

УДК 528.88

Михаил Грищенко*

к. геогр. н., с. н. с. кафедры картографии и геоинформатики

e-mail: m.gri@geogr.msu.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3223-7697>**Юлия Ермилова***

магистрант кафедры картографии и геоинформатики

e-mail: julia-ermilova@mail.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1467-970X>

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,

Ленинские горы, 1, г. Москва, 119991, Россия



АНАЛИЗ ЗАСТРОЙКИ И ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЗОНИРОВАНИЯ ГОРОДОВ ЗАПОЛЯРЬЯ РОССИИ, ВЫДЕЛЕННЫХ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ

Работа посвящена изучению особенностей застройки и функционального зонирования крупнейших городов российского Заполярья: Апатитов, Воркуты, Мурманска и Норильска. В качестве исходных материалов использованы снимки со спутников SPOT-5 (оптический спектральный диапазон), Landsat 8 (тепловой спектральный диапазон) и генеральные планы изучаемых городов, которые послужили основой для выделения типов застройки. Учёт тепловой структуры городских территорий при анализе их застройки и функционального зонирования позволяет выявить черты городского пространства, не видные на снимках в оптическом диапазоне, важные для оценки благоприятности городской среды для жизни людей.

Ключевые слова: города Заполярья, городская застройка, функциональное зонирование, географическое дешифрирование, тепловые снимки.

Михайло Грищенко, Юлія Єрмілова

АНАЛІЗ ЗАБУДОВИ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ЗОНУВАННЯ МІСТ ЗАПОЛЯР'Я РОСІЇ, ВИДІЛЕНИХ ЗА КОСМІЧНИМИ СНИМКАМИ

Роботу присвячено вивченню особливостей забудови та функціонального зонування найбільших міст російського Заполяр'я: Апатитів, Воркути, Мурманська і Норильська. У якості вихідних матеріалів використані знімки із супутників SPOT-5 (оптичний спектральний діапазон), Landsat 8 (тепловий спектральний діапазон) і генеральні плани досліджуваних міст, які послужили основою для виділення типів забудови. Облік теплової структури міських територій при аналізі їх забудови та функціонального зонування дозволяє виявити риси міського простору, які не видно на знімках в оптичному діапазоні, важливі в оцінці сприятливості міського середовища для життя людей.

Ключові слова: міста Заполяр'я, міська забудова, функціональне зонування, географічне дешифрування, теплові знімки.

Grishchenko Mikhail, Yermilova Julia

ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT AND FUNCTIONAL ZONING OF THE RUSSIAN ARCTIC CITIES, IDENTIFIED BY SATELLITE IMAGERY

The paper deals with the study of the features of the developed areas and functional zoning of the largest Russian Arctic cities: Apatity, Vorkuta, Murmansk and Norilsk. The main data were images from SPOT-5 satellite (optical spectral range), Landsat 8 satellite (thermal spectral range) and masterplans of the studied cities, which were used for distinguishing the types of development. Images from the SPOT-5 satellite were used to reveal the urban development with its subsequent classification according to the type of use, and the functional zonation was corrected using the combination and generalization of the classes. Consideration of the thermal structure of urban areas in the analysis of their development and functional zoning allows us to identify features of urban space that are not visible in the optical range, important for assessing the city opportuneness for its inhabitants. It is revealed that the considered cities have many common characteristics. Thus, the area of industrial zones of all the cities beyond the Arctic Circle makes up a significant proportion - almost 50% of the territories. All industrial zones gravitate toward the city-forming enterprises, which is especially evident in the example of Norilsk. For most cities, a low proportion of natural and anthropogenic territories is common. In Apatity and Murmansk, this value is much higher than in the more eastern cities of the Polar region, because creation of parks in Vorkuta and Norilsk is difficult due to natural and climatic conditions. In the northern cities abandoned areas are spread, both former residential and industrial, which are especially numerous in Vorkuta. In the studied cities, a mid-rise and multi-storey type of development prevails, and there is practically no private sector with a private household, which is explained by the specific climatic conditions of the region.

Keywords: Arctic cities, urban development, functional zoning, geographical satellite images interpretation, thermal infrared imagery.

Вступление. В настоящее время освоение Арктики — одно из приоритетных направлений развития для всех государств, территории которых полностью или частично находятся в её пределах, в том числе и для Российской Федерации. Этой тематике уделяют большое внимание и гражданские, и военные организации, так как этот регион обладает

уникальным сочетанием богатых запасов полезных ископаемых, низкой заселённости, мало нарушенных, но крайне уязвимых экосистем. Перспективы роста существующих здесь городов и строительства новых поселений, связанные с ростом социально-экономической деятельности в Арктике, обуславливают актуальность изучения арктических городов.

Такого рода исследования необходимы не только для выявления многих экономических и экологических проблем полярных городов, но и для рационального планирования новых населённых пунктов, которые будут возникать в данной зоне в ходе освоения новых месторождений полезных ископаемых, в том числе на шельфе Северного Ледовитого океана [8].

