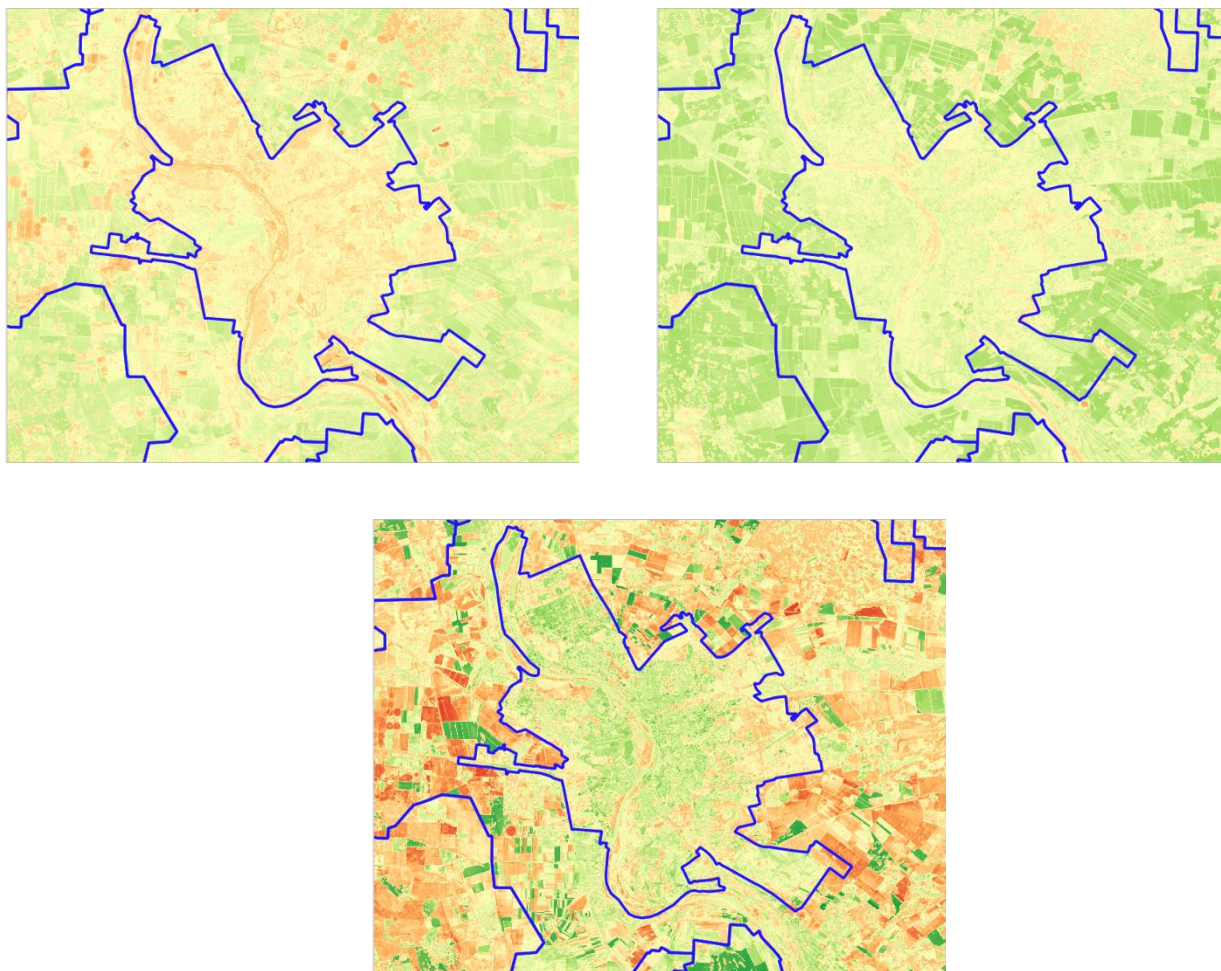


Рис.60. Индексные изображения NDBI 2000, 2010, 2019 гг., синие линии – границы муниципальных образований Омской области.

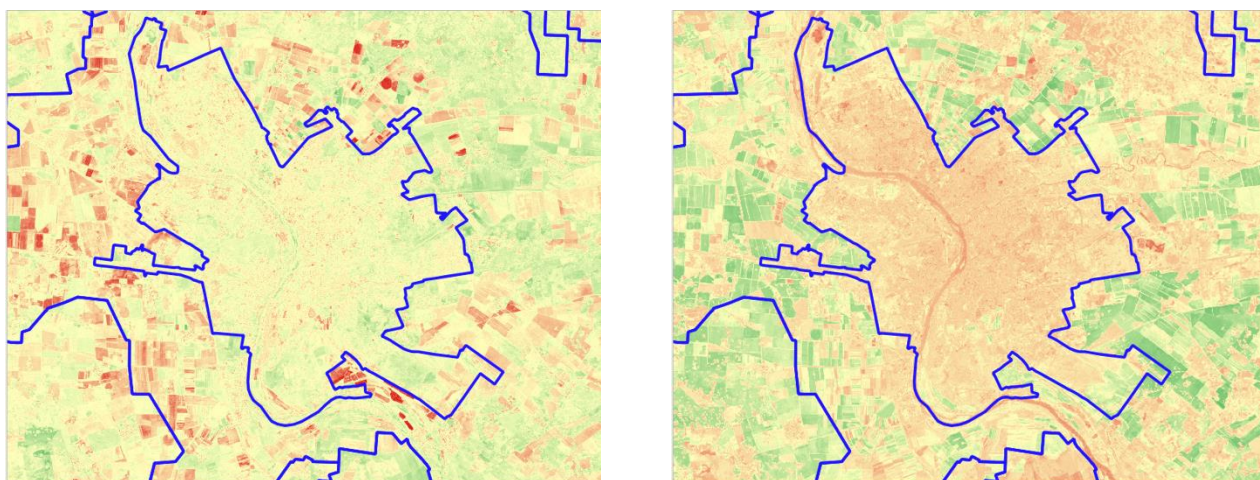
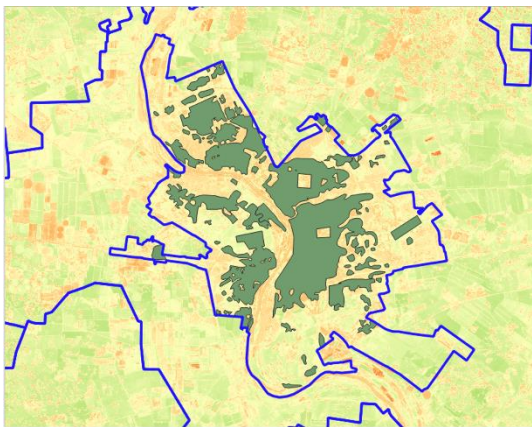
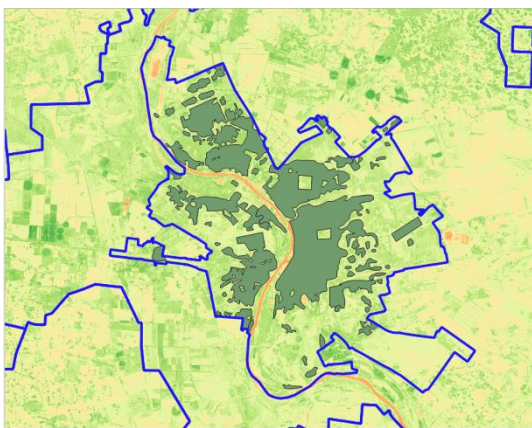
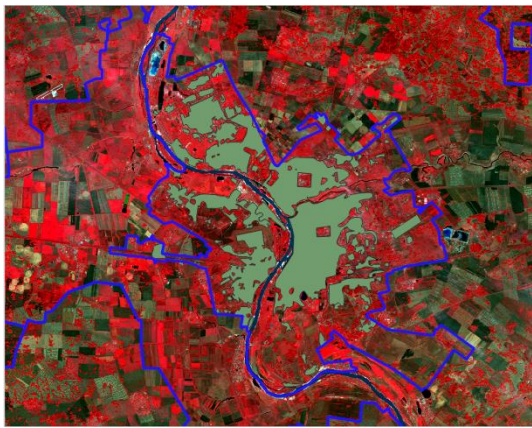
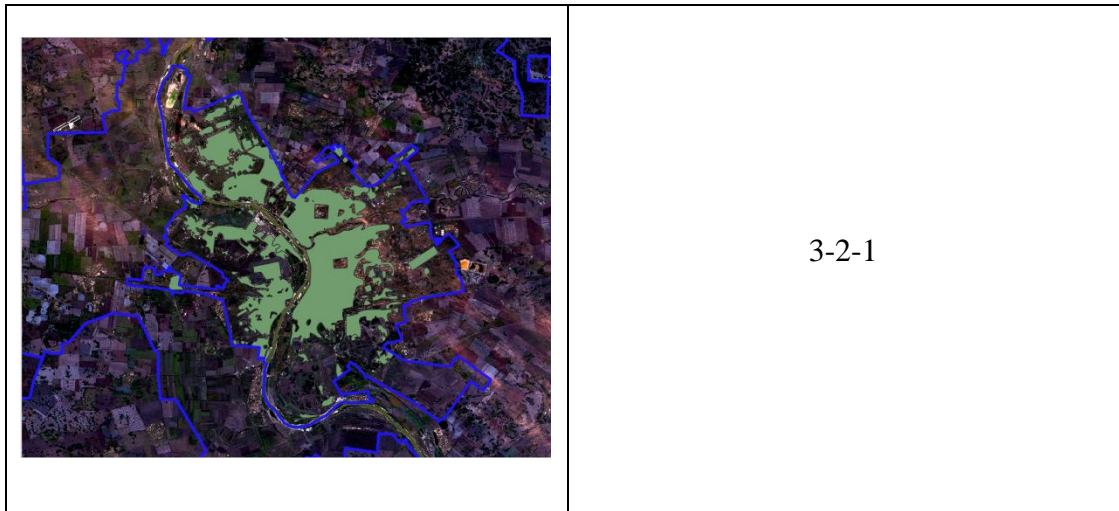


Рис.61. Изображения разницы индексов 2000-2010 и 2010-2019 гг., синие линии – границы муниципальных образований Омской области.