Исходные предпосылки. В качестве источника информации для изучения качественных и количественных характеристик городских объектов хорошо зарекомендовали себя космические снимки [2, 5, 12, 14]. Они позволяют получить изображения, которые охватывают значительные по площади территории, характеризуются высокой пространственной детализацией и высоким временным разрешением. Для изучения и картографирования городской застройки используются космические снимки не только в оптическом диапазоне, но и в тепловом, который признаётся многими исследователями весьма информативным для изучения городских территорий [11, 13]. При этом применяют методики как автоматизированного дешифрирования [7, 12, 14], так и визуального [5]. Анализу застройки северных городов вообще и городов российского Заполярья в частности посвящено небольшое число публикаций [13]. Наше исследование призвано частично восполнить этот пробел.

Настоящая работа выполнена на примере четырёх российских городов, расположенных за Полярным кругом: Мурманска – крупнейшего заполярного города мира, транспортного, промышленного и оборонного центра; Норильска – крупнейшего центра цветной металлургии; Воркуты – центра Печорского угольного бассейна; Апатитов – крупного научного и промышленного центра (производство минеральных удобрений).

В качестве исходных материалов мы использовали космические снимки высокого пространственного разрешения (2,5–10 м) в оптическом диапазоне (со спутника SPOT-5) и космические снимки более низкого пространственного разрешения (100 м) в тепловом инфракрасном диапазоне (со спутника Landsat 8), а также картографические материалы – генеральные планы изучаемых городов (с пояснениями к ним) и топографические карты. Застройка городов Заполярья довольно компактна, они отличаются слабой озеленённостью и высокой интенсивностью промышленного производства. Авторами было выдвинуто предположение о высокой информативности тепловых космических снимков для дешифрирования застройки таких городов, которое подтвердилось по результатам визуального анализа тепловых космических снимков. Следовательно, основная **цель** работы заключается в анализе функционального зонирования и застройки городов российского Заполярья, выявленных по космическим снимкам. Источниками информации о функциональном зонировании служили генеральные планы городов, уточнённые по тепловым космическим снимкам, а источниками информации об

особенностях застройки – космические снимки в оптическом диапазоне, информация с которых также уточнялась по тепловым космическим снимкам.

Изложение основного материала. Основой для выделения типов застройки послужили Генеральные планы городов, опубликованные в официальных документах городских администраций. В каждом генеральном плане подробно отражено функциональное зонирование города с дополнительной информацией. Так как легенды генеральных планов городов, используемых в работе, не стандартизированы, проведена их корректировка с использованием объединения и обобщения классов с целью создания системы классификации земель с точки зрения функционального зонирования, единой для всех рассматриваемых городов.

Снимки со спутника SPOT-5 использованы для дешифрирования структуры застройки, которая в пределах каждой функциональной зоны определена по-разному, так как нельзя установить одинаковый характер застройки, например, у жилого квартала и промышленного предприятия. Для жилой зоны использована распространённая классификация застройки по рисунку взаимного размещения домов и их расположения по отношению к линиям квартала. Различают следующие виды застройки: периметральную, групповую, строчную и усадебную [10]. Для остальных функциональных зон классификация структуры застройки к настоящему времени пока не разработана. Действительно, по космическим снимкам видно, что, например, общественно-деловая зона содержит объекты, которые чаще всего не формируют какого-либо упорядоченного состава элементов пространства, занимают относительно небольшие участки и сильно отличаются друг от друга. Аналогичная ситуация возникает и с другими функциональными зонами. При этом промышленная зона в городах Заполярья занимает значительную площадь и сильно влияет на город. Поэтому было решено разработать собственную классификацию структуры застройки промышленных зон. Для них сложно описать рисунки расположения зданий и сооружений, поэтому классификация структуры застройки выполнена по размеру зданий предприятий и складов, а также плотности их расположения: плотная с крупными строениями; плотная с мелкими строениями; разреженная с крупными строениями; разреженная с мелкими строениями.

Тепловые космические снимки со спутника Landsat 8 использованы для уточнения результатов дешифрирования снимков со спутника SPOT-5 в оптическом диапазоне и для выявления тепловой структуры территории. Под тепловой структурой мы понимаем пространственное распределение участков со сходным характером сезонной динамики интенсивности теплового излучения, полученное в результате обработки многовременного разносезонного теплового снимка [1, 3]. Из всех рассмотренных вариантов неконтролируемой клас-

сификации разносезонных тепловых космических снимков на разное число кластеров выбран вариант, при котором выделено семь кластеров и который хорошо описывает дифференциацию теплового поля всех рассматриваемых городов. Далее были построены графики временных образов выделенных кластеров, которые показывают распределение интенсивности теплового излучения по сезонам года. На основе анализа этих графиков выявлена чёткая дифференциация городской территории.

В результате дешифрирования городской застройки по снимкам в оптическом диапазоне и выявления тепловой структуры городских территорий по снимкам в тепловом диапазоне составлены карты крупнейших городов российского Заполярья, отражающие их застройку и функциональное зонирование [4]. Они иллюстрируют дифференциацию городских территорий с точки зрения использования земель, антропогенной преобразованности территорий и структуры застройки.