Застроенная территория за 2000 г. была выделена при помощи визуального ручного дешифрирования, опираясь на синтезированное изображение в 3-2-1 и 2-3-4 каналах (Blue-Green-Red), индекс NDBI и NDVI.

	NDBI
	NDVI
	2-3-4



Таб.8. Застроенная территория 2000 г., Омск.

4. На растрах после проведения полуавтоматической классификации с обучением имеются шумы и неправильно определенные группы пикселей.

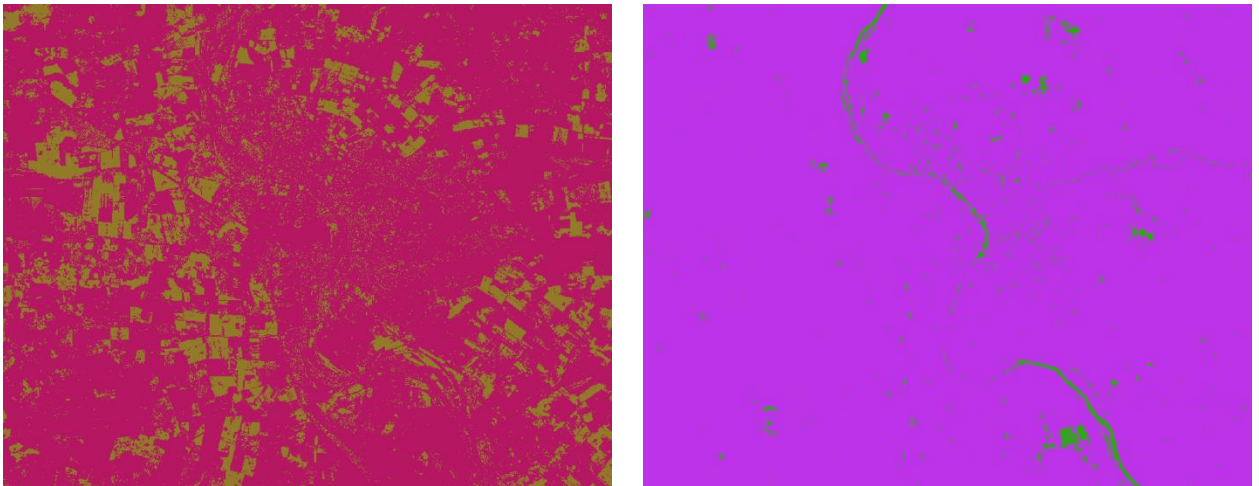
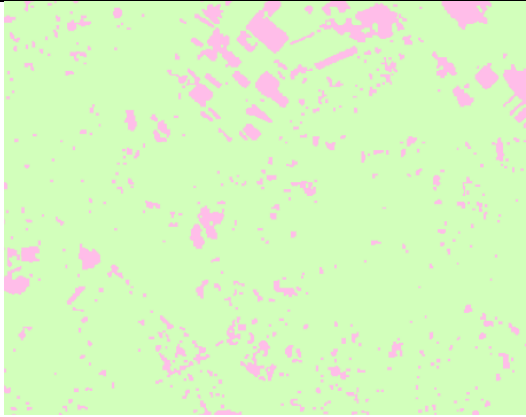

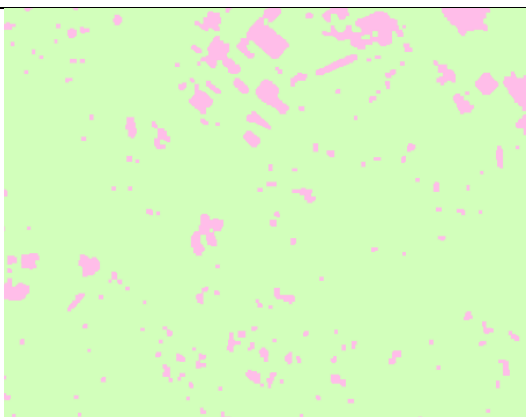



Рис.62. Бинарные изображения разницы застройки 2000-2010 гг. и 2010-2019 гг.

5. Для генерализации растров потребовалось 6 и 5 использований инструмента «Majority filter» для 2000-2010 гг. и 2010-2019 гг. соответственно.

	2000-2010 гг.	2010-2019 гг.
Majority filter		
Boundary clean		

Таб.9. Постклассификационная обработка бинарных изображений.

6. Из-за того, что снимки сделаны в разные месяцы, на них ошибочно классифицировались поля, которые раньше были засеяны, а на более поздних снимках урожай уже убран, или же наоборот. Также ошибочно выделились некоторые водные территории и все территории, с открытым грунтом из-за одинаковой отражательной способности в 4-5 каналах.

7. Придание стилей и создание макета проходило в программе QGIS. Результат представлен в приложении №2.

3.4. Симферополь.

1. Для составления модели были скачаны снимки Landsat 7 2000 г., Landsat 4-5 2010г., Landsat 8 2019 г.

2. Для всех каналов всех снимков была проведена атмосферная коррекция, для Landsat 7/8 проведена операция паншарпинга по хроматическому снимку с пространственным разрешением 15 метров на пиксель.

3. Для всех годов были получены индексные изображение NDBI (рис.63.) и их разницы (рис.64.) (2000-2010 гг. – для выявления новых застроенных территорий в 2010 г., 2010-2019 гг. – для выявления новых застроенных территорий в 2019 г.).

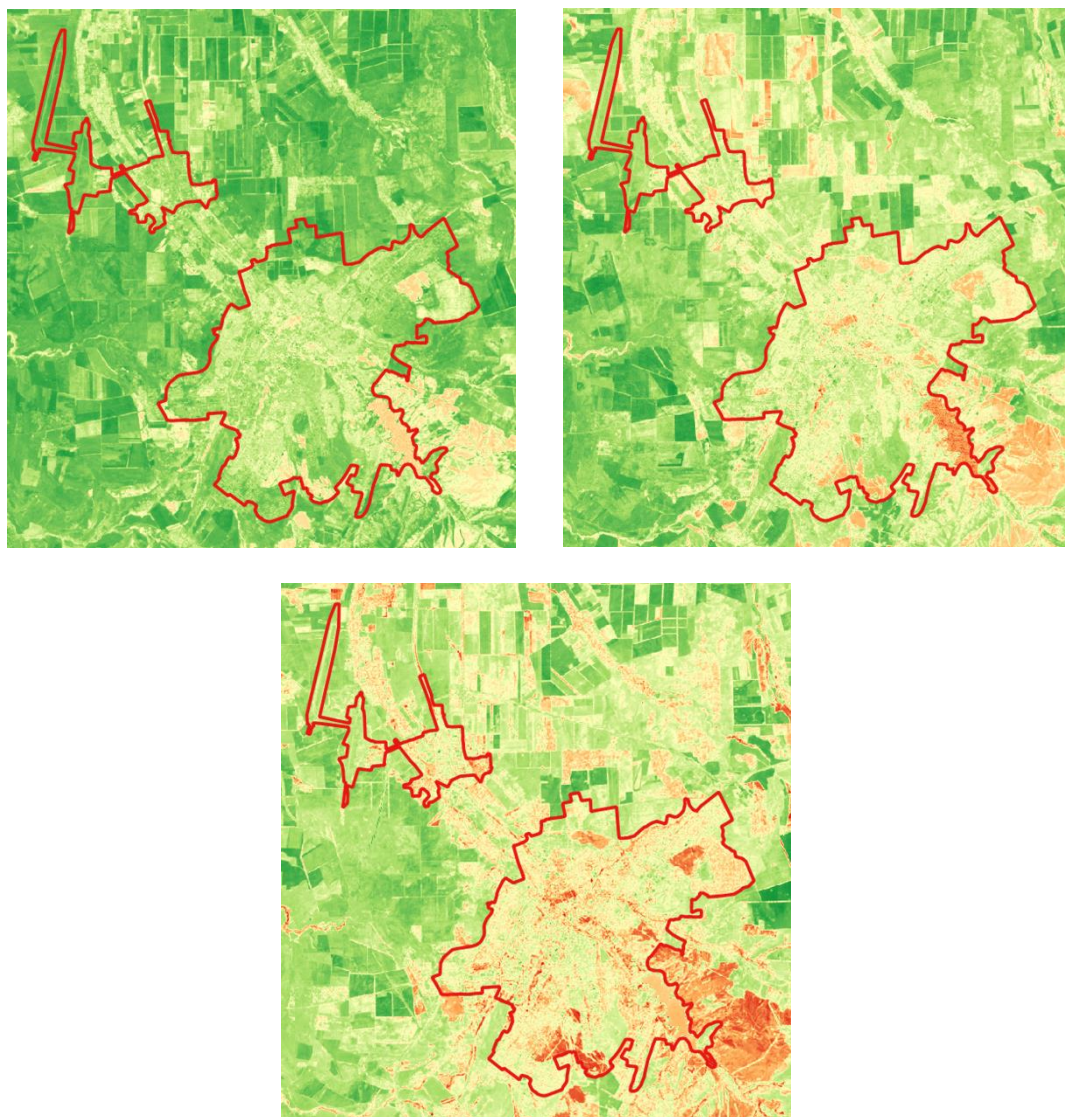


Рис.63. Индексные изображения NDBI 2000, 2010, 2019 гг., красные линии – границы города Симферополя.