Карты разработаны по единому принципу и имеют единую легенду, что даёт возможность сравнения рассматриваемых городов между собой. На составленных картах видно, что исследуемые города характеризуются схожими чертами. Визуальный анализ показывает, что участки промышленных территорий распределены в рассматриваемых городах неравномерно. Так, в Апатитах промышленные зоны сосредоточены на севере города; в Воркуте — в южной и юго-восточной частях; в Мурманске наибольшая часть промышленных предприятий сконцентрирована вдоль Кольского залива и в северо-восточной части города; для Норильска характерно размещение промышленных зон на юге и северо-западе. Такое распределение связано с преобладающими ветрами над территориями исследуемых городов. Для районов Крайнего Севера характерны сильные ветры, для Мурманска и Воркуты — преимущественно северо-западного направления. Что касается города Апатиты, то здесь формирование воздушных масс находится под влиянием Хибинских гор и крупного озера Имандра. Зимой над территорией города преобладают воздушные массы, спускающиеся с гор, т. е. северные ветры; в летний период преобладают западные ветры с озера Имандра. По этой причине в зимнее время в городе отмечаются повышенные концентрации бензапирена, которые связаны с выбросами предприятий, принесёнными ветром из северной части города, где располагаются крупные промышленные объекты. Сезонный характер направления ветра наблюдается и в Норильске, где циркуляция воздушных масс в зимний период находится под влиянием мощного Сибирского антициклона, из-за чего здесь преобладают ветры южных, юго-восточных направлений. В связи с этим город находится в области распространения газового и пылевого шлейфа Норильского металлургического комбината, из-за чего там наблюдается повышенное содержание тя-

жёлых металлов, сульфатов, нитратов и т. д. [9]. Это в значительной степени сказывается на ухудшении экологической обстановки города, что негативно влияет на здоровье жителей.

Анализ соотношения площадей различных функциональных зон в городах Заполярья (рис. 1) показывает, что доля промышленных зон во всех городах преобладает.

В большинстве случаев этот показатель стремится к значению 50 % от общей площади города. Высокий уровень развития промышленности свойственен всем северным городам, что связано с наличием сырьевой базы для производства в этом районе и сложностью развития других сфер деятельности из-за влияния суровых климатических условий и нахождения рассматриваемых территорий в зоне экстремального земледелия.

В Норильске доля промышленных территорий составляет 69 %, т. е. более 2/3 городской территории, что подтверждает статус города как одного из крупнейших в мире центров горнодобывающего и металлургического секторов. Наименьшая доля территорий, занятых промышленными зонами, находится в Апатитах — 37 %. В городе основным промышленным предприятием является Апатито-нефелиновая обогатительная фабрика; остальные земли, входящие в промышленную зону, относятся к коммунально-складским территориям. В значительной степени, это гаражные кооперативы, расположенные на окраинах города вблизи жилой застройки.

Помимо низкой доли промышленности, по сравнению с другими городами российского Заполярья, доля площади, занятой общественно-деловой застройкой, в Апатитах наивысшая и составляет 19 %. В городе расположен крупный Кольский научный центр РАН с развитой инфраструктурой. Элементы этой зоны в городе распределены неравномерно, что характерно для всех исследуемых городов за исключением Мурманска, доля общественно-деловой зоны в котором также высока — 14 %. В Мурманске территории, относящиеся к общественно-деловой зоне, сконцентрированы в центральной части города вдоль порта. Стоит также отметить, что этот участок общественно-деловой зоны характеризуется высокой степенью озеленения, из чего можно сделать вывод, что кроме общественно-деловой функции эта территория несёт и рекреационную.

Помимо высокого показателя доли территорий, приходящихся на общественно-деловую зону, в обоих городах Мурманской области высока доля природно-антропогенных территорий по сравнению с другими городами российского Заполярья. В Мурманске она составляет 11 %, в Апатитах — 6 %, что значительно выше, чем в Воркуте и Норильске, где эти показатели составляют по 2 % в каждом городе. В расчёте использовались лишь те территории, которые расположены в пределах городской застройки и выполняют рекреационную функцию. Необходимо упомянуть, что исследуемые города

расположены в разных природных зонах, из-за чего на их территории произрастает разная растительность. Так, например, территория города Апатиты относится к зоне северной тайги, Мурманска – к лесотундровой зоне, Воркута находится в области распространения южных тундр, Норильск – в тундровой зоне. По этой причине создание большого количества крупных озелененных рекреационных участков в Норильске и Воркуте затруднено. В Первомайском округе города Мурманска находится большой спортивный комплекс «Долина Уюта», представляющий собой большой лесной массив со спортивными площадками для зимних и летних видов спорта. Аналога такого крупного рекреационного участка внутри города в других населённых пунктах за Полярным кругом нет. В Апатитах имеется несколько городских парков, занятых, в основном, древесной растительностью, а также санаторий с большой рекреационной территорией на юго-востоке города.