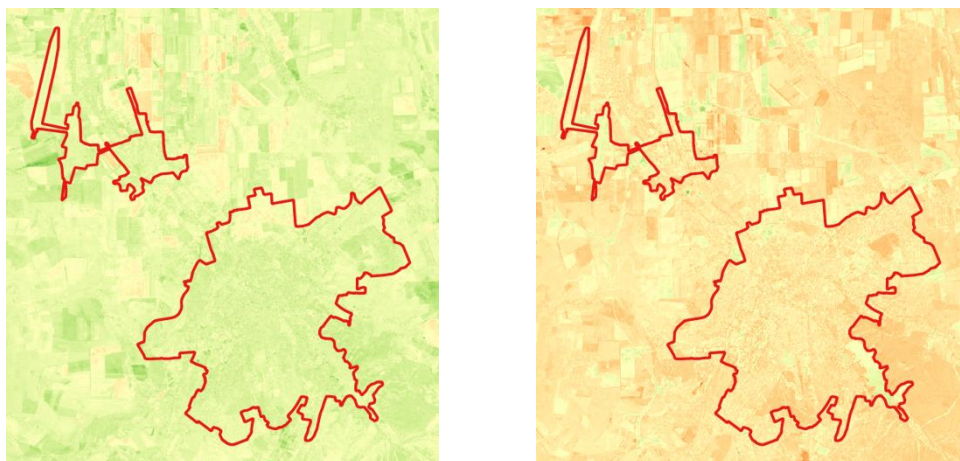
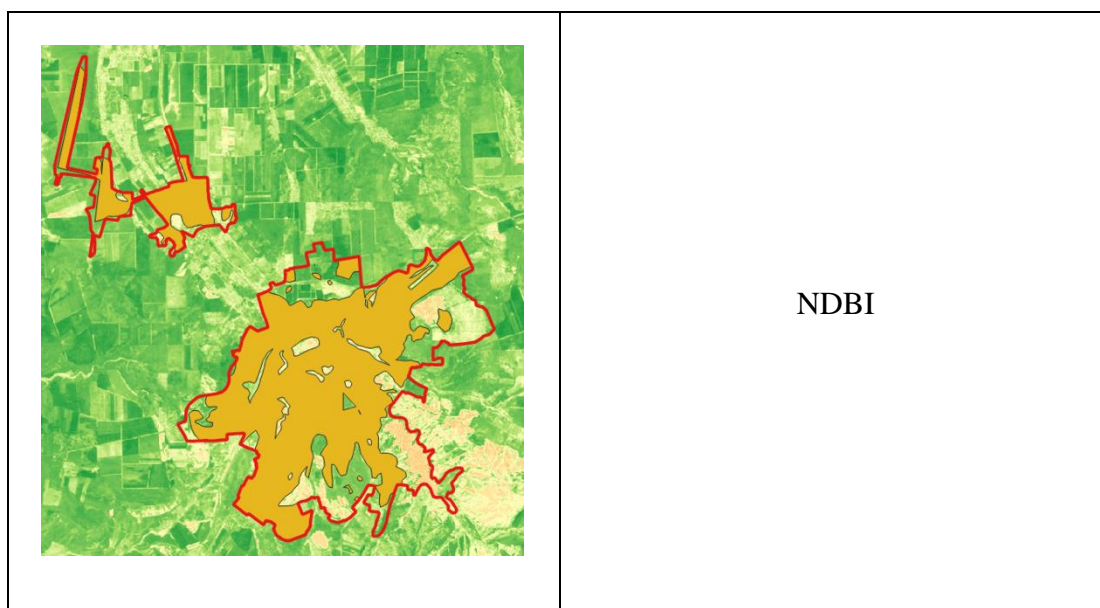
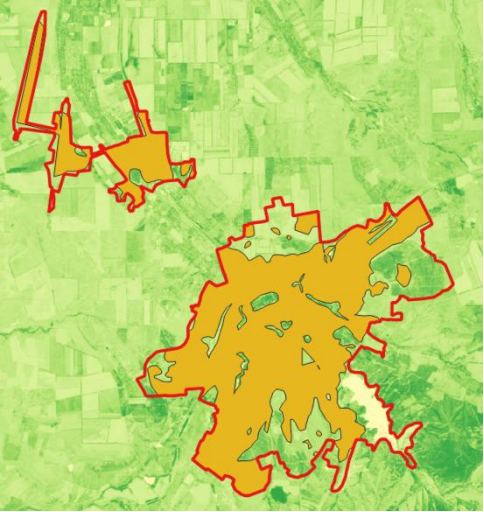
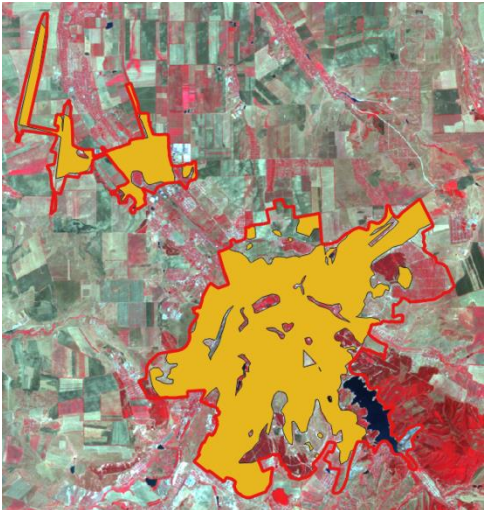
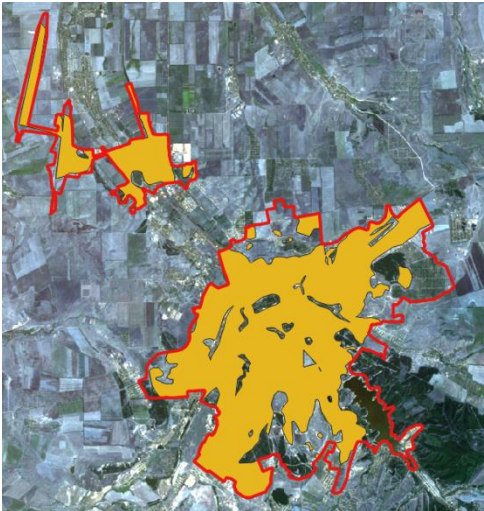


Рис.64. Изображения разницы индексов 2000-2010 и 2010-2019 гг., красные линии – границы города Симферополя.

Застроенная территория за 2000 г. была выделена при помощи визуального ручного дешифрирования, опираясь на синтезированные изображение в 3-2-1 и 2-3-4 каналах (Blue-Green-Red), индекс NDBI и NDVI.



	<p>NDVI</p>
	<p>2-3-4</p>
	<p>3-2-1</p>

Таб.10. Застроенная территория 2000 г., Симферополь.

4. На растрах после проведения полуавтоматической классификации с обучением имеются шумы и неправильно определенные группы пикселей.

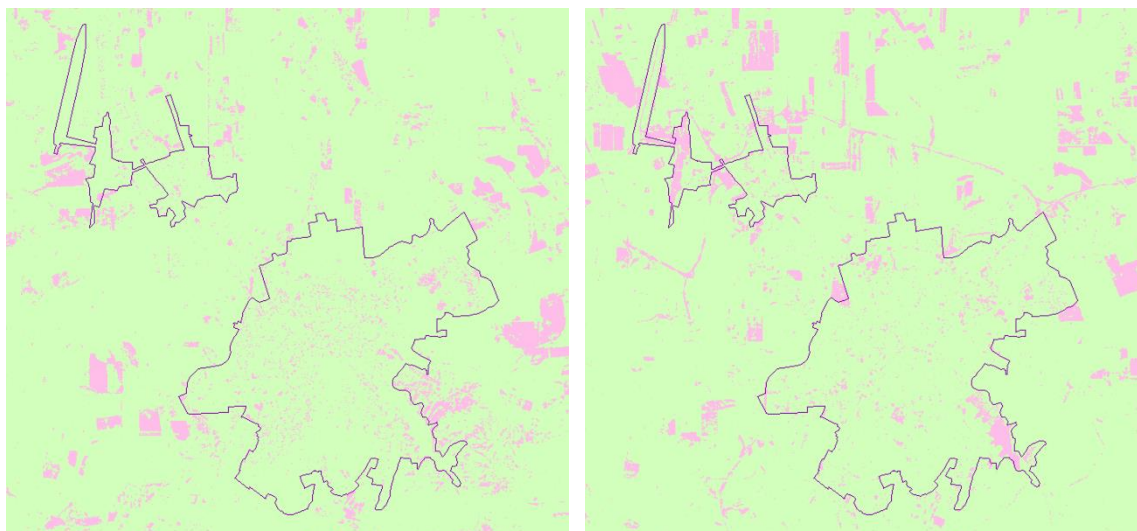


Рис.65. Бинарные изображения разницы застройки 2000-2010 гг. и 2010-2019 гг.

5. Для генерализации растров потребовалось 5 и 4 использований инструмента «Majority filter» для 2000-2010 гг. и 2010-2019 гг. соответственно.

	2000-2010 гг.	2010-2019 гг.
Majority filter		
Boundary clean		

Таб.11. Постклассификационная обработка бинарных изображений

6. На снимках ошибочно классифицировались поля, которые раньше были засеяны, а на более поздних снимках урожай уже убран, или же наоборот. Также ошибочно выделились некоторые водные территории и все территории, с открытым грунтом из-за одинаковой отражательной способности в 4-5 каналах.

7. Придание стилей и создание макета проходило в программе QGIS. Результат представлен в приложении №3.

3.5. Сочи.

Для полного анализа исследование было проведено не только для территории города Сочи: была рассмотрена часть «Большого Сочи» от административных границ самого города до границы с республикой Абхазия, то есть Сочи-Адлер, так как именно в Адлере находятся основные объекты Олимпиады 2014 г.

1. Для составления модели были скачаны снимки Landsat 7 2000 г., Landsat 4-5 2010г., Landsat 8 2019 г.

2. Для всех каналов всех снимков была проведена атмосферная коррекция, для Landsat 7/8 проведена операция паншарпинга по хроматическому снимку с пространственным разрешением 15 метров на пиксель.

3. Для всех годов были получены индексные изображения NDBI (рис.66.) и их разницы (рис.67.) (2000-2010 гг. – для выявления новых застроенных территорий в 2010 г., 2010-2019 гг. – для выявления новых застроенных территорий в 2019 г.).

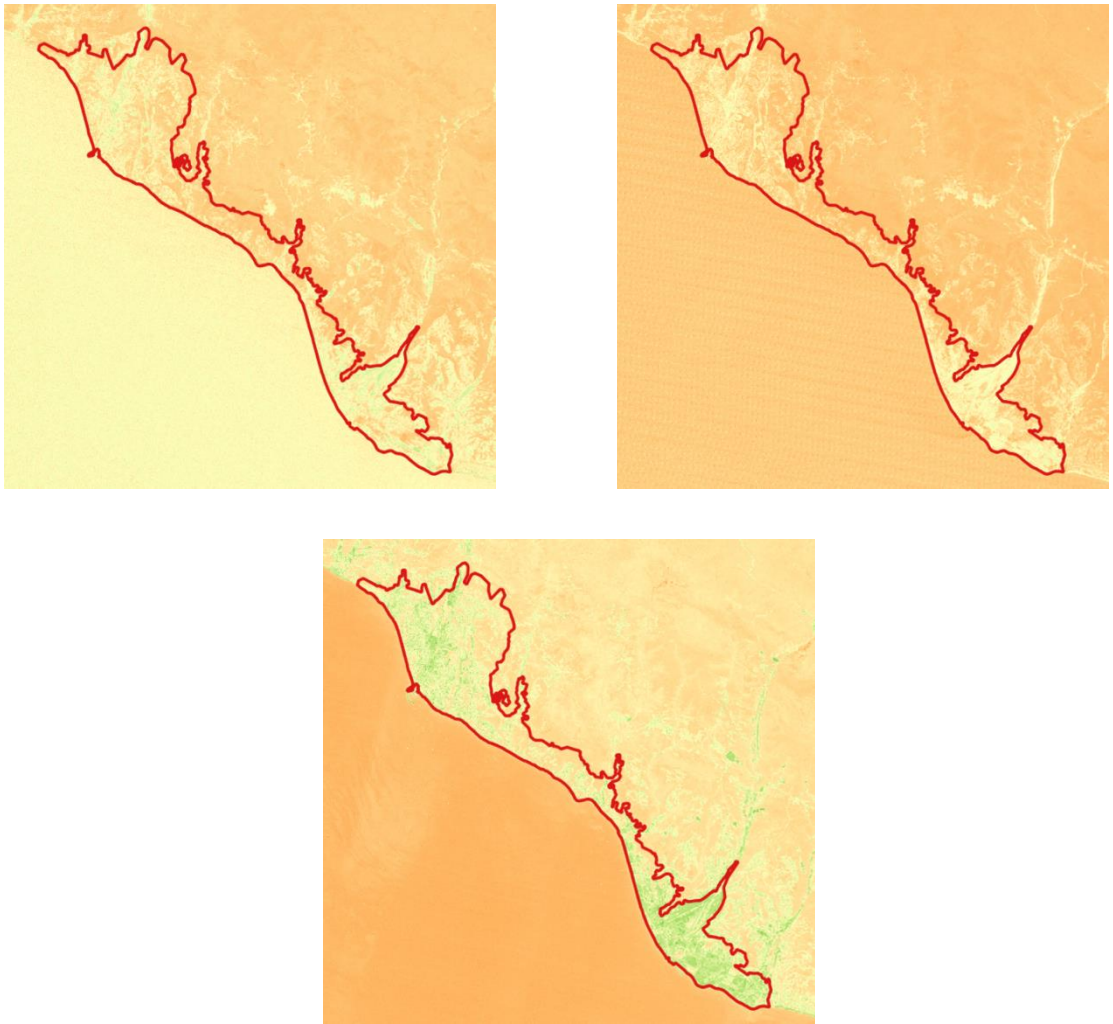


Рис.66. Индексные изображения NDBI 2000, 2010, 2019 гг., красные линии – границы части Большого Сочи (Сочи-Адлер).

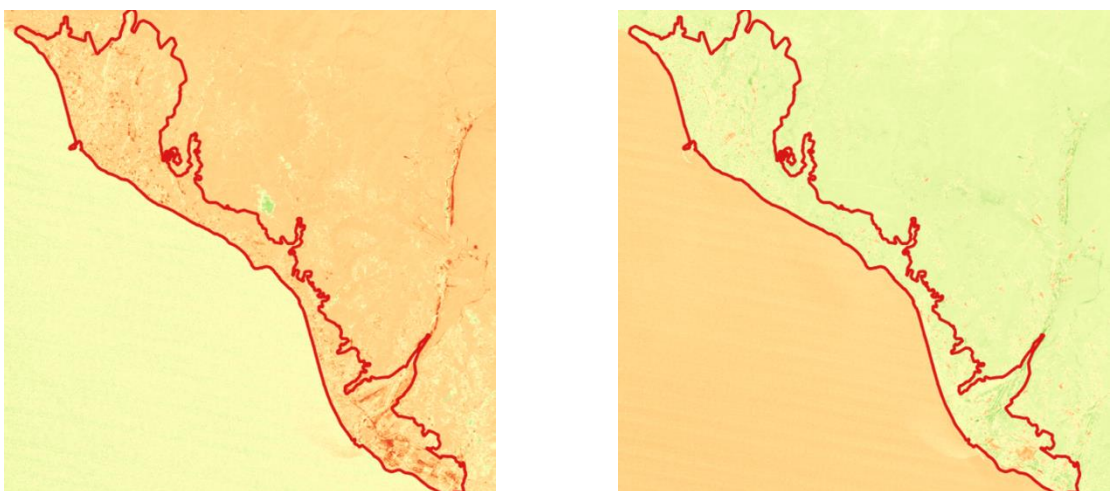
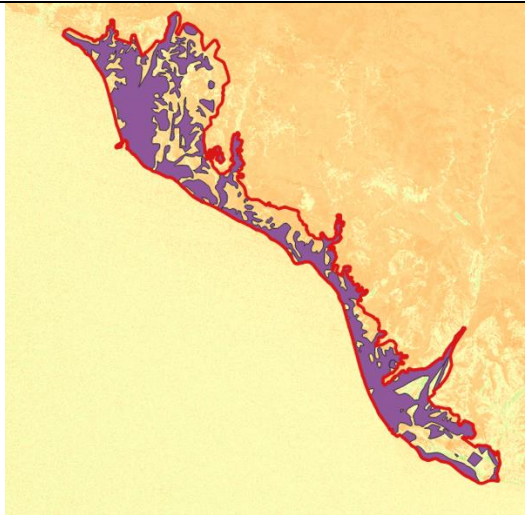
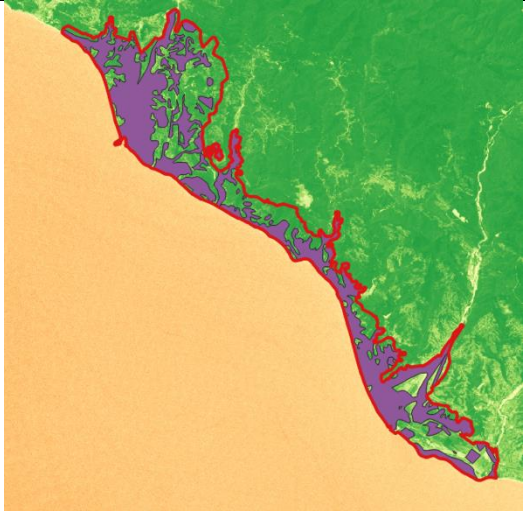

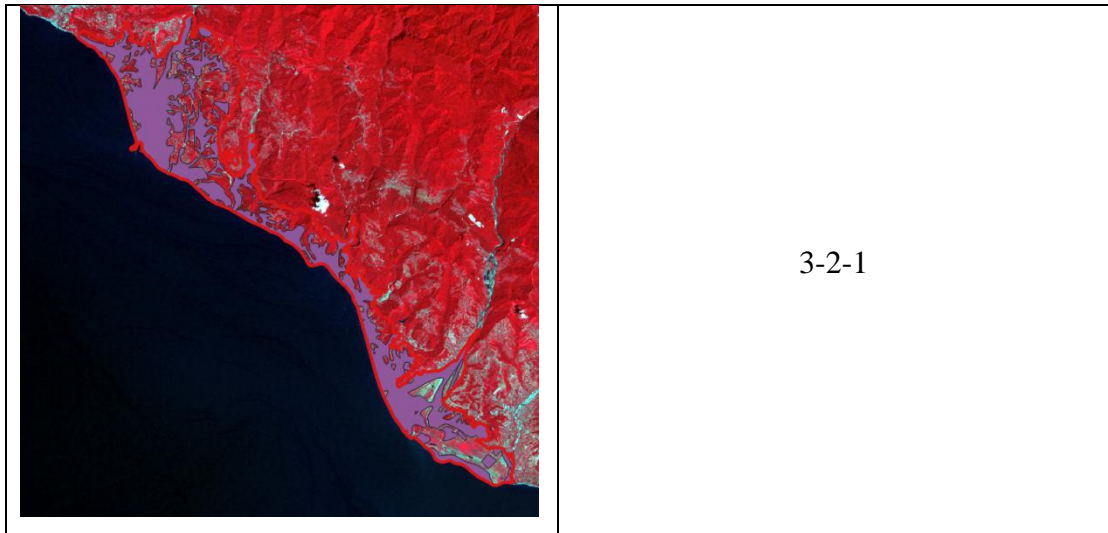


Рис.67. Изображения разницы индексов 2000-2010 и 2010-2019 гг., красные линии – границы части Большого Сочи (Сочи-Адлер).

Застроенная территория за 2000 г. была выделена при помощи визуального ручного дешифрирования, опираясь на синтезированные изображения в 3-2-1 и 2-3-4 каналах (Blue-Green-Red), индекс NDBI и NDVI.