Что касается зон, относящихся к транспортной инфраструктуре, то максимальное их количество в процентном отношении среди городов российского Заполярья наблюдается в Воркуте (15 % от общей площади). В Мурманске и Апатитах этот показатель составляет по 10 %. Для городов Мурманской области довольно большую роль в экономике играет Октябрьская железная дорога, станции которой расположены в городской черте (в частности, Апатиты-1, Мурманск, Комсомольск-Мурманский) и имеют большую площадь. Несмотря на то, что автомобильный транспорт в области также хорошо развит, значительная часть грузов в этом регионе перевозится именно железнодорожным

транспортом. Кроме этого, в Мурманске на восточном берегу Кольского залива Баренцева моря находится морской порт – крупнейшее транспортное предприятие города. Порт занимает четвёртое ме-



Рис. 1. Доля площадей функциональных зон в общей площади городов

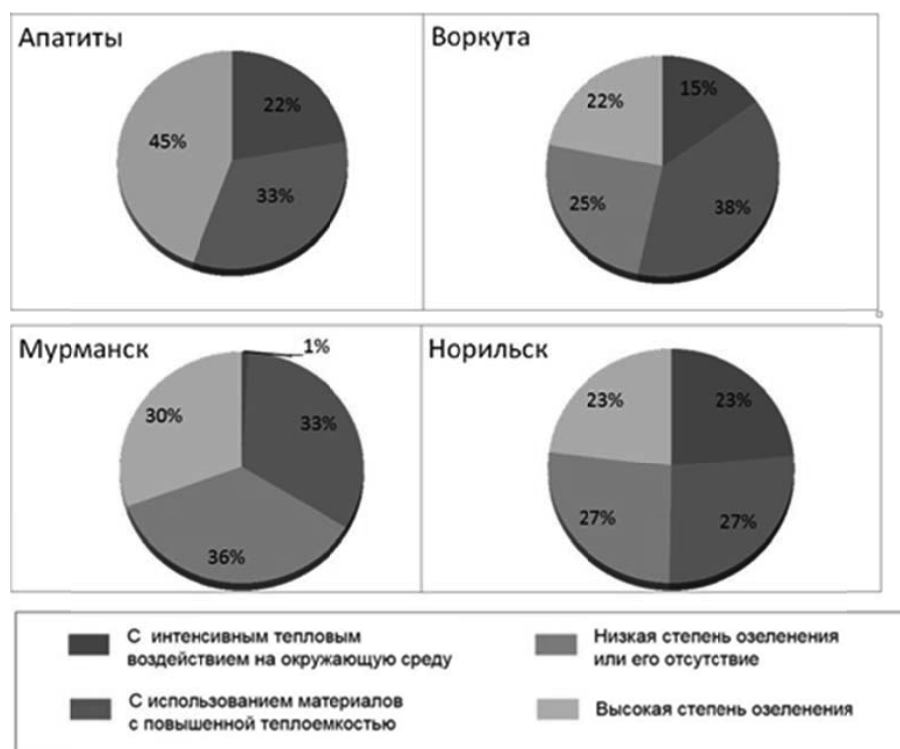


Рис. 2. Доля площадей элементов тепловой структуры городской застройки в её общей площади

сто по России по объёму перерабатываемых грузов и второе по величине на северо-западе Российской Федерации [6]. Высокая доля зон транспортной инфраструктуры на территории Воркуты обуславливается тем, что, помимо железнодорожной станции Северной железной дороги и железнодорожных путей местного значения, обеспечивающих транспортировку сырья к промышленным предприятиям, в непосредственной близости от города располагается аэропорт «Воркута». В Норильске территории, занимаемые транспортной инфраструктурой, составляют всего 2 % от общей площади города. В городе имеется сеть железных дорог, принадлежащих Норильской железной дороге, соединяющей населённые пункты Норильского промышленного района. В этой сети нет крупных станций, свойственных промышленным городам умеренных и низких широт, поэтому на долю этой зоны в городе приходится такой малый процент.

Анализируя соотношения площадей функциональных зон, стоит отметить, что наибольшая доля заброшенных земель характерна для Воркуты — 10 % от общей площади города. В городе наблюдается сильное снижение численности населения — за последние 20 лет почти в два раза, что связано с прекращением финансирования многих шахт, где имелись рабочие места. Значительная часть жителей Воркуты покинула город, из-за чего целые жилые кварталы опустели. Так, например, посёлок Рудник в западной части города на правом берегу реки Воркуты, первый посёлок на месте нынешнего города и некогда крупный городской район, сейчас полностью заброшен. Для остальных городов такое высокое значение заброшенных территорий от общей территории города не характерно и составляет не более 4 %.

Доли жилой зоны в общей площади городов Заполярья для всех городов схожи и составляют около 20 %. Наибольший показатель соответствует городу Апатиты — 24 %, а наименьший — Мурманску — 15 %.

Помимо анализа функциональных зон, проведена оценка соотношения площадей элементов тепловой структуры городской застройки городов российского Заполярья (рис. 2).

Диаграммы показывают, что на территории городов Мурманск и Апатиты практически отсутствуют участки, оказывающие интенсивное тепловое воздействие на окружающую среду. Это позволяет сделать вывод, что объекты, особенно промышленные, оказывают незначительное тепловое загрязнение территории Апатитов и Мурманска, что нельзя сказать об аналогичных объектах Воркуты и Норильска. В этих городах наблюдается большое количество объектов, оказывающих интенсивное тепловое воздействие на окружающую среду, доля их площади в общей площади города составляет 15 % и 23 % соответственно. Анализ диаграмм функциональных зон (рис. 1) иллюстрирует, что на территории Норильска существенно преобладает промышленность. Именно этот фактор объясняет та-

кую высокую долю территорий с интенсивным воздействием на окружающую среду. Помимо этого, на территориях Воркуты и Норильска преобладают промышленные предприятия, при функционировании которых выделяется большое количество тепла (шахта «Воркутинская», никелевый завод).

Значения доли площади территорий с использованием материалов с высокой теплоёмкостью в городской застройке рассматриваемых городов Заполярья весьма близки. На территориях этих городов имеется достаточно большое количество объектов с повышенной теплоёмкостью. Материалы с повышенной теплоёмкостью — это асфальтовые покрытия, бетон и пр., т. е. те объекты, которые интенсивно нагреваются под действием прямого солнечного излучения и быстро остывают, т. е. интенсивно излучают. Помимо этого, промышленные объекты, функциональные зоны которых преобладают на территории этих городов, как правило, размещены в крупных зданиях, которые при сильном нагреве под действием прямой солнечной радиации являются дополнительным источником повышения интенсивности теплового излучения.

Аналогичная ситуация в распределении процентного соотношения площадей элементов тепловой структуры городов наблюдается и с территориями с низкой степенью озеленения или его отсутствием. Для городов Апатиты и Мурманск этот показатель примерно на 10 % выше, чем для Воркуты и Норильска. Можно предположить, что на территории Мурманской области, где преобладает таёжная и лесотундровая растительность, озеленённость города несколько выше по сравнению с городами, расположенными в тундровой зоне, где древесной и даже кустарниковой растительности крайне мало.

Что касается участков с высокой степенью озеленения, то максимальная их доля в городской застройке (45 %) соответствует городу Апатиты. Это, вероятно, также связано с расположением этого города в таёжной зоне, равно как и с тем, что значительную площадь в Апатитах занимает территория Кольского научного центра РАН. Для города Мурманска этот показатель составляет 36 %, для остальных городов — около 20 %.

По итоговым картам для каждого заполярного города было оценено распределение разных видов структуры застройки жилой и промышленной зон в отдельности (рис. 3 и 4).

Из приведённых диаграмм видно, что на территории большинства исследуемых городов преобладает групповой вид застройки, в Норильске доля групповой застройки очень высока и составляет 95 %. Групповая застройка характеризуется высокой компактностью, что увеличивает плотность населения застроенных таким образом жилых районов. Такой тип застройки свойственен многим городам, которые активно застраивались в первой половине XX века.

Большая доля строчной застройки имеет место в Апатитах и Воркуте, в Мурманске этот показатель

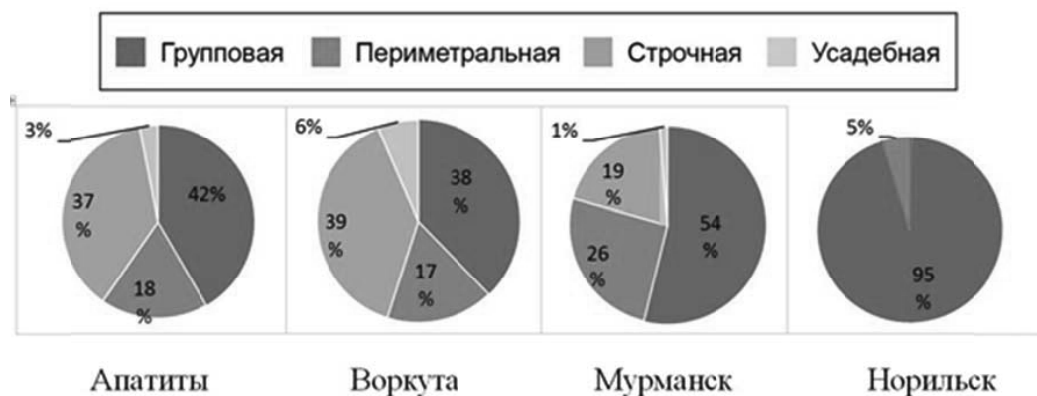


Рис. 3. Доля площадей разных видов структуры застройки жилой зоны в общей площади городов