	NDBI
	NDVI
	2-3-4



Таб.12. Застроенная территория 2000 г., часть Большого Сочи (Сочи-Адлер)

4. На растрах после проведения полуавтоматической классификации с обучением имеются шумы и неправильно определенные группы пикселей.

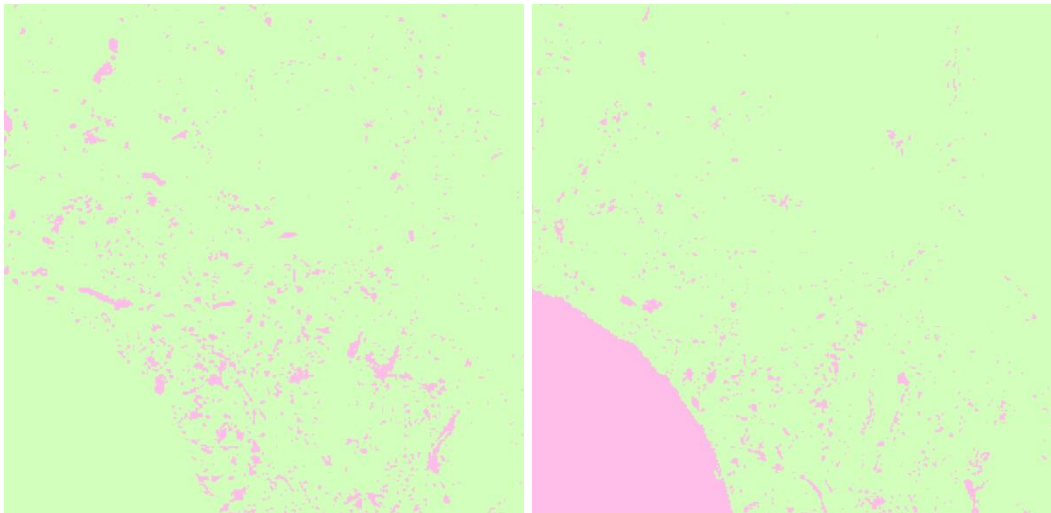
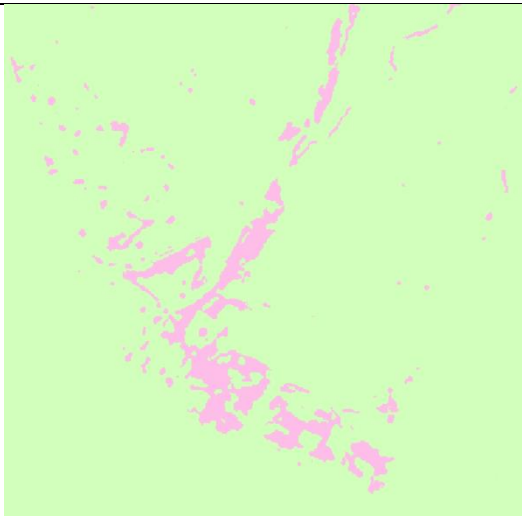

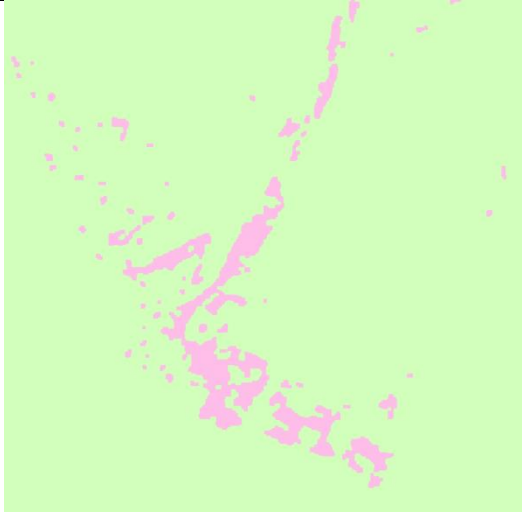



Рис.68. Фрагменты бинарных изображений разницы застройки 2000-2010 гг. и 2010-2019 гг.

5. Для генерализации растров потребовалось 9 и 4 использований инструмента «Majority filter» для 2000-2010 гг. и 2010-2019 гг. соответственно.

	2000-2010 гг.	2010-2019 гг.
Majority filter		
Boundary clean		

Таб.13. Постклассификационная обработка бинарных изображений.

6. На снимках ошибочно выделились некоторые водные территории и все территории, с открытым грунтом из-за одинаковой отражательной способности в 4-5 каналах.

7. Придание стилей и создание макета проходило в программе QGIS. Результат представлен в приложении №4.

ГЛАВА 4. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ ГОРОДОВ ВОЛГОГРАД, ОМСК, СИМФЕРОПОЛЬ, СОЧИ ЗА ПЕРИОД 2000-2019 ГГ.

Волгоград, протянувшийся вдоль правого берега Волги на 60 км, является классическим примером линейной городской структуры. Вдоль реки почти нет свободного, не занятого застройкой, пространства. Исходя из изменений, которые были выявлены при помощи космоснимков, застройка лишь частично растет в широтном направлении (рис.69.).

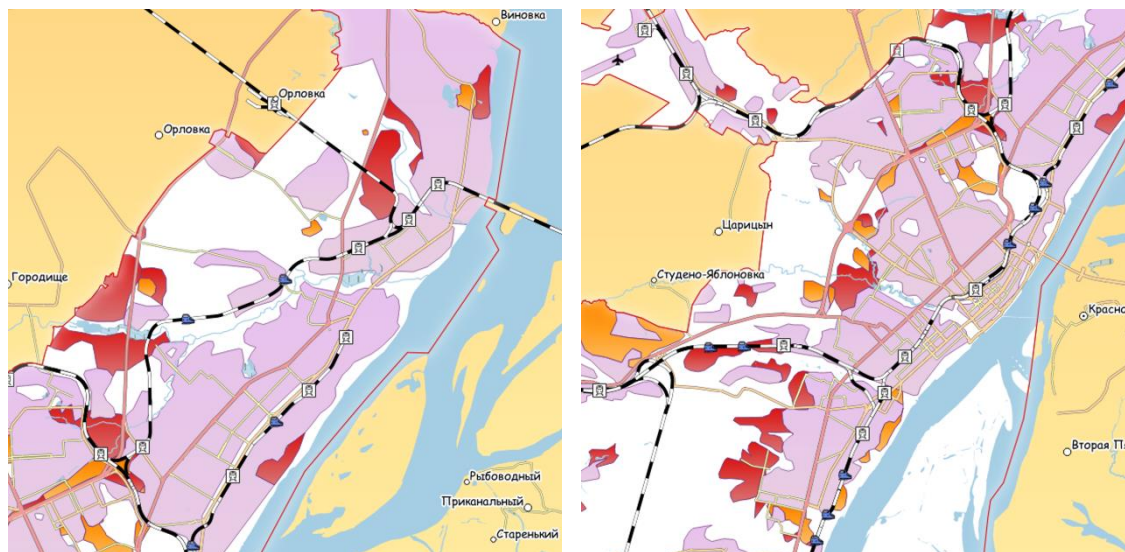


Рис.69. Фрагменты карты изменения застройки Волгограда (1).

В основном урбанизация новых территорий происходит рядом с уже застроенными площадями, хотя имеются участки, которые отдалены от освоенных городских территорий (рис.70.).

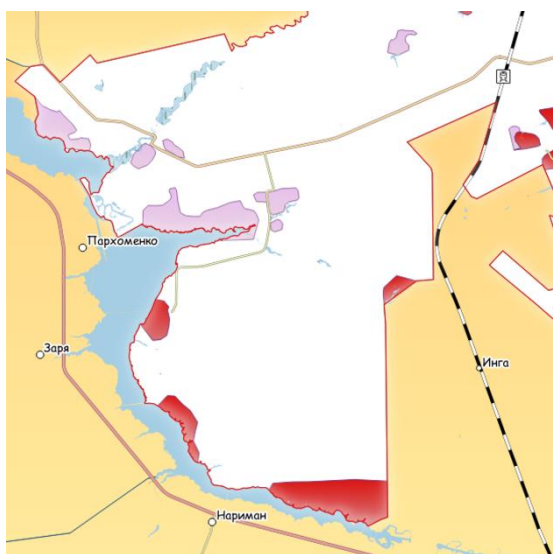


Рис.70. Фрагменты карты изменения застройки Волгограда (2).

Практически всегда новые застроенные территории появляются вдоль железнодорожных путей или автомобильных дорог.

Омск располагается на обоих бережьях Иртыша, является комбинацией радиально-кольцевой и прямоугольной планировочных структур. Все новые территории, появившиеся за 19 лет в городе, имеют точечный характер (рис.71.), связанный в основном с уменьшением озеленения города. Самые большие изменения в застройке произошли в промышленной зоне, хотя они также имеют точечный характер.



Рис.71. Фрагменты карты изменения застройки Омска.

В генеральном плане Омска, принятого в 2013 г., в опорном плане большая часть жилой застройки города (без окраин) представлена 2-8 этажной (рис.72.).

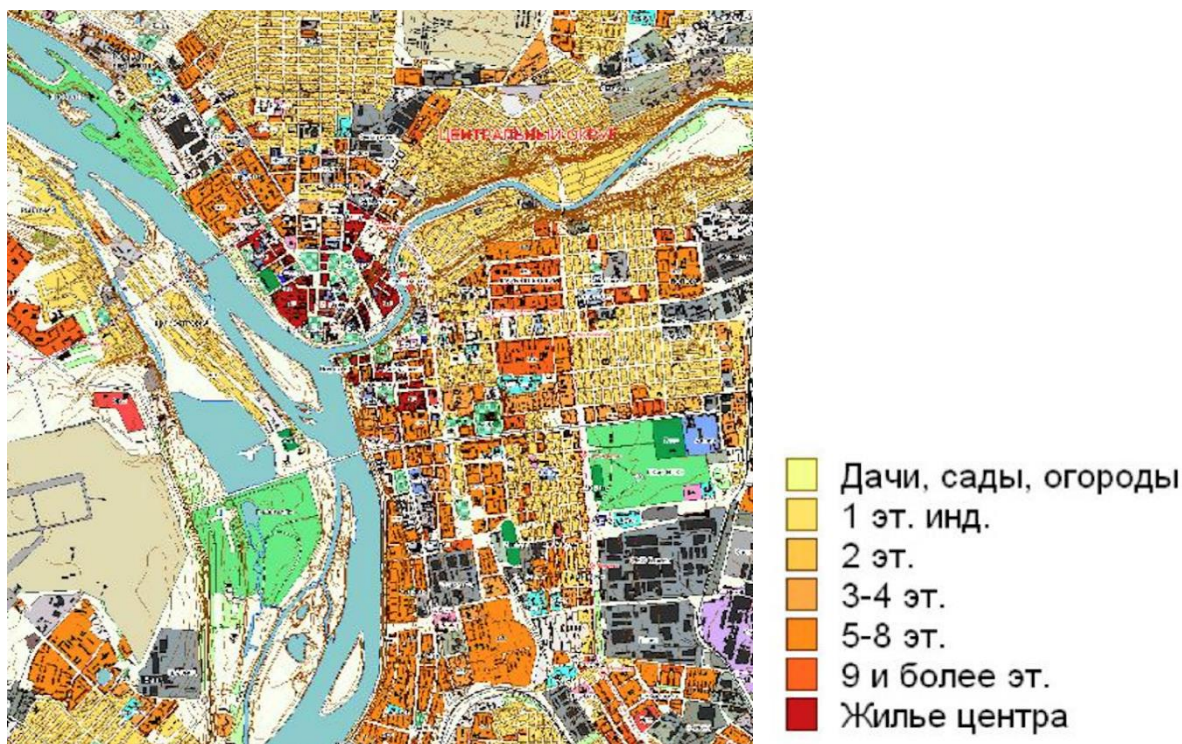


Рис.72. Фрагмент схемы современного использования территории города, генеральный план Омска, 2013 г.

На схеме функциональных зон того же генерального плана, отражается увеличение этажности жилой застройки города (рис.73.).



Рис.73. Схема функциональных зон, генеральный план Омска, 2013 г.

Исходя из анализа схем документов территориального планирования и проведенного исследования по данным дистанционного зондирования, Омск пошел по пути компактного развития планировочных структур. Изменения в застройке происходят путем уплотнения городской среды, без существенного увеличения размера площади.

В Симферополе характер изменения застройки за периоды 2000-2010 гг. и 2010-2019 гг. практически не отличался внутри города. Урбанизация была направлена на неосвоенные

прилегающие территории. Но за период 2010-2019 гг. выявлено сильное изменение территории, где сейчас построен новый международный терминал аэропорта Симферополя (рис.74.).

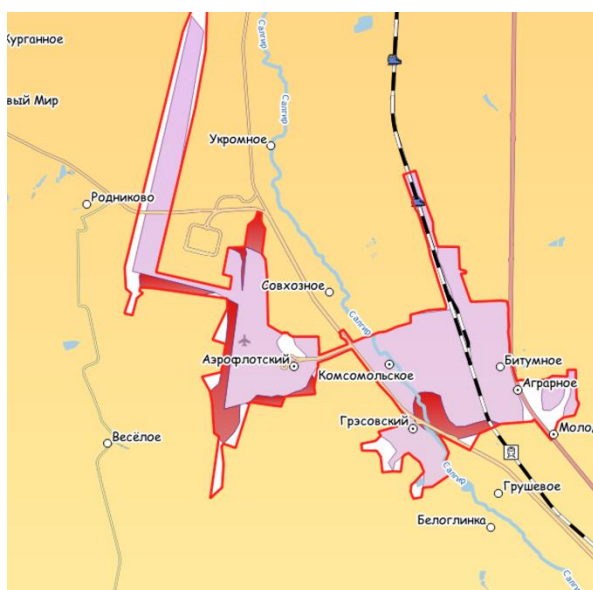


Рис.74. Фрагменты карты изменения застройки Симферополя.

Пространственное развитие города идет по «неограниченному» сценарию, о чем свидетельствует расширение города путем увеличения площади, также на космических снимках заметно увеличение населенных пунктов, находящихся близко к Симферополю.

Территория «Большого Сочи» расположилась на 145 км вдоль берега. Территория, которая была исследована (Сочи – Адлер) имеет протяженность около 40 км вдоль черноморского побережья. Из-за сложного рельефа, изменения имеют точечный характер, небольшие по площади.

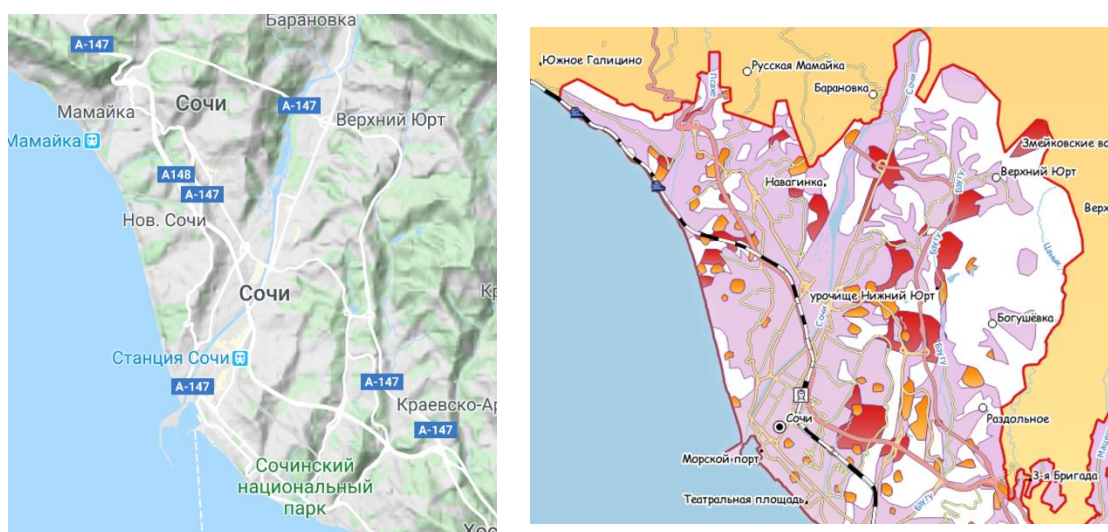


Рис.75. Сопоставление модели рельефа и изменений застройки города Сочи.

Ожидается, самые крупные изменения в застройке произошли на территории олимпийского парка в районе Адлера (рис.76.), возведение которого происходило в период 2000-2014 г.



Рис.76. Фрагменты карты изменения застройки Сочи.

При их сравнении были выявлены следующие общие черты и различия между изменением характера застройки: в основном территория изменяется путем расширения площади, заниманием пустых прилегающих зон, что было характерно для Сочи, но в большей степени для Симферополя с Волгоградом. Омск и Сочи имеют множество точечных изменений урбанизированных территорий, хотя природа их появления различна: причина для Сочи – сложный рельеф, причиной же для Омска послужил упор на изменение этажности застройки. Но во всех городах территория так или иначе увеличилась за 19 лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного исследования было выявлено, что именно в городах сосредоточены основные экономические, историко-культурные, социальные ресурсы, которые и являются «двигателями прогресса».

За несколько веков картографирования городов был осуществлен переход от перспективного изображения к точному, тематическому и комплексному.

Было изучено применение различных индексов, которые используются для определения застроенных территорий по космическим снимкам.

С помощью открытых данных дистанционного зондирования были получены 4 картографические модели динамики городской застройки. Был разработан алгоритм составления визуальных картографических моделей роста городов.

В ходе проведенного исследования было также выявлено:

1) Составление индексных изображений является достаточно эффективным способом для определения застроенных территорий, при условии плотной структуры. Объекты индивидуального жилищного строительства определяются хуже.

2) Волгоград за период 2000-2019 гг. увеличился путем роста площади. Происходила застройка ранее свободных территорий, которые прилегали к уже урбанизированным;

3) Практически по такому же «неограниченному» сценарию увеличилась урбанизированная часть Симферополя. Также достаточно заметно увеличились соседние населенные пункты, соседствующие с городом.

4) Самые крупные изменения в городе Сочи обусловлены Олимпиадой 2014 г. В основном же изменения имеют точечный характер, что обусловлено сложным рельефом территории.

5) В Омске также имеются множественные точечные изменения, площадь города практически не увеличилась. Изменение застройки носит высотный характер.

Предлагаемая методика картографирования урбанизированных территорий, проведенная на примере четырех городов, отличающихся по функционированию и сценарию развития, может служить аналогом для создания и дальнейшего анализа картографических изображений других городов в иных субъектах РФ. Предложенные схемы могут быть использованы исполнительными органами власти для анализа и перспективной оценки экономического развития городских территорий. Привлечение специалистов-геоинформатиков упростит реализацию проектов и сэкономит финансирование землеустроительных разработок.