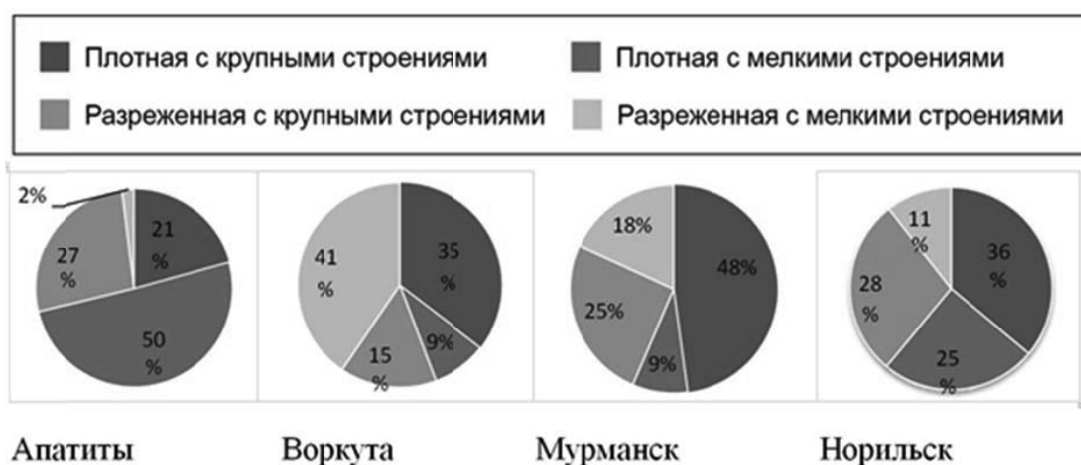


Рис. 4. Доля площадей разных видов структуры застройки промышленной зоны в общей площади городов

составляет 19 %. Главной особенностью строчной застройки является то, что она открыта для аэрации территории, что очень актуально для городов Заполярья, где имеется большое количество промышленных территорий и, следовательно, значительное загрязнение территории.

Периметральная застройка присутствует на территории практически всех исследуемых городов. Для этого вида застройки характерно образование дворового пространства в группе домов, полностью замкнутого или частично раскрытого, которое может охватывать участок значительного размера. Этот вид застройки формирует кварталы, которые имеют большое пространство между зданиями и подразумевают значительную озеленённость. Использование такого вида застройки в северных городах объясняется тем, что в условиях Заполярья озеленение городов осложнено природными факторами, а закрытые или полузакрытые участки способствуют формированию микроклимата, более благоприятного для древесной и кустарниковой растительности.

Усадебная застройка на территории городов российского Заполярья практически не встречается. В Норильске этот вид застройки полностью отсутствует, что не удивительно, так как усадебная застройка более характерна для районов с тёплым климатом, где возможно вести приусадебное хозяйство.

По соотношению площадей разных видов структуры застройки промышленной зоны четкие закономерности выявить не удалось. Так, доля плотной застройки с крупными строениями наибольшая в Мурманске и Воркуте. В Апатитах преобладает плотная застройка с мелкими строениями, а в Воркуте — разреженная застройка с мелкими строениями. В Норильске выраженной дифференциации площадей разных видов этой структуры не наблюдается. Из этого можно сделать вывод, что структура застройки промышленных зон определяется конкретными промышленными объектами и их характеристиками.

Выводы. В ходе работы проведено дешифрирование особенностей застройки городов российского Заполярья на основе снимков в тепловом инфра-

красном диапазоне и снимков в оптическом спектральном диапазоне. В результате создано 4 карты крупнейших городов российского Заполярья, подробно отражающие информацию об их застройке и функциональном зонировании.

Созданные карты иллюстрируют пространственную неоднородность теплового поля территории, приуроченную к функциональным зонам городов и дополненную информацией о структуре городской застройки. Таким образом, анализируя эти карты, можно выявить территории, которые, являясь частью одной функциональной зоны, характеризуются различной тепловой структурой. Такая информация ценна при проведении экологических исследований городских территорий, особенно в условиях чувствительной природы высоких широт. Так, например, по картам можно определить степень озеленённости жилых массивов, что крайне важно, так как зелёные насаждения входят составной частью в природный комплекс города и участвуют в оздоровлении городской среды, регулируя тепловой режим, снижая скорость ветра, очищая и увлажняя воздух. Зелёные насаждения являются средством обогащения ландшафта территорий жилой застройки и средой для формирования рекреационных элементов. Помимо этого, по итоговым картам можно определить участки или выявить объекты, которые оказывают интенсивное тепловое воздействие на окружающую городскую среду, так как одновременно с тепловым загрязнением объекты могут оказывать и другие виды воздействия.

При анализе карт выявлено, что площадь промышленных зон всех городов за Полярным кругом составляет значительную долю — почти 50 % территорий всех городов (в Норильске — 69 %), что несомненно сказывается на их экологической обстановке (Норильск является одним из самых загрязнённых городов мира). По этой причине крайне важно грамотное расположение промышленных предприятий внутри города при планировании новых населенных пунктов - с учётом переноса воздушных масс и других климатических и природных факторов. Из-за сезонного изменения направления ветра в зимние месяцы наблюдается перенос воздуха от промышленных зон к жилым, а не наоборот. Все промышленные зоны тяготеют к градообразующим предприятиям, что особенно ярко видно на примере Норильска, и к объектам главной городской специа-

лизации, что видно на примере Мурманска — крупного морского порта.