ЛИТЕРАТУРА

- 1) Chunyang He , Peijun Shi , Dingyong Xie & Yuanyuan Zhao, Improving the normalized difference built-up index to map urban built-up areas using a semiautomatic segmentation approach//Remote Sensing Letters. 2010. №1/4. С. 213-221.
- 2) Cosgrove D. Mappings. Reaktion Books, London, 1999, 320 с.
- 3) Estoque R.C., Yuji M. Classification and change detection of built-up lands from Landsat-7 ETM+ and Landsat-8 OLI/TIRS imageries: A comparative assessment of various spectral indices //Ecological Indicators. 2015. №56. С. 205–217.
- 4) Grigoriev A.N. Method of radiometric distortion correction of multispectral data for the earth remote sensing// Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics, 2015. №4. С. 595–602.
- 5) Groos A. Topographies of the early modern city. Göttingen: V&R Unipress, 2008, 260 с.
- 6) Günther L.P. Die bildhafte Repräsentation deutscher Städte: Von den Chroniken der Frühen Neuzeit zu den Websites der Gegenwart. Böhlau, 2009, 500 с.
- 7) Harley J.B. Woodward D. The History of Cartography, Volume 1: Cartography in Prehistoric, Ancient, and Medieval Europe and the Mediterranean, Chicago: Univ of Chicago Press 1987, 622 с.
- 8) Schott J.R. Remote sensing: the image chain approach (2nd ed.). Oxford University Press, 2007, 688 с.
- 9) Schowengerdt R.A. Remote sensing: models and methods for image processing (3rd ed.). Academic Press, 2007, 590 с.
- 10) United Nations, Department of Economic and Social Affairs. Population Division 2019. World Urbanization. Prospects: The 2018 Revision. New York: United Nations, 2019, 103 с.
- 11) Апухтин А.Н., Бородкин М.М., Защук И.И., Белавенец П.И., Затворницкий М.Н. и др. Военная энциклопедия: Том IV. СПб:Тип. Т-ва И.Д. Сытина. 1911 г, 648 с.
- 12) Баяв Е. Симферополь. Очерк-путеводитель, Симферополь: изд. "Крым", 1967, 111 с.
- 13) Баранский Н.Н. Избранные труды. Становление Советской экономической географии, М.: Мысль, 1980, 287 с.
- 14) Грищенко М. Ю., Сарычев Е. Ю. Автоматизированное дешифрирование изменения городской застройки Москвы по снимкам со спутников серии Landsat//

Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: Материалы V Медунар. науч. конф., Красноярск, 11-14 сентября 2018 г. СФУ Красноярск, 2018. С. 98–101.

15) Ермаков Б.А., Леонов В. А. Сочи-курорт. Краснодар: Краснодарское, 1987, 176 с.

16) Закон Московской области от 31.01.2013 г. (в ред. От 29.11.2019 г.) N 11/2013-ОЗ «Об административно-территориальном устройстве Московской области»

17) Закон Омской области от 15.10.2003 г. (в ред. от 02.04.2020) N 467-ОЗ «Об административно-территориальном устройстве Омской области и порядке его изменения»

18) Земцов С.П., Бабурин Л.В. Оценка потенциала экономико-географического положения регионов России // Экономика региона, 2016. №12/1. С. 117-138

19) Конституция Российской Федерации от 12.12.1993 г. (в ред. от 30.12.2014 г.)

20) Краткий историко-статистический очерк города Омска. Омск: печатно-художественная типо-литография, 1911, 78 с.

21) Лаппо Г.М. География городов: Учеб. Пособие для геогр. ф-тов вузов. М.: Гуманит. Изд. Центр ВЛАДОС, 1998, 480 с.

22) Маергойз И.М. Географическое положение города Сталинграда // Вопросы географии, 1946. № 2. С. 63–100.

23) Молчанов В.М. Знакомьтесь — Сочи. Краснодар: Книжное издательство, 1989, 157 с.

24) Перцик Е.Н. Города мира. География мировой урбанизации. М. Издательство: «Международные отношения», 1999. 384 с.

25) Прохорова Е.А. Социально-экономические карты: учебное пособие. М.: «КДУ», «Добросвет», 2018. 424 с.

26) Рогачев С. В. Материалы курса «Уроки понимания карты». Основы пространственного анализа. Лекции 1-8: учебно-метод. пособие. М.: Педагогический университет «Первое сентября», 2006, 116 с.

27) Статакис Д., Перакис К., Савин И.Ю. Дешифрирование урбанизированных территорий по спутниковым данным Landsat//Исследование Земли из космоса. 2012. №5. С. 22-28.

28) Трешников А.Ф., Алаев Э.Б., Алампиев П.М. Географический энциклопедический словарь. Понятия и термины. М.: Советская Энциклопедия, 1988, 432 с.

29) Федеральный закон от 06.10.2003 N 131-ФЗ (ред. от 24.04.2020) «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации»

30) Энциклопедия города Омска: В 3 т. (4 кн.). Омск: ЛЕО : Издатель-Полиграфист, 2011. 483 с.

Электронные источники:

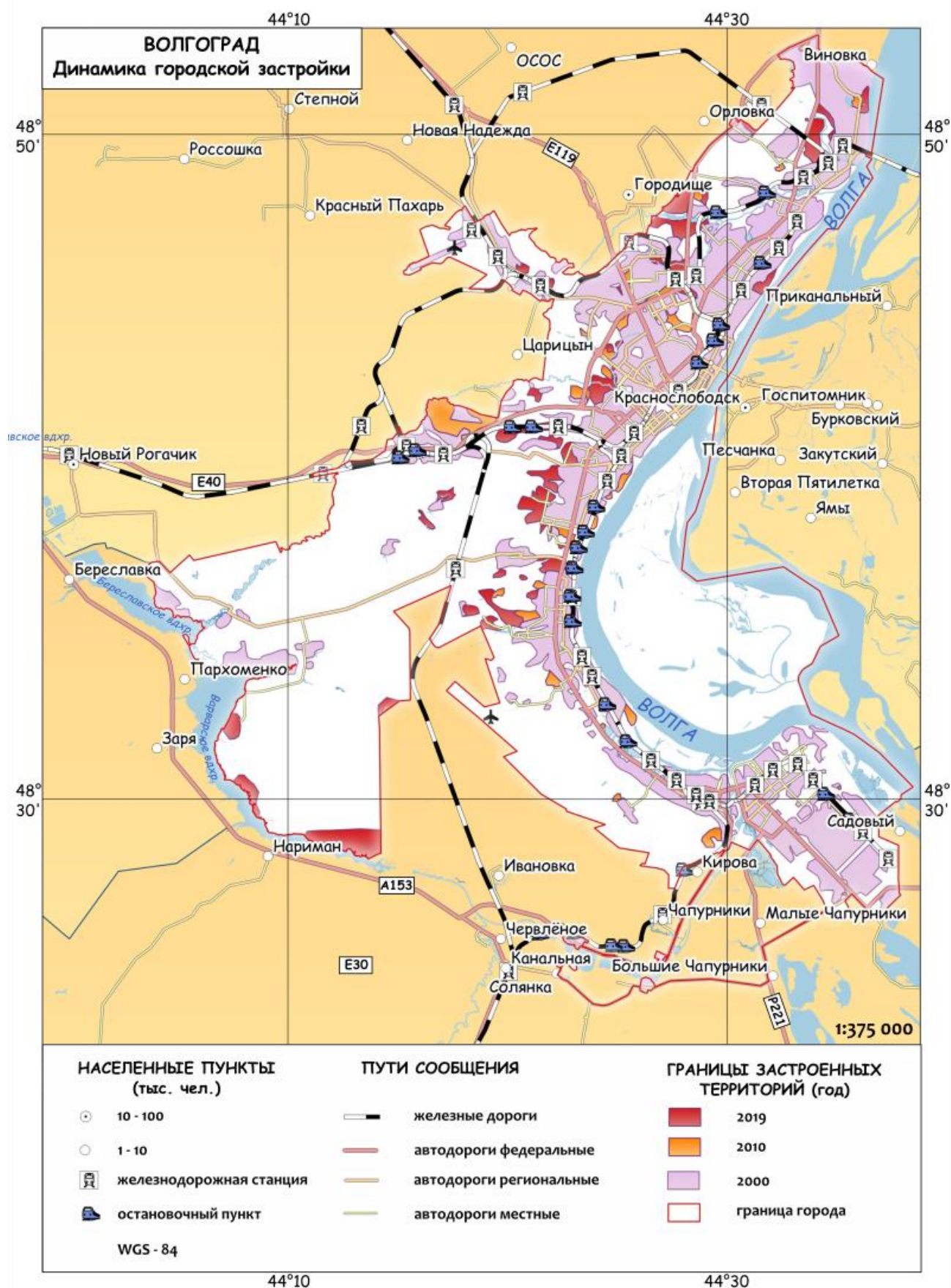
- 31) <http://pogodaiklimat.ru> - сайт "Погода и климат", 4 мая 2020
- 32) <http://simadm.ru/> - официальный сайт города Симферополя, 2 мая 2020
- 33) <http://urbanica.spb.ru> - институт территориального планирования "Урбаника", 30 апреля 2020
- 34) <http://volgadmin.ru> - официальный сайт администрации Волгограда, 24 апреля 2020
- 35) <https://admomsk.ru> - официальный сайт администрации Омска, 6 мая 2020
- 36) <https://airspacemag.com> - журнал Национального Музея воздухоплавания и астронавтики, США (National Air and Space Museum), 10 мая 2020
- 37) <https://darpa.mil> - Управление перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США (Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA), 10 мая 2020
- 38) <https://esri.com> - официальный сайт ERSI, 20 мая 2020
- 39) <https://gks.ru> - всероссийская перепись населения 2010, Федеральная служба государственной статистики (Росстат), 12 апреля 2020
- 40) <https://qgis.org> - официальный сайт QGIS, 20 мая 2020
- 41) <https://reuters.com> - международное агентство новостей Reuters, 2 мая 2020
- 42) <https://showdata.gks.ru> - витрина статистических данных, Федеральная служба государственной статистики (Росстат), 1 апреля 2020
- 43) <https://sochi.ru> - официальный сайт администрации города Сочи, 5 мая 2020
- 44) <https://solarsystem.nasa.gov> - Научная энциклопедия НАСА, исследования космоса в реальном времени (NASA Solar System Exploration), 14 мая 2020
- 45) <https://telegraph.co.uk> - ежедневная британская газета The Daily Telegraph, 10 мая 2020
- 46) <https://usgs.gov> - Национальная Геологическая служба США, 14 мая 2020

Картографические изображения:

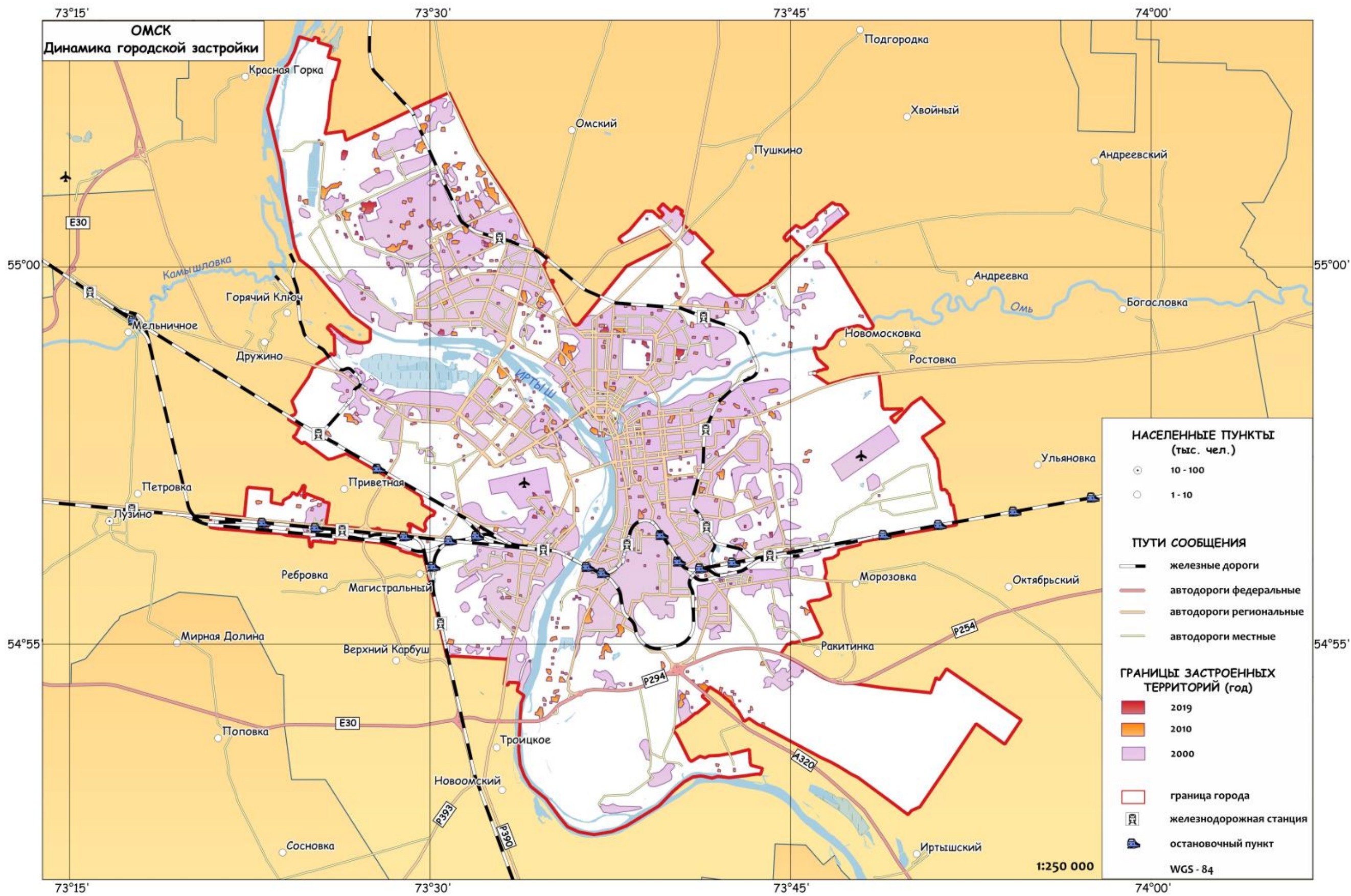
- 47) Berlin, Brockhaus F.A. Geographisch-artistische Anstalt, Leipzig, 1895
- 48) City map stavanger.png, Kevin Paul Scarrott, 2010
- 49) Антверпен в Атласе городов мира, Хогенберг Ф., Браун Г., 1572-1618

- 50) Атласа Парижа и Парижского региона, 1967
- 51) Вид города Базель, Швейцария. Нюрнбергская хроника, Хартман Шедель, 1493
- 52) Волгоград на фрагменте топографической карты, Генштаб СССР, 1985
- 53) Карта Венеции, Якопо де Барбари, ок. 1500
- 54) Карта Константинополя, Буондельмонт, 1422
- 55) Карта Крымского статистического управления, Крымское статистическое управление, 1926
- 56) Карта Таврической области. Российской атлас из сорока четырех карт состоящий и на сорок два наместничества Империю разделяющий Соч. А. Вильбрехт; грав. Алексей Савинков, И. Леонов; вырез. Т. Михайлов Санкт-Петербург: Географический департамент Кабинета Е.И.В., 1792
- 57) Карта Черного моря, Северного Причерноморья и Крыма, Ортелиус, 1590
- 58) План г. Царицына. Масштаб 100 сажен в 1 дюйме. Цифрами обозначены номера кварталов города, 1909
- 59) План города Омска, Сборник "Атлас крепостей Российской империи". Масштаб 100 сажен в англ. Дюйме, ок.1840
- 60) План города Омска, Условная координатная сетка. Карта опубликована в юбилейном альбоме-буклете "Омску - 275 лет, 1716-1991", редактор Н.П. Лагутина, Омская карт. Фабрика, 1917
- 61) План города Омска. Масштаб - 100 сажен в английском дюйме. На полях - описание крепости и экспликация плана, 1786
- 62) План Москвы, Сигизмунд Герберштейн, 1556.
- 63) План Сочи. Приложение к Путеводителю. Г.Г. Москвича. Масштаб 100 сажен в дюйме, Конец 1910-х г.
- 64) Топографическая карта окрестностей Омска. Сборная карта, составленная из листов N-43-027, N-43-028, N-43-039, N-43-040 Генерального Штаба СССР. Масштаб 1:100 000, 1980

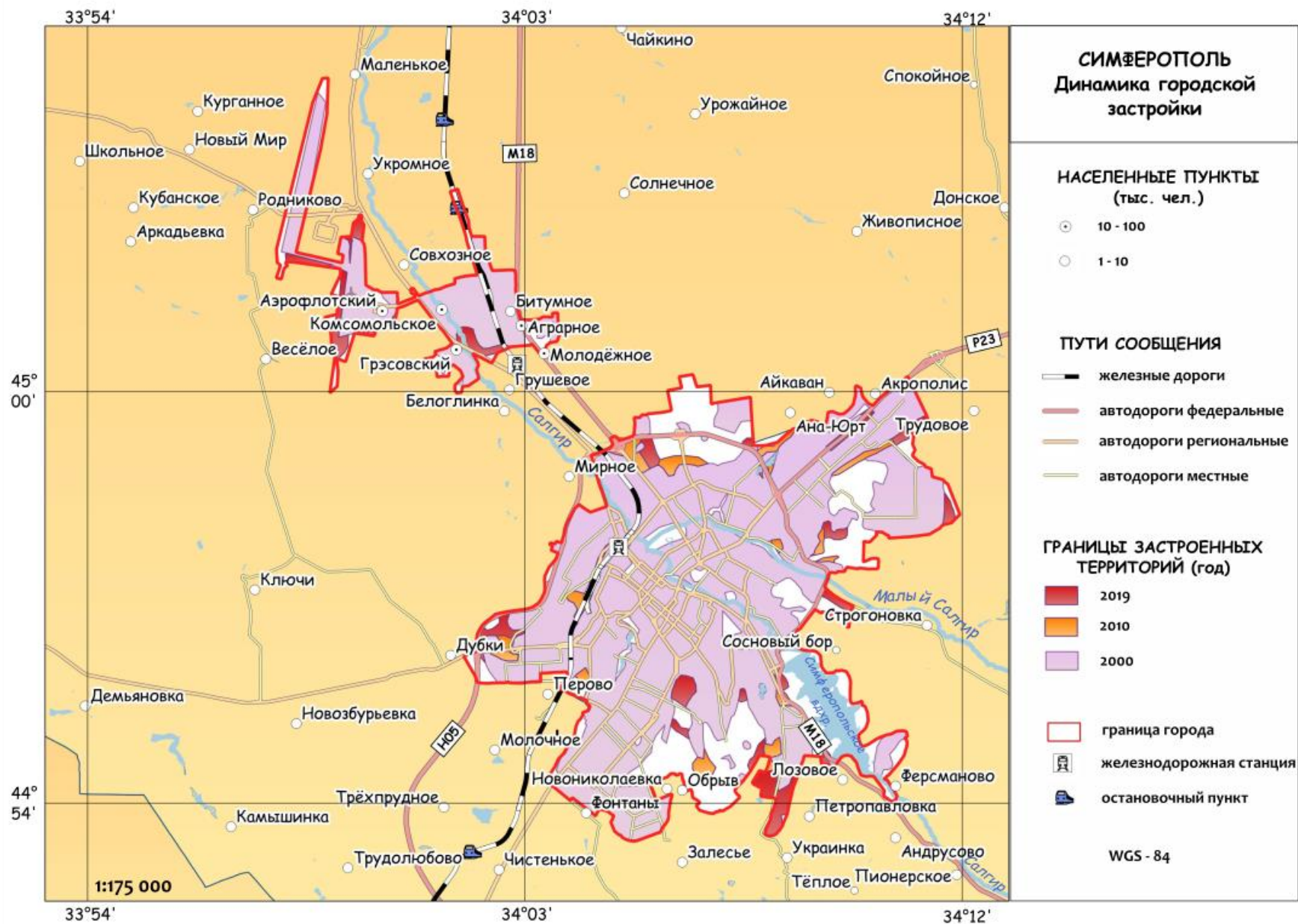
Приложение №1. Волгоград. Динамика городской застройки.



Приложение №2. Омск. Динамика городской застройки.



Приложение №3. Симферополь. Динамика городской застройки.



Приложение №4. Сочи. Динамика городской застройки.