Для большинства городов характерна низкая доля природно-антропогенных территорий. В Апатитах и Мурманске этот параметр значительно выше, чем в более восточных городах Заполярья. В Апатитах и Мурманске расположены парковые зоны с высокой плотностью древесных насаждений, которые формируют крупные отрицательные тепловые аномалии. Но исследуемые города расположены в разных природных зонах (Апатиты — в северной тайге, Мурманск — в лесотундре, Воркута и Норильск — в тундре), из-за чего на их территории произрастает разная растительность. По этой причине создание крупных озеленённых рекреационных участков в Норильске и Воркуте затруднено.

Характеристики участков зон транспортной инфраструктуры для большинства городов схожи. В изучаемых городах европейской части России имеется хорошо развитая сеть железнодорожного транспорта. В черте города в Мурманске находится порт, а в Воркуте — аэропорт. В Норильске объекты железнодорожного транспорта занимают небольшую территорию.

Отдельно следует выделить тот факт, что в северных городах распространены заброшенные территории - как бывшие жилые, так и бывшие промышленные, которых особенно много в Воркуте.

Выявлено, что на территории северных городов преобладает среднеэтажный и многоэтажный тип застройки и практически отсутствует частный сектор с приусадебным хозяйством, что можно объяснить спецификой климатических условий рассматриваемого региона.

По разработанным картам можно определять благоприятность городской среды для жизни населения с точки зрения функционального зонирования, антропогенной преобразованности территории и характера застройки. Карты застройки и функциональных зон городов могут быть использованы в качестве источника информации в экологических исследованиях арктического региона.

Исследование выполнено за счёт средств гранта Российского научного фонда (проект № 17-77-20070 «Оценка и прогноз биоклиматической комфортности городов России в условиях изменения климата в XXI веке»).

Список использованных источников:

1. Балдина Е.А. Методика дешифрирования разновременных космических снимков в тепловом инфракрасном диапазоне / Е.А. Балдина, М.Ю. Грищенко // Вестник МГУ. Серия: География. — 2014. — № 3. — С. 35–42.
2. Беленко В.В. Выявление структуры и изменений застройки по космическим снимкам для целей картографирования в рамках градостроительства / В.В. Беленко // Естественные и технические науки. — 2017. — № 8. — С. 50–55.
3. Грищенко М.Ю. Методика дешифрирования тепловых космических снимков для картографирования природных и антропогенных территорий: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.33. — М.: МГУ, 2015. — 24 с.
4. Грищенко М.Ю. Картографирование застройки крупнейших городов российского Заполярья по космическим снимкам разных спектральных диапазонов / М.Ю. Грищенко, Ю.В. Ермилова // Геодезия и картография. - 2018. - Т. 79, № 3. - С. 23–34.

5. Кравцова В.И. Картографирование структуры застройки территорий, присоединяемых к Москве / В.И. Кравцова, В.А. Ерлич // Геодезия и картография. – 2013. – № 6. – С. 23–32.
6. Евдокимов Ю.А. Северный морской путь: проблемы, возможности, перспективы возрождения / Ю.А. Евдокимов, Ю.М. Бацких // Экономическая наука современной России. – 2002. – № 2. – С. 101–112.
7. Марчуков В.С. Автоматизированное выявление изменений на застроенных территориях Северного Ирака по многозональным космическим снимкам / В.С. Марчуков, Джамал Ахмад Чемал // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2013. - № 5. - С. 74-77.
8. Павленко В.И. Арктическая зона Российской Федерации в системе обеспечения национальных интересов страны / В.И. Павленко // Арктика: экология и экономика. – 2013. – № 4. – С. 16–25.
9. Севастьянов Д.В. Геоэкологические особенности и современное рекреационное освоение Норильского региона РФ / Д.В. Севастьянов, Т.Е. Исаченко // Царскосельские чтения. – 2014. – № XVIII. – С. 250–253.
10. Хайбрахманов Т.С. Картографическая база данных для обеспечения эколого-геохимических исследований городской территории: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.33 / Т.С. Хайбрахманов. – М.: МГУ, 2014. – 24 с.
11. Чуфарова Н.Е. Фрактальный анализ районов городской застройки на снимках в тепловом ИК-диапазоне / Н.Е. Чуфарова // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 1. – С. 62–67.
12. Matthias B. Mapping imperviousness using NDVI and linear spectral unmixing of ASTER data in the Cologne-Bonn region (Germany) / B. Matthias, H. Martin // Proceedings of the SPIE 10th International Symposium on Remote Sensing, 8–12 September 2003, Barcelona, Spain. – P. 1–11.
13. Esau I. Warmer urban climates for development of green spaces in northern Siberian cities / I. Esau, V. Miles // Geography. Environment. Sustainability. - 2016. - V. 04 (09). - P. 48–62.
14. Kemmouche A. Mapping of built-up area density from satellite images using morphological granulometries / A. Kemmouche, R. Khedam, C. Mering // ISPRS TC VII Symposium – 100 Years ISPRS, Vienna, Austria, July 5–7, 2010. IAPRS. – V. XXXVIII. – Part 7A. – P. 94–99.

References:

1. Baldina, E.A., Grishhenko, M.Yu. (2015). Metodika deshifirovaniya raznovremennykh kosmicheskikh snimkov v teplovom infrakrasnom diapazone [The method of thermal infrared multitemporal satellite images interpretation]. MSU Bulletin. Series: Geography, 3, 35–42.
2. Belenko, V.V. (2017). Vyjavlenie struktury i izmenenij zastroyki po kosmicheskikh snimkam dlja celej kartografirovaniya v ramkah gradostroitel'stva [Identification of the structure and changes of the urban development using satellite images for urban planning mapping]. Natural and technical sciences, 8, 50–55.
3. Grishhenko, M.Ju. (2015). Metodika deshifirovaniya teplovykh kosmicheskikh snimkov dlja kartografirovaniya prirodnykh i antropogennykh territorij: Avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk: 25.00.33 [Method of thermal infrared satellite images interpretation for mapping natural and anthropogenic territories: Thesis abstract of candidate ... geographical sciences]. Moskva: MGU, 24.
4. Grishhenko, M.Yu., Ermilova, Yu.V. (2018). Kartografirovanie zastroyki krupnejshih gorodov rossijskogo Zapoljar'ja po kosmicheskikh snimkam raznykh spektral'nykh diapazonov [Mapping of the built-up areas of Russian Arctic biggest cities using satellite imagery of various spatial resolution]. Geodesy and cartography, 79 (3) 23-34.
5. Kravcova, V.I., Erlich, V.A. (2013). Kartografirovanie struktury zastroyki territorij, prisoedinjaemyh k Moskve [Mapping of the development structure of territories annexed to Moscow]. Geodesy and cartography, 6, 23–32.
6. Evdokimov, Yu.A., Backih, Yu.M. (2002). Severnyj morskoy put': problemy, vozmozhnosti, perspektivy vozrozhdenija [Northern Sea Route: problems, opportunities, prospects for revival]. Economic science in modern Russia, 2, 101-112.
7. Marchukov, V.S., Chermal, D.A. (2013). Avtomatizirovannoe vyjavlenie izmenenij na zastroyennykh territorijah Severnogo Iraka po mnogozonal'nykh kosmicheskikh snimkam [Automated detection of changes in the Northern Iraq built-up areas using multispectral satellite images]. News of universities. Geodesy and aerial photography, 5, 74–77.
8. Pavlenko, V.I. (2013). Arkticheskaja zona Rossijskoj Federacii v sisteme obespechenija nacional'nyh interesov strany [Arctic territories of Russian Federation in the supporting system of national interests]. The Arctic: ecology and economy, 4, 16–25.
9. Sevast'janov, D.V., Isachenko T.E. (2014). Geojekologicheskie osobennosti i sovremennoe rekreacionnoe osvoenie Noril'skogo regiona RF [Geoecological features and modern recreational development of the Norilsk region of the Russian Federation]. Tsarskoye Selo readings, XVIII, 250-253.
10. Hajbrahmanov, T.S. (2014). Kartograficheskaja baza dannyh dlja obespechenija jekologo-geohimicheskikh issledovanij gorodskoj territorii: Avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk: 25.00.33 [Cartographic database for supporting environmental-geochemical surveys of urban territory: Thesis abstract of candidate ... geographical sciences]. Moskva: MGU, 24.
11. Chufarova, N.E. (2012). Fraktal'nyj analiz rajonov gorodskoj zastroyki na snimkah v teplovom IK-diapazone [Fractal analysis of urban areas in the thermal IR range]. News of universities. Geodesy and aerial photography, 1, 62–67.
12. Matthias, B., Martin, H. (2003). Mapping imperviousness using NDVI and linear spectral unmixing of ASTER data in the Cologne-Bonn region (Germany). Proceedings of the SPIE 10th International Symposium on Remote Sensing, 8–12 September 2003, Barcelona, Spain, 1–11.
13. Esau, I., Miles, V. (2016). Warmer urban climates for development of green spaces in northern Siberian cities. Geography. Environment. Sustainability, 04 (09), 48–62.
14. Kemmouche, A., Khedam, R., Mering, C. (2010). Mapping of built-up area density from satellite images using morphological granulometries. ISPRS TC VII Symposium – 100 Years ISPRS, Vienna, Austria, July 5–7, 2010. IAPRS, XXXVIII, 7A, 94–99.

Сведения об авторах:

Грищенко Михаил Юрьевич - кандидат географических наук, старший научный сотрудник кафедры картографии и геоинформатики географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

Ермилова Юлия Владимировна - магистрант кафедры картографии и геоинформатики географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова