



ОЦЕНКА ЛАНДШАФТНЫХ ФУНКЦИЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ Г. ЛИПЕЦКА

Руководители: н.с. Матасов В.М., м.н.с. Меркалова К.А.
Участники: Андреева А., Баталова В., Донецков А., Ильинова Н., Моисеев А.,
Митюрёв Ф., Подгорный О., Руденко А., Тимофеева А., Титов Г., Шатунов А.

Оглавление

Введение	2
Глава 1. Ландшафтные функции урбогеосистем	3
Глава 2. Характеристика района исследования	5
Глава 3. Материалы и методы исследований	6
3.1. Полевое ландшафтное картографирование	6
3.2. Морфометрический анализ рельефа	7
3.3. Классификация данных дистанционного зондирования	8
3.4. Анализ теплового излучения земной поверхности	9
3.5. Методы геохимического анализа атмосферного загрязнения	10
3.6. Методы оценки снегоопасности	10
3.7. Методы оценки культурных функций городской среды	11
Глава 4. Результаты исследований	13
4.1. Структура урбогеосистем города Липецка	13
4.2. Классификация ландшафтного покрова	14
4.3. Анализ морфометрических характеристик рельефа	16
4.4. Функция регулирования микроклимата	17
4.5. Регулирование качества воздуха	19
4.6. Регулирование снегонакопления	20
4.7. Оценка рекреационной функции	22
4.8. Оценка эстетической функции	24
4.9. Оценка территориального самосознания (ментальные предпочтения)	26
Глава 5. Сравнительный анализ ландшафтных функций Липецка и Тюмени	27
Заключение	28
Литература	30

Введение

Экспедиция НСО кафедры Физической Географии и Ландшафтоведения в 2019 г. проходила в городе Липецке. В состав экспедиции вошли студенты 6-ти кафедр: ФГиЛ (Андреева А., Баталова В., Ильинова Н., Моисеев А., Подгорный О., Шатунов А.), экономической географии России (Митюрев Ф.), метеорологии и климатологии (Тимофеева А.), картографии и геоинформатики (Титов Г.), гляциологии и криолитологии (Донецков А.), геохимии ландшафтов и географии почв (Руденко А.), которые работали под руководством н.с. Матасова В.М. и м.н.с. Мерекаловой К.А. Экспедиция проходила в тесном взаимодействии с сотрудниками и студентами Липецкого Педагогического Государственного Университета, на базе которого проводились различного рода анализы.

В основу изучения городских ландшафтов в рамках экспедиции положена концепция урбогеосистем, разработанная коллективом кафедры в ходе прошлых экспедиций в г. Тарусу и г. Тюмень, и ориентированная на мировые исследования в области городской среды. Данная концепция позволяет выявлять проблемы различных районов города и разрабатывать эффективные решения для проектирования городского пространства.

Главной целью экспедиции стала оценка ландшафтных функций урбогеосистем г. Липецка, характеризующихся сложным взаимосвязанным сочетанием природных и техногенных компонентов, способных к динамичному развитию.

Первоочередной задачей стало составление карты урбогеосистем на основе данных о природных и антропогенных компонентах, полученных на основе ландшафтных описаний, данных дистанционного зондирования и литературных источников. Другими задачами исследования стали поиск и обоснование индикаторов городских ландшафтных функций в зимнее время и разработка карт функций городских ландшафтов.

Оценка ландшафтных функций проводилась на основе авторской методики коллектива кафедры, включающей в себя: а) комплексные ландшафтные полевые описания УГС; б) снегомерную съемку для оценки влагозапасов территории (измерение мощности и плотности снежного покрова, описание его структуры); в) отбор проб снега и их лабораторный анализ на валовое содержание пыли (г/м²) и pH талой воды; г) анализ данных дистанционного зондирования (Landsat-8, Sentinel-2); д) проведение социологических опросов жителей Липецка на предмет выявления критериев эстетической привлекательности УГС и доступности рекреационных зон.

Данная работа в дальнейшем станет основой для изучения малых городов Липецкой области, их ландшафтных функций и связи с областным центром. Также работа может быть использована в качестве методических разработок для ландшафтного планирования городской среды.

Глава 1. Ландшафтные функции урбогеосистем

Теоретическим базисом нашего исследования является представление о ландшафтных функциях и услугах, в основе которого лежит идея об экосистемных услугах (Bastian et al., 2014). Экосистемные услуги – это экологические характеристики, функции или процессы, прямо или косвенно влияющие на благосостояние людей, получаемое нами от функционирования экосистем. Понятие экосистемных услуг включает только такое функционирование и такие процессы, которые каким-либо образом приносят пользу людям. При этом функционирование экосистем является гораздо более широким понятием, чем экосистемные услуги, так как функции и процессы в экосистемах существуют независимо от того, приносят они пользу людям или нет (Costanza et al., 2017).

К экосистемным услугам относится достаточно много процессов и функций от регуляции концентрации CO₂ в атмосфере и производства еды до культурных услуг. Все они делятся на несколько групп:

1) Производящие – это те услуги, которые предоставляют продукцию человеку из окружающей среды, но для их добычи необходимо взаимодействие с созданным человеком капиталом.

2) Регулирующие – они направлены на регуляцию различных природных процессов, таких как количество пылицы, насекомых, чистота воды, или предотвращение опасных явлений, например, болезней или наводнений. Для получения этих услуг также необходимо взаимодействие природного и человеческого капитала.

3) Культурные услуги после объединения с человеческими видами капитала позволяют получать услуги рекреации, эстетического наслаждения или новых научных знаний.

4) Поддерживающие – это услуги, которые влияют не прямо на человека, а косвенно, через влияние на три выше описанных группы. К ним относятся, например, почвообразование, условия среды обитания, круговорот веществ и многое другое.

Существует несколько подходов к изучению городских экосистем, которые отличаются глубиной, методами и объектами изучения (Pickett et al., 2016). Первый подход заключается в изучении типов местообитаний, вписанных в городскую среду, у которых существуют близкие аналоги в девственной природе. Основными целями ставилось изучение биоразнообразия, преемственности видов, распространения экзотических видов, адаптации живых организмов к проживанию в городе, изменение трофической пирамиды. Вторым подходом является изучение не только территорий, которые лишь частично подверглись человеческому влиянию косвенно или прямо, но и сильно измененных. Основной задачей здесь является изучение влияния человека на природу в городе и их взаимосвязь. Городская среда в данном подходе представляется как единое целое, а уже внутри нее существует мозаика, части которой тесно связаны. Третий подход непосредственно возникает из первых двух и отчасти похож на них, но с добавлением к изучению городских систем с экологических позиций и гражданских процессов, то есть изучение отношения проживающих в городах людей к окружающей их обстановке, и на основе этого принятие планировочных решений.

Городские экосистемы могут быть охарактеризованы протекающими в них процессами или функциями. В свою очередь данные функции могут быть описаны с помощью индикаторов экосистемных услуг. В качестве индикаторов выступают метрики, которые основаны на достоверных данных, несущих в себе информацию о состоянии, структуре и других параметрах экосистем. Данные индикаторы являются показателями того, каким образом экосистемы поддерживают экономическое, физическое и социокультурное благосостояние населения. Примером действия экосистемных услуг в городах являются снижение концентраций загрязняющих веществ в воздухе, регулирование местного микроклимата – снижение высоких температур, улучшение здоровья населения, снижение смертности и повышение уровня знаний и осведомленности общественности о проблемах устойчивого развития (Haase et al., 2014).

Подходы к анализу и оценке экосистемных услуг являются относительно новыми, и все еще разрабатываются. Несмотря на это, на сегодняшний день уже существуют многочисленные индикаторы, среди которых наиболее распространенными и разработанными вследствие доступности данных являются индикаторы производящих услуг. Выбор услуг и индикаторов проводится на основе поставленных целей и уже имеющихся данных. Индикаторы должны быть адекватными, подобранными для конкретных услуг, сопоставимыми и достаточно простыми для понимания и применения. Для оценки большинства экосистемных услуг необходимы значения более одного параметра. Подобными индикаторами культурных услуг в городской среде, например, могут служить размер, структура и транспортная доступность зеленых зон, число их посетителей за день, месяц и т.д. (Haase et al., 2014).

Несмотря на рост числа публикаций на тему городских экосистемных услуг, вопрос выбора и разработки индикаторов до сих пор остается открытым. При оценке экосистемных услуг возникает проблема избыточности и повторяемости индикаторов. Некоторые из них могут содержать весьма схожую информацию, что требует их тщательного анализа.

В последнее время наряду с экосистемными услугами в использование вошло понятие ландшафтных услуг (Bastian et al., 2014).. Одними из важнейших причин введения данного термина являются учет пространственного фактора, структуры и компонентов ландшафта, а также возможность применения ландшафтных услуг в ландшафтном планировании. Для оценки ландшафтных услуг в первую очередь определяют пространственную и временную структуры ландшафта, затем определяют индикаторы данных услуг с ориентацией на городское население.

Многие экосистемные услуги находятся в прямой зависимости от ландшафтной структуры – положение экосистем, особенности их функционирования в пространстве и т.д. Кроме того, производящие услуги, например, не всегда зависят от только свойств отдельных экосистем, а в большей степени именно от взаимосвязей, потоков между природными экосистемами и городскими территориями. Многие экосистемы в культурных ландшафтах имеют такие аспекты, которые не могут быть отражены в рамках концепции экосистемных услуг, например, культурная специфика и исторические события, происходившие на определенной территории. Подобные аспекты могут быть рассмотрены в контексте ландшафтных услуг, например, площадь исторической застройки, расположение памятников истории в городе и т.д. Исторические ландшафтные единицы поддерживают такие важные аспекты культурных услуг, как эстетическая ценность, отождествление населения с их родиной, рекреация и экотуризм (Bastian et al., 2014).

Регулирующие и культурные ландшафтные функции в городах особенно актуальны. К ним можно отнести защиту от шумового загрязнения, регулирование стока, микроклимата, качества воздуха, сохранение местообитаний, сохранение объектов эстетической ценности, а также рекреацию. Соотношение ландшафтных функций и их индикаторов для городской среды, рассмотренных в рамках экспедиции в г. Липецк, отражены в таблице 1.

Таблица 1. Ландшафтные функции и их индикаторы

Функции	Описание функции	Индикатор
Регулирование качества воздуха	Эффективность фильтрации воздуха и рассеивания загрязнителей	Количество пыли в снежном покрове и значение pH талой воды
Регулирование местного климата	Регулирование микроклимата, степень комфортности для жизни	Температура поверхности, рассчитанная на основе температурного канала снимков Landsat 8
Рекреация	Возможность и доступность отдыха на территории	Наличие зеленых насаждений, водоемов, а также их площадь, разнообразие рельефа, умелое планирование территории
Эстетика	Разнообразие, красота, самобытность пейзажа	Озелененность территории, этажность и плотность застройки, гетерогенность / гомогенность, наличие визуального шума
Территориальное самосознание	Привязанность к определенной территории	Вернакулярные районы города на основе опросов горожан

Глава 2. Характеристика района исследования

Липецк расположен на берегах реки Воронеж, притока Дона, там, где она разделяет Среднерусскую возвышенность и Окско-Донскую низменность. Четвертичный чехол на севере города представлен водно-ледниковыми отложениями мощностью от 4 до 16 м. Остальная часть правого берега реки Воронеж представлена ледниковыми отложениями мощностью 5-18 м. Левобережье города расположено на аллювиальных отложениях второй надпойменной (мощность до 25м) и первой надпойменной (мощность до 18м) террас соответственно. Также вдоль реки представлены аллювиальные отложения голоцена мощностью до 21 м. Большая часть правобережного Липецка расположена на среднерасчлененной пологоволнистой равнине и в меньшей степени на третьей и четвертой террасах. Здесь по мере удаления от реки Воронеж высоты возрастают от 160-165 до 220-225 м. Рельеф сильно расчленен. В склон врезаются МЭФ, среди которых особенно сильно выделяется Каменный лог, сложенный известняками. По этому логу протекает впадающая в Воронеж река Липовка. Левобережье имеет значительно меньшие высоты по сравнению с правобережьем, около 100-120 м. наибольшие высоты на левом берегу достигают территории на севере (Климов и др., 2013). Климат города – умеренно-континентальный, средняя температура июля составляет около 21°C, января -9°C. Увлажнение достаточное, коэффициент увлажнения составляет чуть меньше единицы. Город лежит в зоне лесостепи, почвы представлены чернозёмами, а под участками широколиственных лесов – серыми лесными. Почвенный покров Липецка различен в разных частях города. Так на правом берегу представлены черноземы выщелоченные, на левом к ним добавляются дерново-подзолистые иллювиально-железистые, а на пойме Воронежа пойменные слабокислые и нейтральные почвы (Национальный атлас почв РФ).

Отчёт истории города принято вести с 1703 г., когда Пётр Великий основал здесь Липской железодобывательный завод для поставки разнообразной металлургической продукции на Воронежскую судостроительную верфь, строившую военные корабли для Азовской флотилии. К началу XIX века производство на Липецких заводах ввиду подъёма металлургии на Урале окончательно прекращается, и город теряет свою функцию промышленного центра. Благодаря природно-ресурсному потенциалу территории происходит становление Липецка как курортного города, постепенно рекреационная специализация приходит на смену промышленно-заводской. Расцвету лечения на «марциальных водах» поспособствовала война с Наполеоном, когда для русских аристократов закрылся доступ к курортам Европы. В итоге в первой половине XIX века Липецк остаётся небольшим, тихим и спокойным уездным городком. В пространственном аспекте развития города тогда складывается исторический центр Липецка на возвышенном правом берегу с центральной улицей Дворянская (ныне – ул. Ленина), город имел регулярную прямоугольную планировку. Застройка была представлена малоэтажными домами, как каменными, так и деревянными. В это время были заложены и элементы экологического каркаса, появились такие зелёные зоны, как Верхний парк, Нижний парк, позднее – Быханов сад.

На рубеже XIX и XX столетий на правом берегу выше по течению Воронежа, возникло крупное промышленное предприятие металлургической специализации - завод «Свободный Сокол». Поворотным моментом во всей судьбе Липецка стало решение о строительстве в нём очень крупного металлургического комбината в 1930-х гг. на левом берегу Воронежа, ниже от устья реки Матыры. С началом войны в 1941 г. оборудование комбината было в основном эвакуировано на Урал, где и продолжило работать. После войны металлургический комбинат в Липецке фактически строится заново, поэтому на 1950-е гг. приходится начало периода бурного роста населения города. Резко усиливаются миграции в Липецк из сельской местности, появляется множество «новых липчан». Дополнительно усиливает миграционный прирост создание Липецкой области и присвоение Липецку статуса административного центра. Эпицентр территориального развития города переносится на левобережную часть, рядом с комбинатом фактически возводится новый город

(Новолипецкий район), тесно слившийся с Липецком. Главная тенденция пространственного развития после 1960-х гг. – активное строительство новых жилых микрорайонов к югу и западу от исторического центра. Город начинает расти именно в этом направлении, т.к. с севера блокирующее воздействие оказывала обширная территория завода «Свободный Сокол», с запада – железнодорожная магистраль. Другим процессом пространственного развития города в позднесоветский период стало активное расширение зон дачной застройки, как на правом, так и на левом берегу Воронежа. На северо-западе города, за железной дорогой, дачные посёлки возникали на месте бывших разработок железной руды, возле отвалов. Но в постсоветский период многие из дачных участков были заброшены.

Сейчас Липецк является вполне экономическим успешным городом. Его население превысило 500 тыс. жителей и продолжает устойчиво увеличиваться. По-прежнему основное значение в экономике города играет системообразующие промышленное предприятие – НЛМК. Выгодная его сторона – доступная сырьевая база: железорудное сырьё поступает с Курской магнитной аномалии, лежащей неподалёку. Кроме того, в Липецке создана и особая экономическая зона (ОЭЗ) для привлечения инвесторов. Но всё же в экономике города идёт процесс терциаризации, растёт доля сектора услуг и торговли. Жители отмечают значительное число крупных торговых центров. В силу отраслевой специализации в городе существует проблема загрязнения атмосферы. Несмотря на то, что владельцы комбината вкладывают значительные средства во внедрение более экологически безопасных технологий, по-прежнему состояние окружающей среды в Липецке далеко от идеала. Помимо металлургического комбината, неблагоприятное воздействие на качество воздуха оказывают другие предприятия (цементный завод, например), а также автомобильный транспорт. Тенденция перемещения «центральной части» города от его исторического центра в район новых жилых микрорайонов на юго-западе сохраняется. Тем более, что исторический центр находится под угрозой со стороны «точечной» застройки. Также актуален вопрос о рекультивации и облагораживании пустырей в пределах города на месте поросших растительностью эрозионных форм.

Глава 3. Материалы и методы исследований

3.1. Полевое ландшафтное картографирование

Полевые исследования проводились пятью бригадами по 2-3 человека. Перед каждым маршрутным днём бригады намечали точки для описания урбогеосистем и отбора образцов. Точки выбирались так, чтобы охватить весь спектр ландшафтного покрова в условиях города, т.е. было необходимо посетить много- и малоэтажные кварталы, коттеджные поселки и участки с частной застройкой, промышленные и складские участки, а также условно-естественные территории (парки в черте города, леса в пригороде и т.д.).

За 10 полевых дней было сделано 165 комплексных ландшафтных описаний (рис. 1) и отобрано 165 проб снега. Каждое описание включало: GPS-локацию; краткую характеристику выделяемой урбогеосистемы и выраженность ее границ;

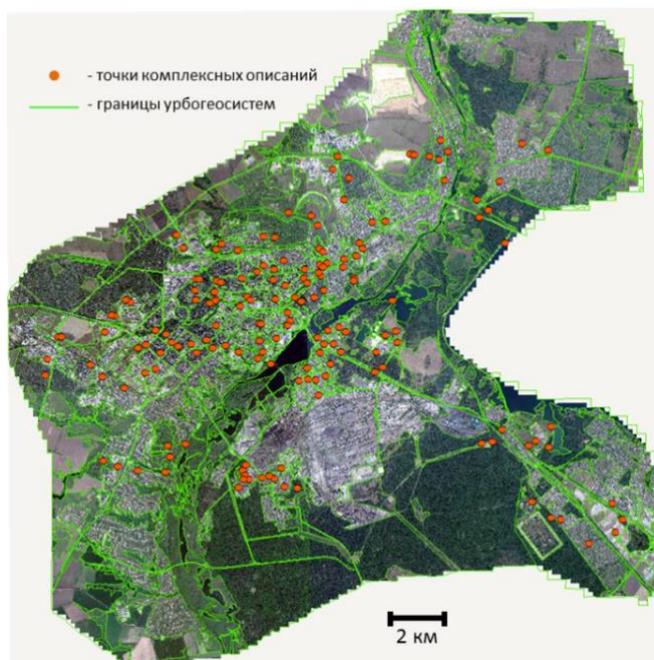


Рисунок 1. Точки комплексных ландшафтных описаний и границы урбогеосистем

характеристику рельефа (крутизну, экспозицию, микрорельеф); экзогенные процессы (их выраженность, признаки); состояние снежного покрова, его мощность, цвет, влажность и твердость; характеристику древесно-кустарниковой растительности (сомкнутость крон, основные виды, высота и диаметр) и ее состояние (суховершинность, угнетенность); процент запечатанности почв; тип, характер застройки (плотность, этажность, гомогенность, материал, состояние и др.); особенности пейзажа (характер и высота горизонта, наличие водных объектов, характер рельефа, замусоренность, степень пешей проходимости); субъективную оценку эстетичности урбогеосистемы. На каждой точке осуществлялся отбор образцов снега, чтобы в дальнейшем определить валовое содержание пыли и pH талой воды. Для отбора образцов выбирался участок с ненарушенным снежным покровом, на удалении от дорог. Отбор проб производился снегоотборниками с известным диаметром отверстия. С каждой точки собиралось 1,5-2 кг снега. По материалам полевых исследований была составлена единая база данных, точки комплексных описаний перенесены в единый проект в ГИС ArcGIS.

Перед отъездом в экспедицию была составлена предварительная карта урбогеосистем (УГС) г. Липецка и его окрестностей с использованием космических снимков, рассчитанных спектральных индексов, цифровой модели рельефа и фотографий из картографических сервисов Яндекс и Google. Полевые описания помогли уточнить границы урбогеосистем и их характеристики.

3.2. Морфометрический анализ рельефа

Для выделения и обособления урбогеосистем, а также для исследования их внутренней структуры необходимо провести предварительный анализ рельефа территории. Для этого необходимо создать серию карт, построенных на основе цифровой модели рельефа (ЦМР).

Цифровая модель рельефа на город Липецк и окрестные территории создавалась по данным топографических карт масштаба 1:10000 и SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Горизонталы топографических карт были оцифрованы. Для территорий, не покрытых топографическими картами, была подготовлена регулярная сетка с шагом 300 м по модели SRTM. Высоты карьеров, состояние которых на топографических картах неактуально, также были получены из SRTM. К значениям высот рельефа, снятым с SRTM, вносилась поправка, равная средней разнице высот ЦМР SRTM и высот ЦМР, полученной исключительно по горизонталям топографических карт.

На основе исходных данных (горизонталей и высотных отметок) с помощью инструмента Topo to Raster пакета Spatial Analyst программного продукта ArcGIS была получена растровая матрица высот с разрешением 10 м. Выбор такого пространственного разрешения обусловлен пространственным разрешением используемых в работе (в частности, в классификации ландшафтного покрова) данных дистанционного зондирования — снимков Sentinel-2, минимальный размер пикселя которых составляет 10 м. Затем к полученному растру был итеративно применён низкочастотный фильтр (последующий фильтр применяется к результату работы предыдущего). Пятикратное применение фильтра позволило избавиться

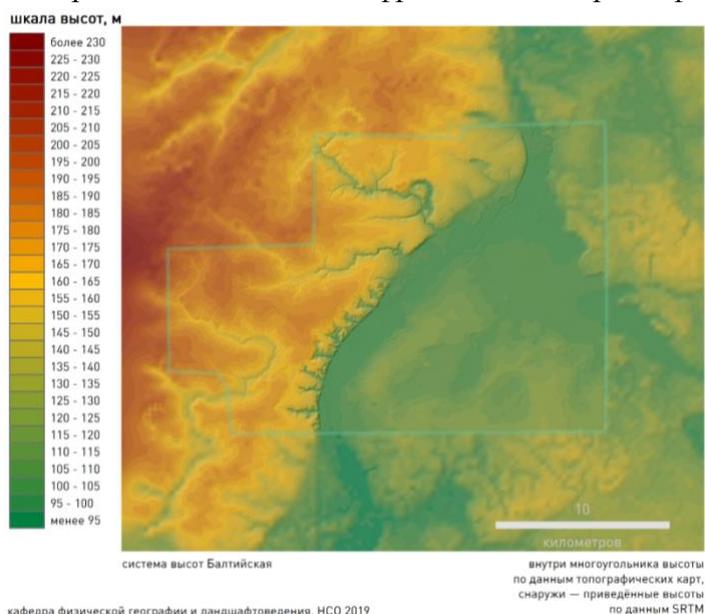


Рисунок 2. Цифровая модель рельефа на город Липецк и окрестности

от основной части шумов и артефактов, получить цифровую модель рельефа на город Липецк и его окрестности (рис. 2).

Детальность данных SRTM существенно меньше данных, полученных с топографических карт. Разница заметна невооружённым глазом: участок, полученный по SRTM более размытый. Разница в данных может негативно отразиться на производных ЦМР, а также при подсчёте метрик урбогеосистем, контуры которых находятся на границе детальности ЦМР. В целом, данные SRTM и топографических карт стыкуются правдоподобно, тренд изменения рельефа прослеживается. Большая же часть исследуемой территории находится в пределах более детального участка ЦМР.

Построение цифровой модели рельефа дало возможность создать серию производных карт с помощью инструмента Basic Terrain Analysis пакета SAGA GIS. Из данного инструмента было использовано четыре результирующих растра: Slope (крутизна), Convex Index (индекс формы поверхности), Topographic Position Index (индекс превышений) и Topographic Ruggedness Index (индекс расчленённости рельефа). Позднее все растры были обработаны, а значения в них усреднены для контуров урбогеосистем, итогом чего стали картосхемы с качественным фоном.

3.3. Классификация данных дистанционного зондирования

Для классификации ландшафтного покрова использовался метод нормализованных индексов (a spectral index-based method) (Estoque et al., 2017). Классификация выполнялась по снимкам Sentinel-2, загруженным с портала Copernicus Open Access Hub. Было загружено 8 снимков за 2018-2019 гг.: 9 апреля, 4 мая, 29 мая, 28 июня, 27 августа, 11 октября, 15 ноября 2018 и 23 февраля 2019. Предварительная обработка снимков включала обрезку по области интереса, пересчёт всех каналов на наиболее детальный размер пикселя (10 м) и удаление неиспользуемых каналов. Она выполнялась в открытом программном пакете SNAP ESA. С использованием средств языка R в среде разработки RStudio были получены индексные изображения для каждого из снимков (Самсонов, 2017). Рассчитывались следующие индексы (указаны формулы для Sentinel-2):

- нормализованный вегетационный индекс (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) из ближнего инфракрасного (*Band 8*) и красного (*Band 4*) каналов

$$NDVI = \frac{Band\ 8 - Band\ 4}{Band\ 8 + Band\ 4}$$

- нормализованный индекс влажности (Normalized Difference Wetness Index, NDWI) из зелёного (*Band 3*) и ближнего инфракрасного (*Band 8*) каналов

$$NDWI = \frac{Band\ 3 - Band\ 8}{Band\ 3 + Band\ 8}$$

- нормализованный индекс застройки (Normalized Difference Built-Up Index, NDBI) из коротковолнового инфракрасного (*Band 11*) и ближнего инфракрасного (*Band 8*) каналов

$$NDBI = \frac{Band\ 11 - Band\ 8}{Band\ 11 + Band\ 8}$$

- индекс застройки на основе индексов (Index-based Built-up Index, IBI) (Xu, 2008) из индексов *NDVI*, *NDWI*, *NDBI*

$$IBI = \frac{\left(NDVI + \frac{NDWI}{2}\right) - NDBI}{\left(NDVI + \frac{NDWI}{2}\right) + NDBI}$$

- нормализованный индекс застройки на основе видимого красного (*Band 4*), ближнего инфракрасного (*Band 8*) каналов (Visible red, Near Infrared Built-up Index, VrNIR-BI) (Estoque, Murayama, 2015)

$$VrNIR - BI = \frac{Band\ 4 - Band\ 8}{Band\ 4 + Band\ 8}$$

Предварительное составление и изучение индексных изображений позволило ознакомиться с территорией и осмысленно подойти к выполнению классификации ландшафтного покрова.

3.4. Анализ теплового излучения земной поверхности

Тепловые инфракрасные снимки – источник пространственной информации об относительных различиях в интенсивности теплового излучения ландшафтного покрова. Наиболее существенно на интенсивность теплового излучения влияет температура поверхности, которая определяется собственным излучением объектов и, в меньшей степени, поступлением внутреннего тепла Земли или же теплоотдачей производственных механизмов (Балдина, Грищенко, 2014). Интенсивность излучения объектов земной поверхности зависит от их физико-химических свойств (цвет, шероховатость, влагосодержание и др.), особенностей биохимических процессов, а также от состава горных пород или материала зданий, мощности растительного покрова, наличия или отсутствия теплового загрязнения.

В рамках исследования степени трансформации городского климата Липецка проанализированы данные 10 канала снимков Landsat 8 за 31/03/2014 (зима), 26/05/2017 (весна), 01/08/2018 (лето) и 25/10/2014 (осень). Канал 10 – это дальний инфракрасный канал, работающий в диапазоне 10,3-11,3 мкм с разрешением 100 м. В этом канале фиксируется длинноволновое излучение объектов земной поверхности, которое зависит от физических и биохимических свойств этих объектов. Снимки выбирались безоблачные; соответствие снимка нужному сезону проверялось по метеоархиву сайта <https://rp5.ru/>. Значения температуры поверхности в городе и за его пределами получены в программе SAGA, там же вычислена амплитуда значений между летним и зимним сезонами.

В данной работе нас интересовали тепловые аномалии, возникающие в пределах города, а также их пространственное размещение в связи со структурой урбогеосистем. Нами вычислялась яркостная температура прошедшего сквозь атмосферу излучения (Top-of-the-atmosphere reflectance) (формулы 1,2):

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

где

L_{λ} – излучение на верхней границе атмосферы (Watt/(м²·srad·μm))

M_L – мультипликативный фактор теплового канала, полученный из метаданных спутникового снимка (RADIANCE_MULT_BAND_X)

A_L – аддитивный фактор теплового канала, полученный из метаданных спутникового снимка (RADIANCE_ADD_BAND_X)

Q_{cal} – калиброванное значение канала в цифровом выражении (DN)

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1+1}{L_{\lambda}}\right)} \quad (2)$$

где

T – температура, K

L_{λ} – излучение на верхней границе атмосферы (Watt/(м²·srad·μm))

K_1 – переводной коэффициент, полученный из метаданных спутникового снимка (K1_CONSTANT_BAND_X)

K_2 – переводной коэффициент, полученный из метаданных спутникового снимка (K2_CONSTANT_BAND_X)

Это не истинная температура земной поверхности, но близкая и позволяющая выявить температурные аномалии. На последнем шаге яркостная температура переводится в значения температуры земной поверхности.

В ходе работы значения теплового поля усреднялись для каждого контура урбогеосистем, а далее статистически проверялось влияние различных факторов на аномалии (озеленённость, доля застройки, наличие водных объектов и т.д.).

3.5. Методы геохимического анализа атмосферного загрязнения

Геохимический анализ снеговой воды позволяет определить степень антропогенной нагрузки на атмосферу г. Липецка. Двумя основными параметрами её оценки являются усредненное значение рН и пылевое загрязнение $г/м^2 \cdot сут$ в данной урбогеосистеме. Анализы проводились в лаборатории Липецкого Государственного Педагогического Университета.

Методика определения валового содержания пыли снежного покрова заключалась в следующем:

1. Фильтры синяя лента (мелкопористые, очень плотные и с очень низкой скоростью фильтрации) и белая лента высушивались в сушильном шкафу;
2. Взвешивались на аналитических весах с точностью до 4 знака после запятой;
3. Каждая проба фильтровалась через необходимое число фильтров в полторалитровые пластиковые ёмкости;
4. Исползованные фильтры высушивались в сушильном шкафу;
5. Повторно взвешивались на аналитических весах с точностью до 4 знака после запятой;
6. По разнице в весе чистых и использованных фильтров определялось валовое содержание пыли в каждом образце.
7. Валовое содержание пыли в образце пересчитывалось в содержание пыли на квадратный метр за сутки на основании количества отобранных проб и диаметра снегоотборника, а также данных о дате установления устойчивого снежного покрова.

Далее, при помощи рН-метра, ионометрическим методом определялся водородный показатель каждой пробы талого снега.

3.6. Методы оценки снегоопасности

В ходе полевых работ была произведена оценка снегозапасов в различных урбогеосистемах г. Липецка. Запас воды в снежном покрове Q рассчитывается из произведения высоты снега h (см) на его плотность ρ ($г/см^3$). Он выражается в миллиметрах слоя воды.

$$Q = 10\rho h$$

Плотность снега замерялась с помощью универсального гляциологического устройства «снегомер весовой ВС-43». Данный прибор использовался одновременно и как пробоотборник образцов снега для дальнейших лабораторных исследований характера загрязнения. Средний запас воды в снежном покрове на территории принимается как среднее арифметическое из запасов в отдельных точках измерения.

Урбанизированная территория г. Липецка представляет из себя сложное сочетание различных зданий, сооружений и конструкций. В зимнее время все эти объекты подвержены воздействию снега, который откладывается на кровлях. Это воздействие заключается в постепенном увеличении давления на конструкции. С каждым новым снегопадом давление будет увеличиваться исходя из количества выпавшего снега, его плотности, влажности. Немаловажное влияние будет оказывать и ветер, который уплотняет снег, увеличивая давление. Такие воздействия называются в инженерной литературе снеговые нагрузки. В зависимости от продолжительности действия нагрузок следует различать постоянные P_d , длительные P_l и кратковременные P_t .

Липецк, согласно СП 20.13330.2016 (актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*) относится к 3 снеговому району. Для этого района нормативное значение веса снегового покрова S_g на $1 м^2$ горизонтальной поверхности земли принято за $1,5 кПа$.

Расчет значения снеговых нагрузок на конкретное сооружение проводится по формуле

$$S_0 = s_e s_t \mu S_g \quad , \text{ где}$$

s_e – коэффициент, учитывающий снос снега с покрытий зданий под действием ветра или иных факторов;

ct – термический коэффициент;

μ – коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие;

Sg – нормативное значение веса снегового покрова на 1 м²

Перечисленные выше коэффициенты определяются по СП 20.13330.2016

В связи с отсутствием на данном этапе исследований данных о теплофизических и конструктивных особенностях большинства зданий, провести подробный расчет по СП не представляется возможным. В связи с этим мы проводили общую оценку городских урбогеосистем по степени опасности снеговых нагрузок через плотность и вес снега, измеренных во время маршрутных наблюдений.

3.7. Методы оценки культурных функций городской среды

Оценка культурных функций может быть получена с помощью проведения массовых социологических опросов среди жителей города. Этот метод наиболее эффективен, т.к. делает нашу оценку более объективной с точки зрения улучшения качества жизни в городе, помогает изучить социальные настроения и выявить проблемы и несоответствия в развитии городской среды. А также затрагивает сферу сознания людей, изучение которой не может быть охвачено стандартными методами физической географии.

Социологический опрос населения был призван ответить на следующие вопросы:

- Какие виды рекреации наиболее популярны у горожан?
- В каких парках больше всего любят проводить свое свободное время липчане?
- Какие недостатки есть у существующих парковых и других зон отдыха?
- Соблюдение каких условий для отдыха при разных видах активностей необходимо жителям города

Исследование подобных предпочтений позволило понять, какую функцию выполняют существующие рекреационные комплексы Липецка. На какие из них запрос существует в настоящее время в обществе, и какие необходимы, и будут популярны в ближайшем будущем, а также исследование дало информацию о том, где имеет смысл размещать новые подобные места отдыха и на какую часть населения их ориентировать.

В ходе социологического исследования в целях определения генеральной совокупности и обоснования выборки респондентов было проведено анализ половозрастной структуры населения и соотношения численности населения в разных административных округах города. Полевой этап проводился в двух видах. Опрос в городе был проведен в формате массового формализованного личного интервьюирования. Участники экспедиции проводили исследование на улицах и в парках разных районов города Липецк. Затем полученные данные были дополнены анкетированием, проведенным с использованием опросника в виде Google-формы.

Анкета состояла из нескольких блоков и содержала открытые и закрытые вопросы:

- Первый блок был посвящен рекреационной функции и включал в себя вопросы, направленные на выявление функций рекреационных пространств и их недостатков: «Перечислите места отдыха в Липецке, в которых можно: искупаться и позагорать/ Насладиться природой/ погулять с коляской/ кататься на велосипедах и др.», «Чего вам не хватает в парках для отдыха?»; на выявление частоты посещений рекреационных зон: «Оцените, как часто вы посещаете (по шкале от 1 до 5) места отдыха на природе/спортивного отдыха и др.»; Какие факторы являются определяющими при выборе мест отдыха: «Оцените условия отдыха по следующим параметрам для каждого вида».

- Второй блок был посвящен исследованиям ментальных представлений жителей о Липецке. Включал вопросы, направленные на получение представлений жителей о красивых, безопасных, престижных районах города: «Назовите район, который считается наиболее: Престижным/непрестижным и др.». Этот блок также включал отрисовку ментальной карты города, однако этот пункт проводился только при личном интервьюировании со специально квотно отобранными респондентами.

- Заключительная часть – сведения о респонденте.

В ходе экспедиции на точках описаний выполнялась оценка привлекательности урбогеосистемы с учетом таких факторов, как этажность, степень озелененности территории, плотность застройки, ее гомогенность/гетерогенность и др. При описании урбогеосистем участниками экспедиции эстетическая привлекательность оценивалась по 5-ти бальной шкале: 1-неприятно находиться; 2-нормально, но жить/гулять здесь не хочется; 3-нормально, ничего особенного; 4-красиво; 5-прекрасный вид. Для каждого типа получено несколько оценок. Это позволило вычислить среднее значение привлекательности типа урбогеосистем и составить карту среднего балла привлекательности как только для урбогеосистем, в которых выполнялась оценка, так и для всех урбогеосистем данного типа на основе экстраполяции. Этот подход используется, исходя из предположения о единообразии и подобии урбогеосистем определённого типа как единиц деления городской среды. Кроме того для объективизации предпочтений, влияющих на перцепцию городской среды была составлена анкета в формате Google-формы, в которой предлагалось выбрать одну из трех фотографий, различавшихся интенсивностью проявления одного из факторов (этажности, степени озеленения, гомогенности, плотности застройки, наличия визуального шума). Большая часть фотографий взята с ресурса Google Maps, и является панорамами улиц города Липецка. Для каждого вопроса были подобраны примерно одинаковые по композиции, цветовой гамме и наличию дополнительных элементов изображения, благодаря чему влияние прочих, кроме исследуемого, факторов, сведено к нулю.

Реализацией количественного подхода оценки эстетической привлекательности является анализ данных о фотографиях, выполненных на территории, выложенных в социальные сети. В основу оценки ложится предположение о том, что чем больше фотографий сделано внутри урбогеосистемы, тем привлекательнее она. При этом необходимы фотографии с пространственной привязкой (геолокацией). Программируемый интерфейс (API) социальной сети «ВКонтакте» позволяет загружать фотографии и их метаданные, выложенные пользователями в открытый доступ (Документация API ВКонтакте). Загрузка фотографий через API автоматизирована средствами языка программирования R (Самсонов, 2017). Ограничения программируемого интерфейса не позволяют выгрузить все фотографии за определённый период одновременно — за один раз можно выгрузить не более 1000 фотографий. Для преодоления этого ограничения создан скрипт, содержащий цикл, который загружает фотографии по каждому отдельному дню за заданный период.

В качестве исходных данных для составления карт загружено около 275000 фотографий за период с 21 февраля 2018 года до 21 февраля 2019 года. Они были отсортированы по сезонам: зима (75132 фотографии); весна (65629 фотографий); лето (66592 фотографии); осень (67415 фотографий).

Данные о фотографиях собраны в таблицы с полями идентификатора, координат и месяца. По таблицам получены точечные шейп-файлы местоположения фотографий. По этим данным рассчитана плотность точек фотографирования. Она представляется как поверхность для анализа структуры распределения фотографий, обнаружения привлекательных для фотографирования участков города. Другим вариантом картографической визуализации является отображение количества фотографий на единицу площади в пределах урбогеосистем. Карты создавались за годовой период и отдельно для лета и зимы, что позволило проанализировать общие особенности пространственной структуры плотности фотографий и обнаружить отличия в пространственной структуре между сезонами.

Схожим образом были получены данные о стоимости аренды кв.м. коммерческой и жилой недвижимости за период 25.03.2019-31.03.2019 по актуальным объявлениям в системе ЦИАН. Так были получены средние значения этого параметра для каждой урбогеосистемы, что позволило сравнить стоимость аренды с представлениями жителей о комфортности, престижности, экологической и криминальной безопасности районов города.

Глава 4. Результаты исследований

4.1. Структура урбогеосистем города Липецка

По итогам экспедиции составлена карта УГС Липецка (рис. 3). На карте выделено 834 контура, которые отнесены к одному из 17 типов урбогеосистем. Типы урбогеосистем выделены по мозаикам классов ландшафтного покрова. Один тип урбогеосистем включает территорию в пределах одной мезоформы рельефа, однородную по степени озеленённости, с застройкой одинаковой этажности и схожей плотностью строений. Тип 11 (крупные дороги) был автоматически выделен по данным OpenStreetMaps.

Город Липецк, поделенный надвое рекой Воронеж, можно условно разделить на «промышленный» левый и «жилой» правый берег.

Большая часть производственных объектов города расположена на «промышленном» берегу, и занимает подавляющую его часть. С севера и с юга к промышленной территории примыкают жилые районы. На севере это преимущественно среднеэтажная озелененная, за которой расположена озелененная малоэтажная застройка, а на юге это как озелененная, так и неозелененная среднеэтажная застройка, неозелененные многоэтажные дома и плотная озелененная малоэтажная

застройка. Все вышеперечисленные территории окружают леса.

На «жилом» берегу промышленная зона гораздо меньше. Она расположена преимущественно на окраине города и не связана, в отличие от промышленного «пятна» на противоположенном берегу. Многоэтажная застройка преимущественно озелененная, хотя присутствие не озелененной на юго-западе города так же значительно. Вся среднеэтажная застройка города

в основном озелененная и расположена на северо-востоке. Малоэтажная застройка в городе плотная и озелененная, а ее местоположение тяготеет ближе к реке Воронеж. Общественно деловые объекты расположены в основном по краям города, и лишь малая их часть расположена в центре. Зелёные территории приурочены в основном к непригодным для застройки землям, например, крутым склонам реки, оврагам и т.д.

За городом на правом берегу вдоль основных дорог расположена плотная частная озелененная застройка, хотя местами встречается и разреженная. На севере значительную территорию занимают карьеры и пустыри, остальная территория занята сельскохозяйственными полями. На юге, помимо застройки, территорию занимают

Карта типов урбогеосистем г. Липецка и окружающих территорий

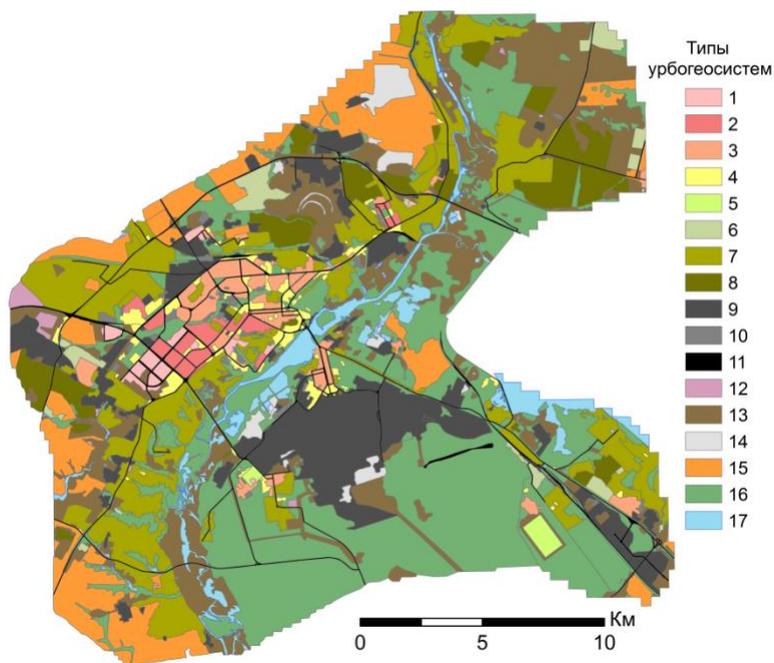


Рисунок 3. Карта типов урбогеосистем г. Липецка и окружающих территорий. Цифрами обозначены: 1 – многоэтажная застройка (>9 этажей) неозеленённая; 2 – многоэтажная застройка (>9 этажей) озеленённая; 3 – мало- и среднеэтажная (3-8 этажей) многоквартирная застройка озеленённая; 4 – малоэтажная плотная слабоозеленённая застройка (общественно-деловые и социальные объекты); 5 – двухэтажная многоквартирная застройка озеленённая; 6 – частная одно-двухэтажная застройка плотная неозеленённая; 7 – частная одно- и двухэтажная застройка плотная с садами и небольшими полями; 8 – частная одно- и двухэтажная застройка разреженная с садами и небольшими полями; 9 – производственно-складские объекты; 10 – гаражи и парковки; 11 – крупные дороги; 12 – кладбища; 13 – пустыри; 14 – открытые грунты; 15 – поля; 16 – парки и прочие зелёные территории; 17 – водные объекты

преимущественно сельскохозяйственные поля. На левом берегу за городом типы застройки такие же, как и на правом, но занимаемая ими площадь значительно меньше. Важным отличием является наличие складских объектов на востоке, которые приурочены к железной дороге. В центральной части и на юге большая часть земель занята лесами. На севере больше всего площади у пустырей, тогда как поля и леса занимают меньшую территорию.

4.2. Классификация ландшафтного покрова

По формулам описанным в главе 3.3 было получено 40 индексных изображений на город Липецк. Были определены оптимальные изображения для ландшафтной классификации методом нормализованных индексов. Одной из проблем их подбора является присутствие на снимках работающего металлургического комбината, который искажает распределение значений яркости пикселей. По отобранным индексным изображениям, выделялись слои определённых ландшафтных классов, причём каждый последующий класс не включал пиксели предыдущих, таким образом, ни один из пикселей не принадлежал более чем одному классу. Граничные значения индексов для определения принадлежности пикселей к классу выделялись эмпирически и на основе визуального дешифрирования общедоступных снимков очень высокого пространственного разрешения.

По NDWI за 29 мая со значениями более 0,2 были выделены водные объекты. Граничное значение было подобрано вручную и соответствует общим представлениям об изменении значений NDWI. Значения NDWI за 9 апреля более 0,2, исключая пиксели водных объектов, показывают сезонно пойменные луга. Другими словами, территории, которые заливаются в начале апреля, а к концу мая водой не покрыты, относятся к сезонно затопляемым пойменным лугам.

Хвойная растительность выделяется по зимнему снимку (23 февраля) со значениями NDVI больше 0,15. Наиболее высокими значениями вегетационного индекса характеризуются зелёные растения — на зимнем снимке зелёными оказываются хвойные породы. В качестве граничного используется относительно низкое значение NDVI: при разрешении в 10 м в один пиксель попадает и зелёная растительности, и снег. Этот фактор приводит к снижению результирующего значения NDVI пикселя.

Возделываемые территории выделяются по разнице значений NDVI: модуль разницы более 0,5 для индексных изображений 28 июня и 27 августа, модуль разницы более 0,5 для индексных изображений 29 мая и 28 июня. Возделываемые поля убираются или засеиваются, что приводит к существенному изменению NDVI: озимые поля зелёные весной, а ранним летом уже убраны; яровые поля характеризуются высоким значением вегетационного индекса в начале лета, а к концу после уборки приобретают низкие значения вегетационного индекса. Зарастающие поля и земли под паром выделить таким образом невозможно, хотя они могут быть обнаружены по характерной форме при визуальном дешифрировании.

Лиственная древесная растительность обнаруживается по NDVI 28 июня больше 0,6 при исключении возделываемых земель. Снимок от 28 июня удобен для определения лиственной растительности, так как он показывает наиболее дифференцированную картину пространственного распределения вегетационного индекса. Это позволяет отделить лиственные леса от кустарников, лугов и прочей растительности.

Имея возможность исключить лиственные и хвойные деревья, по значениям NDVI за 15 ноября более 0,4 можно выделить озимые поля на сезон 2019 года и добавить их к слою возделываемых земель.

Слой лугов и кустарников включает пиксели, не отнесённые ранее ни к одному из классов, со значениями NDVI 28 июня более 0,4. На территории города Липецк располагается несколько карьеров. Их как территории с открытым грунтом можно обнаружить по значениям IBI на снимке 15 ноября более - 0,93.

Запечатанные территории были выделены по VrNIR-VI для снимка 28 июня. Снимок за эту дату позволил получить наиболее пространственно дифференцированное значение индекса. Было обнаружено три уровня запечатанности поверхностей: более - 0,05 — сильно

запечатанные поверхности; от - 0,15 до - 0,05 — средне запечатанные поверхности; от - 0,25 до - 0,15 — слабо запечатанные поверхности. Оставшиеся пиксели были отнесены к классу пустырей, их доля составила 7,6 % от общего числа пикселей классификации.

Таблица 2. Выделенные классы ландшафтного покрова

Название класса	Индекс	Граничное значение
водные объекты	NDWI (май)	более 0,2
пойменные луга	NDWI (апрель)	более 0,2
хвойные леса	NDVI (февраль)	более 0,15
возделываемые земли	NDVI (май) - NDVI (июнь), NDVI (июнь) - NDVI (август), NDVI (ноябрь)	модуль разности более 0,5, для ноября NDVI более 0,4
лиственные леса	NDVI (июнь)	более 0,6
луга и кустарники	NDVI (июнь)	более 0,4
сильно запечатанные поверхности	V _r NIR-BI (июнь)	более - 0,05
средне запечатанные поверхности	V _r NIR-BI (июнь)	от - 0,15 до - 0,05
слабо запечатанные поверхности	V _r NIR-BI (июнь)	от - 0,25 до - 0,15
открытый грунт	IBI (ноябрь)	более - 0,93
пустыри	нет	нет

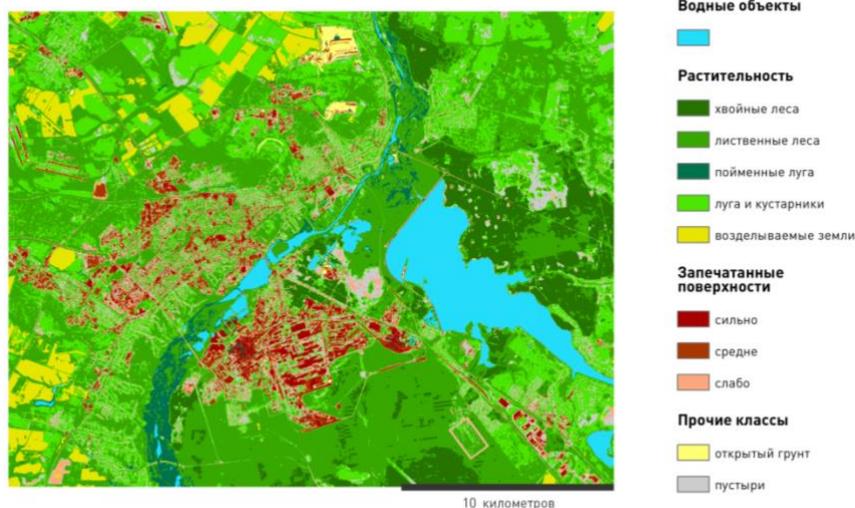
Было выделено 11 слоёв ландшафтных классов (табл. 2), они были объединены в единый растр формата TIFF с размером пикселя (пространственным разрешением) 10x10 м. Значения ландшафтных классов были записаны в пиксели растра как факторы — категориальные переменные, выраженные как целые числа. Растр был загружен в программный пакет ArcMap 10.5 и отфильтрован инструментом Majority Filter (Фильтр большинства) со скользящим окном 3x3. Этот инструмент заменяет ячейки в растре, основываясь на значении большинства смежных с ними точек, в данном случае на основе 8 ячеек скользящего окна. Инструмент снижает количество информации, содержащейся в изображении, но позволяет сгладить поверхность, избавиться от артефактов классификации, объединить пиксели в компактные классы (рис. 4).

По классификации видно, что наибольшей запечатанностью характеризуется территория комбината и новые жилые районы, центр же в целом озеленённый. Дачные посёлки, примыкающие к городу, оказываются слабо и средне запечатанными территориями с низкой плотностью пикселей запечатанности и большой долей пикселей прочей растительности.

За пределами города на правом берегу размещены поля. Большая часть полей возделывается.

Некоторые поля зарастают в течение года постепенно, без резких изменений NDVI. Это указывает на то, что они не возделываются. На севере обнаруживаются участки со снятым почвенным покровом: карьеры по добыче известняка.

ЛАНДШАФТНЫЙ ПОКРОВ



кафедра физической географии и ландшафтоведения, НСО 2019

Рисунок 4. Итоговая классификация ландшафтного покрова

Хвойные деревья образуют крупные массивы на левобережье, на правом берегу они отсутствуют. Лиственных деревьев также больше на левобережье, на правом берег лиственные деревья располагаются за городом, в частности по овражно-балочной сети, внутри города они приурочены к слонам реки Воронеж и к участкам Каменного Лога.

4.3. Анализ морфометрических характеристик рельефа

Большинство выявленных урбогеосистем находятся на одном уровне рельефа, т.е. внутри себя они являются однородными. Более того, они по-своему маркируют высотные этажи рельефа и, соответственно, его мезоформы. Так, на левобережье практически всю территорию занимают обширные пойменные и надпойменные террасы, в том числе искусственно сформированные человеком из-за постройки водохранилища. Правый же берег обладает более ранжированной амплитудой высот, где на севере и юге она изменяется относительно полого, а ближе к центру города – более интенсивно.

Показатель типа форм рельефа основывался на двух производных растрах: Slope и Convex Index (рис. 5). Анализ карты показывает, что левобережье практически полностью плоское и не обладает серьезными перепадами высот, способными создать большой уклон. Пойменные участки более разнообразны, однако преимущественно здесь доминируют вогнутые поверхности, особенно на участке между рекой Воронеж и Матырским водохранилищем. Правобережье представляет более пеструю картину, т.к. это эрозионный склон и наклонная поверхность междуречья эрозионно-денудационной равнины. Однако здесь встречаются вогнутые участки, в частю антропогенно оконтуренные (напр., дорогами).

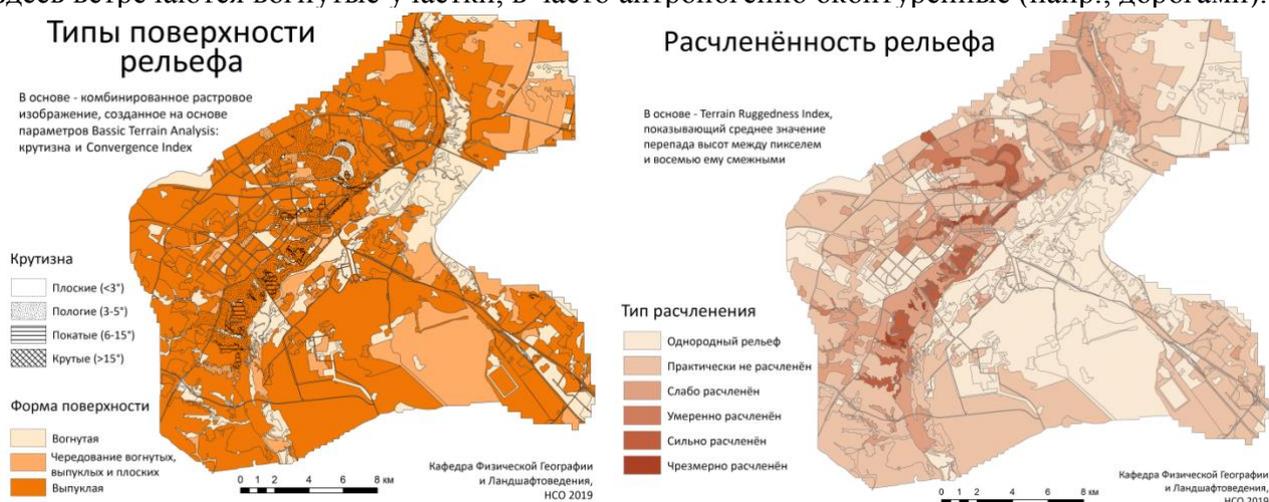


Рисунок 5. Морфометрические характеристики рельефа урбогеосистем

Topographic Position Index (TPI) – индекс превышений – отражает превышение центральной точки (т.е. каждого пикселя) над средней высотой окрестности в радиусе 100м. Выделяются урбогеосистемы, которые либо значительно ниже своего окружения, либо значительно выше, либо (как вершина склона) находится на стыке резкого перепада высот и ровной поверхности. Этот индекс не только нагляден, но и практичен. К примеру, его можно использовать для эстетической оценки урбогеосистемы по параметру превышений рельефа, ведь, чем больше перепад высот внутри контура или чем больше его разница с окружением, тем место более эстетически привлекательно.

Еще одной морфометрической характеристикой является Terrain Ruggedness Index (TRI) – индекс расчленённости рельефа, отражающий превышение пикселя над средней высотой восьми его смежных (рис. 5). Анализируя полученную карту, можно заметить, что правый берег сильно подвергнут эрозионным процессам, а левый берег практически нерасчленён.

Подводя итог, можно сказать, что выделенные урбогеосистемы отражают, помимо прочего, основные характеристики рельефа, а осреднение по контурам урбогеосистем значений континуальных растров достаточно объективно.

4.4. Функция регулирования микроклимата

Для исследования вопроса регулирования микроклимата в городе Липецке и его ближайших окрестностях выполнены следующие этапы анализа:

1. Создание разносезонных карт тепловых аномалий земной поверхности (методика описана в главе 3.4). Для обработки были выбраны космические снимки Landsat 8 за следующие даты: 26/01/2014 (зима), 31/03/2014 (весна), 01/08/2018 (лето) и 25/10/2014 (осень). Дополнительно рассчитана амплитуда температур летнего и зимнего периодов.

2. Расчёт средних значений температур земной поверхности для каждого контура урбогеосистем.

3. Поиск связи с различными ландшафтными характеристиками с помощью дисперсионного и корреляционного анализа.

После создания серии карт на первом этапе произведён визуальный анализ тепловых аномалий (рис. 6, 7). Июльская температура поверхности в многоэтажной плотно застроенной части города на 6-9 °С выше фоновых залесённых поверхностей за чертой города (23-24 °С против 30-32 °С). Территории, занятые частной плотной одно- и двухэтажной застройкой, показывают значения выше фоновых только на 3-5 °С. В пределах кварталов с преобладанием производственных построек температура поверхности выше на 11-14 °С и более относительно фоновых значений. Это связано с их более низкой излучательной способностью (а значит, и большим нагревом) и с тем, что сами промышленные объекты вырабатывают тепловую энергию. Особенно сильно выделяются отдельные производственные цеха на территории НЛМК, где превышения фоновых температур достигает 15-20 °С. Локальные максимумы температурных аномалий также связаны с полями, пустырями и терриконами – разница с фоновым значением достигает 12-14 °С и более. В зимний период различие между плотно застроенными кварталами города и фоновой залесённой поверхностью значительно меньше, порядка 2-3 °С. Максимальная разница присуща территориям с промышленными объектами (температура выше на 7-8 °С) и связанными с ними охладительными прудами (например, около НЛМК). На зимнем снимке отчетливо выделяется несколько тепловых шлейфов от труб НЛМК; ясно прослеживается отепляющее влияние отработанных вод завода на р. Воронеж ниже по течению. Зимой наименьшие температуры характерны для пашен, залежей и пустырей (ниже фона на 4-5 °С). Если рассматривать амплитуду температур за год (разница летних и зимних температур), то сильнее всего выделяются открытые пространства – поля и пустыри, где амплитуда температур достигает в среднем 54-57 °С, тогда как для лесных участков данное значение варьирует в пределах 42-44 °С. Промежуточные значения характерны для плотно застроенной части города (48-51 °С) и частной застройки (46-49 °С). Промышленным территориям соответствуют аномалии с размахом в среднем 52-54 °С.

Интересно рассмотреть связь тепловых аномалий с различными метриками, рассчитанными по космическим снимкам и ЦМР. В нашем случае аномалии сопоставляются со значениями индекса NDVI, морфометрическими показателями рельефа и преобладающими классами ландшафтного покрова в контурах (рис. 8).

Наибольшее значение коэффициента корреляции наблюдаются летом. Наблюдается сильная положительная ($k = 0,69$) корреляция между

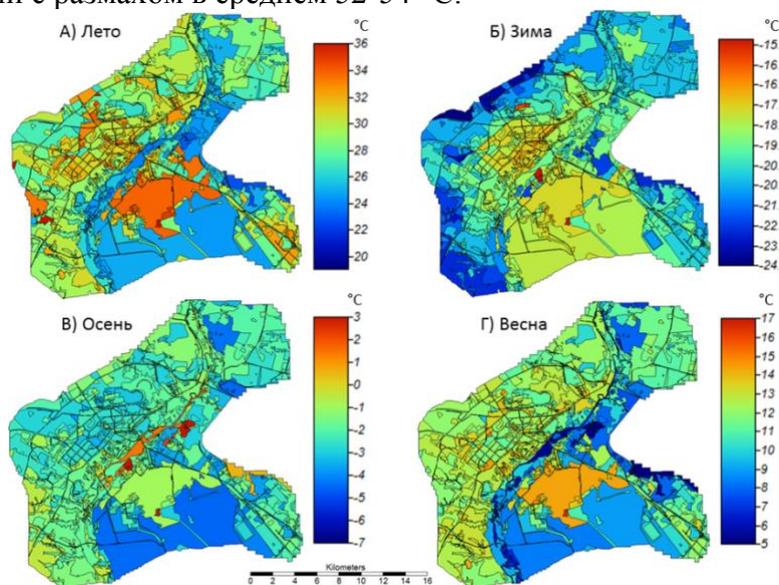


Рисунок 6. Средние значения температуры поверхности в пределах урбогеосистем: А) лето 01.08.2018; Б) зима 26.01.2014; В) осень 25.10.2014; Г) весна 31.03.2014

запечатанностью почвы и температурой, т.е. при увеличении площади, запечатанной территории наблюдается повышение температуры. Это можно объяснить особенностями поглотительной и отражательной способности, а также теплоемкостью материалов, покрывающих почву. Крыши и стены домов, асфальтированные территории нагреваются в течение дня сильнее и отдают тепло окружающему пространству.

Сильная отрицательная корреляция наблюдается с процентом площади территории, занятой растительностью ($k = -0,63$ для NDVI, $k = -0,56$ для всей растительности и $k = -0,51$ для хвойной и широколиственной). Сквозь кроны деревьев радиация будет проникать в ослабленном виде (в густом лесу почти вся радиация будет рассеянной). Ночное излучение происходит преимущественно с поверхности почвы. Днём растительность препятствует радиационному нагреванию почвы. В результате среднесуточная температура ниже, чем на открытой поверхности.

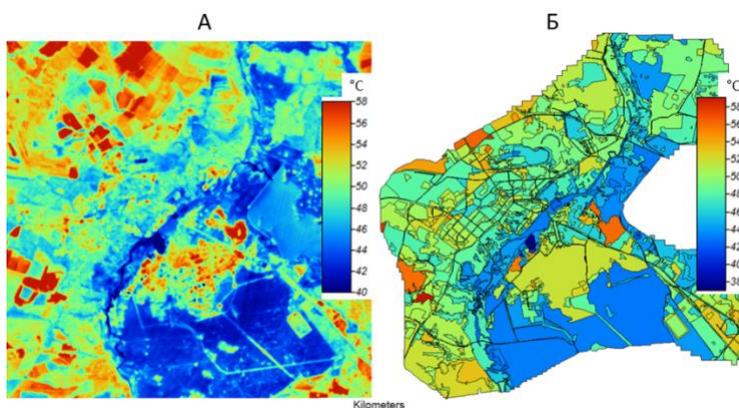


Рисунок 7. Амплитуда значений температур поверхности (разница снимков 01.08.2018 и 26.01.2014) (А) и средние значения в пределах урбогеосистем (Б)

Отрицательная корреляция ($k = -0,31$) существует с площадью водных объектов. Это обусловлено особенностями молекулярного строения воды. Вода обладает аномально большой удельной теплотой испарения. Большая часть радиационного баланса земной поверхности тратится на испарение воды. Затраты такого большого количества теплоты на испарение воды, безусловно, оказывают регулирующее влияние на тепловые процессы.

В зимнее время значимая корреляция ($k \geq |0,3|$) не выявлена. Вероятно, это связано с тем, что в связи с выпадением снега, отсутствием травянистого покрова и листвы различные показатели не могут оказывать столь сильное влияние на радиационно-тепловой баланс.

Весной корреляция выражена слабее, чем летом. Наблюдается отрицательный коэффициент корреляции с площадью водных объектов ($k = -0,43$), с площадью пойменных территорий ($k = -0,42$). Интересно, что охлаждающий эффект воды сильнее, что связано с замедленным освобождением водных объектов ото льда. Кроме того, как летом, существует положительный коэффициент корреляции ($k = 0,49$) с запечатанностью поверхности.

В осенний период выявлены лишь два показателя со значительным коэффициентом корреляции. Положительный коэффициент корреляции ($k = 0,48$) с площадью водных объектов связан с тем, что имея температуру поверхностного слоя в среднем более высокую,

Параметр	Температура поверхности				
	Лето	Зима	Весна	Осень	Амплитуда
Вода	-0,31	0,08	-0,43	0,48	-0,33
Пойменная растительность	-0,38	-0,07	-0,42	0,23	-0,31
Хвойная растительность	-0,15	0,03	-0,22	-0,28	-0,16
Лиственная растительность	-0,49	-0,10	-0,15	-0,22	-0,39
Прочая растительность	0,14	-0,10	0,17	-0,09	0,18
Возделываемые земли	0,08	-0,18	0,03	0,12	0,18
Участки со снятым почвенным покровом	0,08	0,03	0,03	0,02	0,05
Сильно запечатанные территории	0,57	0,18	0,39	0,01	0,41
Средне запечатанные территории	0,62	0,26	0,41	0,08	0,41
Слабо запечатанные территории	0,46	0,20	0,26	0,08	0,30
Пустыри	0,49	0,14	0,28	-0,08	0,36
Хвойная и лиственная растительность	-0,51	-0,09	-0,20	-0,28	-0,42
Вся растительность	-0,56	-0,16	-0,26	-0,21	-0,42
Все запечатанные поверхности	0,69	0,27	0,45	0,07	0,46
Слабо запечатанные и пустыри	0,65	0,22	0,37	-0,02	0,46
NDVI	-0,63	-0,21	-0,29	-0,37	-0,45
Абс. высота, м	0,33	-0,12	0,46	-0,12	0,37
Крутизна, гр.	0,06	0,17	0,23	-0,01	-0,05
Расчлененность	0,01	0,15	0,20	0,00	-0,08
Превышение	0,10	0,01	0,06	-0,03	0,08

Рисунок 8. Корреляция (коэффициент Пирсона) между температурами поверхности земли за различные сезоны (в т.ч. амплитуда лето-зима), параметрами, рассчитанными по классификации ландшафтного покрова, индексом NDVI и морфометрическими показателями. Цветом выделены следующие значения тесноты корреляции: средняя 0,3-0,5 – голубой, сильная 0,5-0,7 – зелёный.

чем приземный слой, они играют важнейшую роль в теплообмене и обогревают атмосферу. Годовые колебание температуры в воде распространяются на глубину до сотен метров, в то время как для почвы – 10-20 метров. В холодное время года вода теряет тепло из поверхностного слоя, однако взамен ему приходит накопленное тепло из нижележащих слоёв. Температура на поверхности воды понижается медленно. Отрицательный коэффициент корреляции ($k = -0,37$) выявлен с показателем NDVI, т.е. чем меньше растительности, тем выше температуры. Иными словами, зелёные зоны осенью холоднее, чем окружающие их запечатанные территории.

Кроме того, в течение всего года наблюдается положительная корреляция с абсолютной высотой. Чем выше положение точки над уровнем моря, тем выше там температуры. В низкие значение абсолютной высоты рельефа с большей долей вероятности сопряжены с вогнутыми формами рельефа, в которых скапливается более плотный и тяжёлый холодный воздух.

Интересна корреляция между годовой амплитудой температур и различными показателями ландшафтного покрова. Наибольшая положительная корреляция ($k = 0,46$) наблюдается для всей запечатанной территории. Отрицательные коэффициенты корреляции характерны для воды ($k = -0,33$) и всей растительности ($k = -0,42$), т.е. чем больше площадь воды или растительности, тем более сглаженный годовой ход температур.

4.5. Регулирование качества воздуха

Геохимический анализ снеговой воды позволил определить степень антропогенной нагрузки на атмосферу г. Липецка. Показатели рН талой воды (исключая пробы с примесями) варьируются от 3,3 до 10, имея преимущественно нейтральную и слабощелочную реакцию среды (средний рН по городу – 7,1). Полученные диапазоны значений пылевой нагрузки (рис. 9) обусловлены выбросами автотранспорта (особенно заметны максимумы в центре города) и промышленных предприятий («НЛМК», «Липецкцемент») в атмосферу с максимальными показателями, достигающими 1,4 г/м²*сут.

Средний показатель загрязнения по городу – 0,26 г/м²*сут.

Для сравнительного анализа использовалась классификация урбогеосистем, включающая в себя 17 типов ландшафтного покрова (рис. 10). В шестом классе (гаражи) была отобрана лишь одна проба, поэтому для дальнейшего анализа он был объединён с пятым (складские помещения). Отсутствовали пробы на дорогах, кладбищах, частной одно- и двухэтажной не озелененной застройке. Классы с недостаточным количеством проб (меньше трёх), которые невозможно объединить с другими, в дальнейшем анализе участия не принимали. В них вошли водные объекты, отвалы грунтов и мало и средне этажная (3-8 этажей) многоквартирная не озеленённая застройка.

В программном пакете Statistica с помощью инструментария ANOVA был проведен дисперсионный анализ, направленный на выявление связей между классами УГС и исследуемыми параметрами – рН и пылевой нагрузкой. Методика предполагает оценку различия между средними значениями параметров между типами УГС.

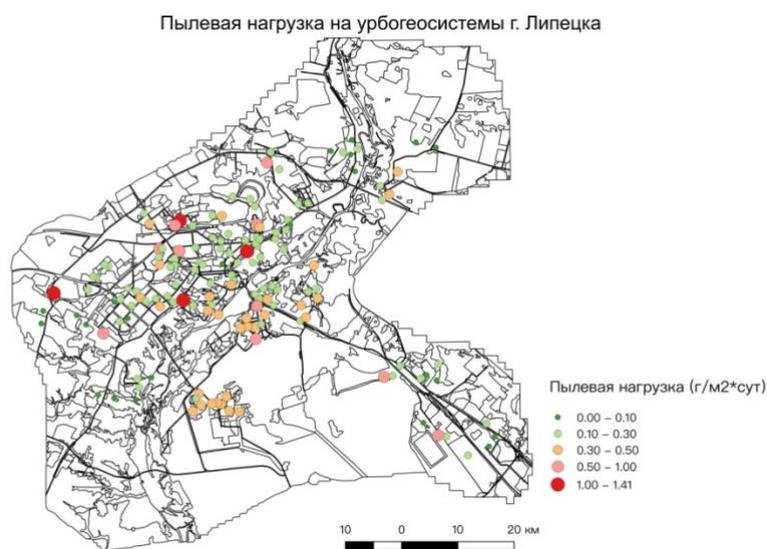


Рисунок 9. Пылевая нагрузка на УГС г.Липецка

Дисперсионный анализ (рис. 11) выявил отсутствие достоверных различий в содержании пыли в снеге по классам УГС. Однако заметны некоторые особенности в распределении показателя пылевой нагрузки. Так наименьший контраст имеет нагрузка в парках и пустырях. Наиболее обширный диапазон значений достигается для полей, - причем и минимальный, и максимальный порог этого показателя соответственно выше по сравнению с другими классами. Анализ попарных различий (LSD test) выявил максимальные различия между пылевой нагрузкой на поля и частную одно- и двухэтажную разреженную застройку с садами.

Для выявления значимых для пылевой нагрузки характеристик УГС были вычислены коэффициенты корреляции и визуализирована обнаруженная взаимосвязь. В целом, связи с классами ландшафтного покрова не обнаружено. Обнаружена незначительная обратная взаимосвязь между процентом озеленённости территории и пылевой нагрузкой на неё ($r=-0,1$) (рис. 11).

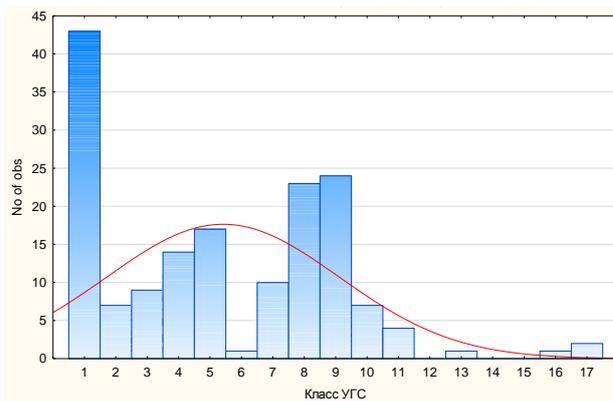


Рисунок 10. Гистограмма распределения точек опробования по типам УГС: 1 – парки и прочие зелёные территории; 2 – многоэтажная застройка (>9 этажей) неозелённая; 3 – многоэтажная застройка (>9 этажей) озелённая; 4 – общественно-деловые и социальные объекты; 5 – производственно-складские объекты; 6 – гаражи и парковки; 7 - пустыри; 8 – мало- и среднеэтажная (3-8 этажей) многоквартирная застройка озелённая; 9 – частная одно- и двухэтажная застройка плотная с садами и небольшими полями; 10 - частная одно- и двухэтажная застройка разреженная с садами и небольшими полями; 11 – поля; 12 – крупные дороги; 13 – водные объекты; 14 – частная одно-двухэтажная застройка плотная неозелённая; 15 – кладбища; 16 – открытые грунты; 17 – двухэтажная многоквартирная застройка озелённая

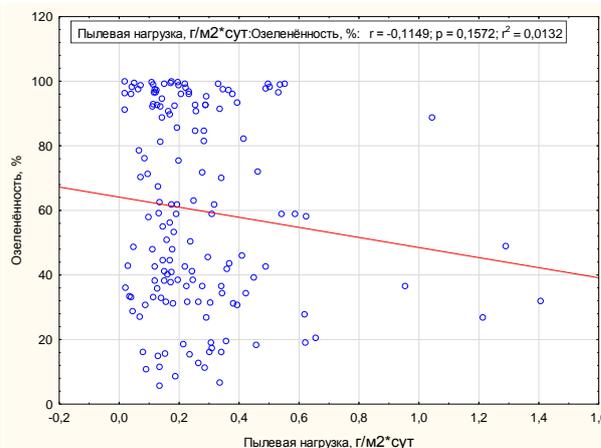
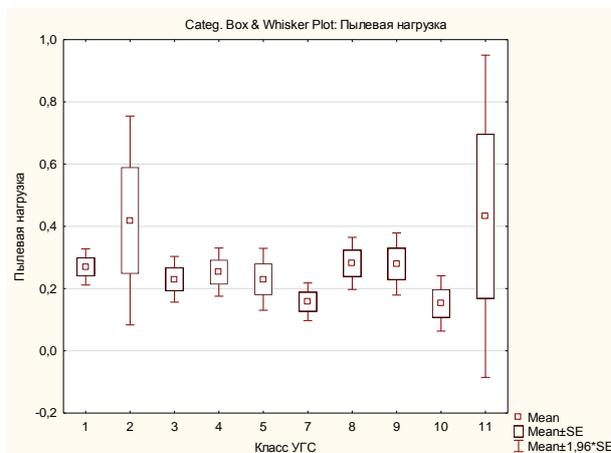


Рисунок 11. Различия в пылевой нагрузке между разными типами УГС г.Липецка и в зависимости от степени озеленённости

4.6. Регулирование снегонакопления

По данным маршрутных снегомерных работ была составлена карта распределения высот снега (рис.12). Средняя высота снега по состоянию на 6 февраля 2019 составляла 41,05 см. Наибольшие значения высоты снежного покрова были зафиксированы в лесных и парковых массивах, что говорит о минимальном влиянии антропогенной деятельности. В Парке Победы зафиксирована самое высокое значение – 60, 7 см. Несколько меньше снега накапливается в урбогеосистемах 1-2-х этажной частной застройки, а также на территории гаражных кооперативов. Зачастую это связано также с низкой антропогенной деятельностью в зимний период. На пустырях и открытых участках можно встретить до 54,7 см снега.

Минимальное количество снега характерно для деловых и административных кварталов в центре города (16,3 см). Однако даже такие невысокие значения приводят к

ухудшению проходимости, пробуксовке автомобилей и повышению риска ДТП. В районах с многоэтажной застройкой большое значение на распределение снежного покрова оказывает местная циркуляция, поэтому показатели высоты снега сильно расходятся (от 20 до 45 см). Минимальные значения будут в УГС «колодезного типа», каких много в новых микрорайонах на западе города.

Среднее значение влагозапаса по данным маршрутных наблюдений составило 93,5 мм слоя воды. Максимальные запасы воды в снежном покрове характерны для урбогеосистем, где а) достаточно высокий снежный покров, б) снег достаточно уплотненный. Это УГС 3-8 этажных микрорайонов (чаще всего классические двory 5-ти этажных панельных домов, а также все УГС центральной части, за счет более высокой температуры воздуха) Значения на таких территориях достигают 174,5 мм.

В ходе визуальных наблюдений было установлено, что несмотря на применяемые меры для очистки улиц города от снежных завалов, выделяемых сил недостаточно. Самая серьезная ситуация с занесенностью дорог и тротуаров была зафиксирована в районе ЛТЗ и в центральной части города (рис. 13). Сложная ситуация была во всех урбогеосистемах частного сектора – высота снега достигала на дорогах 20 см, под рыхлым снегом отмечен гололед. Степень снеготаносимости влияет на эстетическую привлекательность ландшафтов. Чем выше степень снеготаносимости УГС, тем ниже ее привлекательность для жителей и туристов. Это обусловлено следующими причинами: 1) затрудненная проходимость в целом по УГС; 2) высокие отвалы снега (сугробы) ухудшают прямую видимость; 3) при использовании песко-соляной смеси для снижения льдистости покрытий, снег на тротуарах, дорогах, в сугробах становится загрязненным.

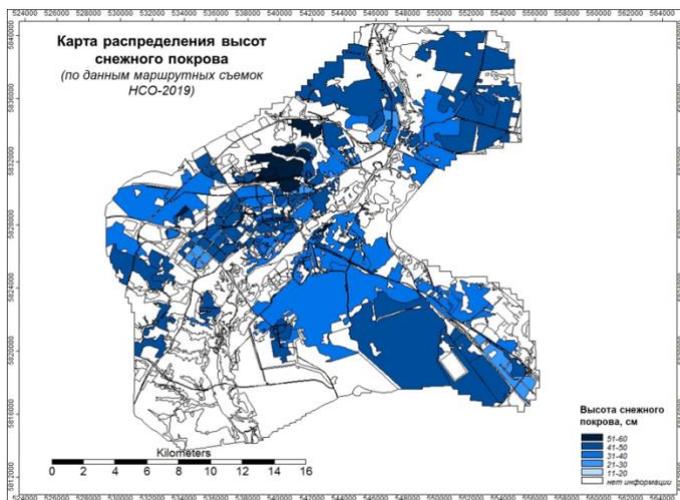


Рисунок 12. Карта распределения высот снежного покрова г. Липецка

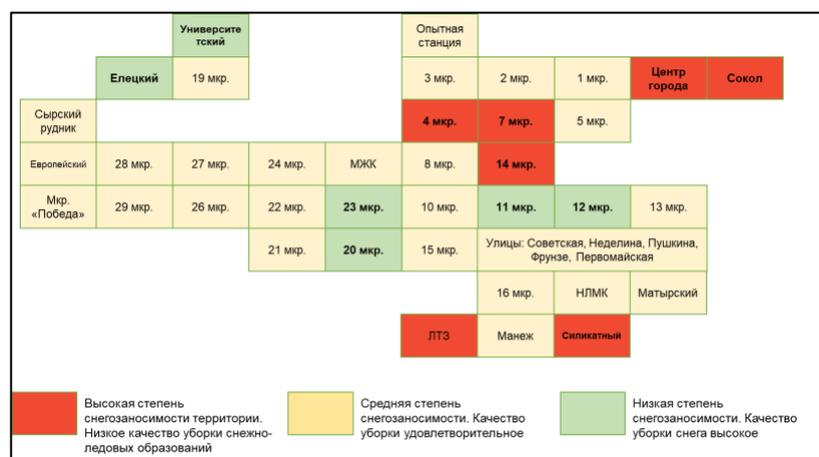


Рисунок 13. Оценка снеготаносимости городских районов Липецка

Проблемы с уборкой и вывозом снега стоят в Липецке довольно остро. Наиболее серьезная ситуация отмечена в районах ЛТЗ, Сокол, в историческом центре города. В качестве предложений по снижению снегоопасности можно рассмотреть возможность участия малого и среднего бизнеса в осуществлении уборки прилегающих к своим предприятиям территорий. Также необходимо рассмотреть возможность участия «НЛМК» в

работе по поддержанию городской инфраструктуры в надлежащем виде

Чем выше показатель снегоопасности $\sum snow$, тем сильнее влияние на урбогеосистему. Однако влияние не всегда отрицательное, часто и положительное. Высокие значения снегонакопления в лесных и парковых УГС (45-50 см) влияют на усиление рекреационной функции – жители города организуют свой досуг в лесах и парках, занимаясь активными видами зимнего спорта.

4.7. Оценка рекреационной функции

В целях исследования генеральную совокупность составили жители города Липецк, т.е. 510 439 человека (по данным Росстата на 1 января 2017 года). В ходе проведенного анкетирования было опрошено всего 282 человека, т.е. при доверительной вероятности в 95% ошибка выборки составит 6%. Среди них доля мужчин составила 38%, доля женщин 62%. Соотношение респондентов по возрасту следующее: молодые (до 25 лет) – 25%, взрослые (до 45 лет) – 61%, пожилые (старше 45 лет) -14%. 70% опрошенных имеют высшее образование, 20% - неполное высшее. Большая часть респондентов оценивает свой уровень доходов как средний («Денег хватает на технику, но автомобиль себе позволить не можем»). В целом, жители города не довольны качеством городской рекреационной инфраструктуры (средний балл составляет 2,8 из 5), с экологической ситуацией, по мнению респондентов, дела в городе обстоят хуже (средний балл составляет 2,0 из 5). Большая часть жителей города выходит на прогулки ежедневно, при этом процентное соотношение распределения по разным возрастным группам приблизительно одинаково.

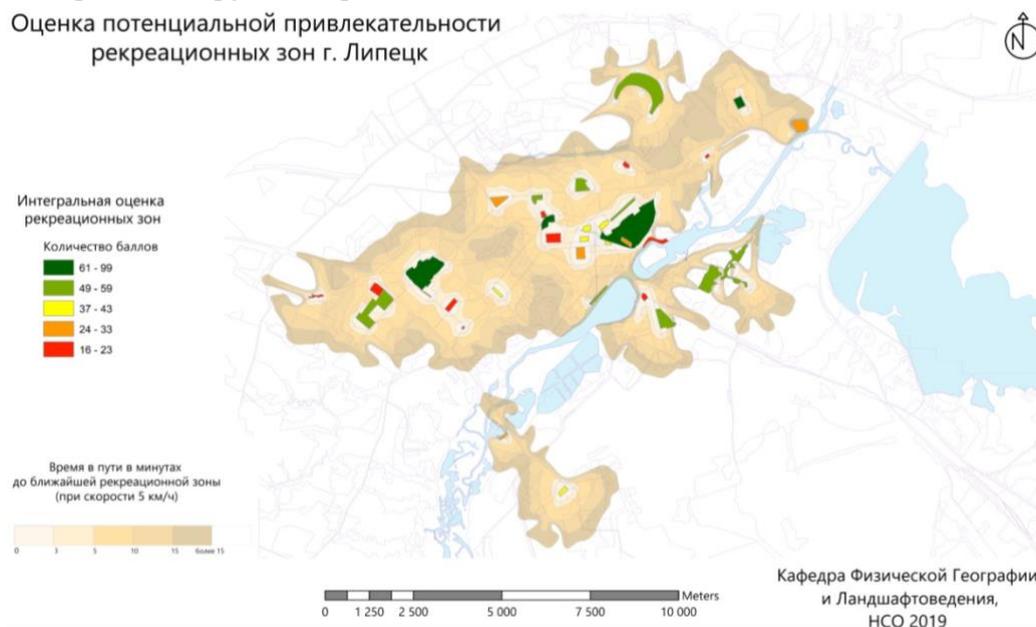


Рисунок 14. Карта оценки рекреационной функции.

На основании анализа досуговых предпочтений жителей Липецка был составлен обобщенный рейтинг рекреационных пространств, включающий в себя наиболее популярные ответы. А также рассчитано время в пути до выделенных объектов. (рис. 14)

Итоговый рейтинг был экспертным путем разделен на 5 категорий рекреационных пространств (табл. 3).

В первую категорию (97,5 – 60,5) вошли наиболее развитые в инфраструктурном плане парки города (Нижний, Победы, Hillpark), при этом они расположены на относительно большом расстоянии друг от друга, что обеспечивает постоянный приток посетителей и предопределяет отсутствие конкуренции. В этой категории оказались наибольшие по площади пространства, обладающие достаточным расчленением рельефа. Исключение составляет Сокольский парк. Возможно, его высокое положение в рейтинге объясняется отсутствием в микрорайоне Свободный Сокол других рекреационных объектов, из-за чего ему приходится выполнять большую часть функций, хотя его малая территория будет препятствовать этому.

Во второй категории (57,5 - 49) оказались рекреационные пространства, лидирующие по некоторым из выполняемых рекреационных функций: Быханов сад, Верхний парк, Набережная – прогулки с детьми, ДС Звездный – спортивные и зимние активности, Молодежный парк хоть и не лидирует по количеству выполняемых функций, но обладает высоким потенциалом к развитию (он хорошо озеленен, имеет большую территорию,

Таблица 3. Рейтинг рекреационных пространств г.Липецка

Название парка	Итоговый балл рейтинга
Нижний парк	97,5
Парк Победы	82
Хилл-парк	70
Сокольский парк	69
Каменный лог	61
Студёновский карьер	60,5
Силикатные озёра	57,5
Быханов сад	56
Новолипцевский парк	54,5
Верхний парк	54
Набережная	51
ДС Звёздный	50
Молодежный парк	49
Матырское водохранилище	42,5
Липецкое Городище	42
Новолипцевский пляж	39,5
площадь Драматического театра	39,5
Соборная площадь	39,5
аллея Чернобыльцев	38,5
площадь Клименкова	37
стадион Сокол	33
Сокольский пляж	32
Тракторный пляж	32
Зоопарк	30
сквер им. Маркова	30
стадион Металлург	29
ДК Тракторостроителей	28,5
Петровский спуск	27
ДК Профсоюз	26
Комсомольский пруд	26
Березовая аллея	24,5
Городской центральный пляж	23
кинотеатр Флинт	23
Река Воронеж	21,5
Сырский пруд	18,5
ТРЦ Европа	17
ТРЦ Ривьера	17
ТРЦ Малибу	15,5

удачное расположение и расчлененный рельеф) и благодаря этому оказался в данной категории.

В третьей категории (42,5 – 37) преимущественно собраны мало озеленённые территории, но при этом привлекательные для жителей Липецка. В основном это площади у каких-либо объектов, обладающих культурной, либо исторической ценностью. Это говорит о том, что данные пространства имеют спрос среди горожан, и стоит обратить внимание на развитие их инфраструктуры. Возможно создание каких-либо общественных пространств.

В четвертой категории (33 – 24,5) оказались либо сезонные места отдыха, не использующиеся большую часть времени (пляжи), либо «проходные» объекты, не обладающие какими-либо рекреационными функциями.

К пятой категории (23 – 15,5) относятся торговые центры и не обустроенные места отдыха (Европа, Малибу, Ривера, кинотеатр Флинт). Занимаемая ими позиция не связана с тем, что они не выполняют рекреационные функции, но связана с особенностями рейтинга, учитывающего природную составляющую, которая практически не выражена в данных местах.

По результатам опроса, жители Липецка не пришли к единому мнению о количестве зеленых пространств в городе: 50% считает, что Липецк испытывает нехватку озеленённости и 40%, что в городе достаточно зеленых пространств. При этом жители считают наиболее острой нехватку озеленённости в новых микрорайонах города (так высказалось 45% из числа опрошенных). К новым

микрорайонам города принято относить те, чей порядковый номер начинается с 20, при этом, наибольшее количество негативных ответов получили самые современные микрорайоны (28-30, Елецкий, Университетский и Европейский). Таким образом, в глазах жителей юго-западная часть города выглядит наименее озелененной (рис. 15).

Сравнение результатов опроса жителей Липецка об озеленённости территории с картой NDVI в пределах урбогеосистем выявило, что, в целом, результаты опроса совпадают с данными NDVI. Действительно, лучше всего озеленены 1-12 микрорайоны, также можно выделить группу 13-19 мкр, имеющих меньшую озеленённость. Наиболее современные микрорайоны (30, Университетский, Европейский, Елецкий) обладают наименьшей степенью озеленённости и имеют сходные показатели с промышленными зонами.

Сравнить данные по микрорайонам Свободный Сокол, НЛМК, Опытная и Сырский рудник – проблематично, в связи с высокой гетерогенностью территории, однако относительно друг друга самыми озелененными микрорайонами оказались Свободный Сокол и Сырский рудник, хотя, по мнению липчан, Свободный Сокол считается мало озеленённой территорией. Интересно также, что район Тракторного Завода по результатам

опроса также обладает недостаточной озеленённостью, хотя с карты NDVI имеют средний показатель, а также агентства недвижимости считают его наиболее зеленым районом города (поскольку он удален от основных источников загрязнения и граничит с защитными лесопарковыми участками).

Озелененность городских территорий по мнению жителей Липецка

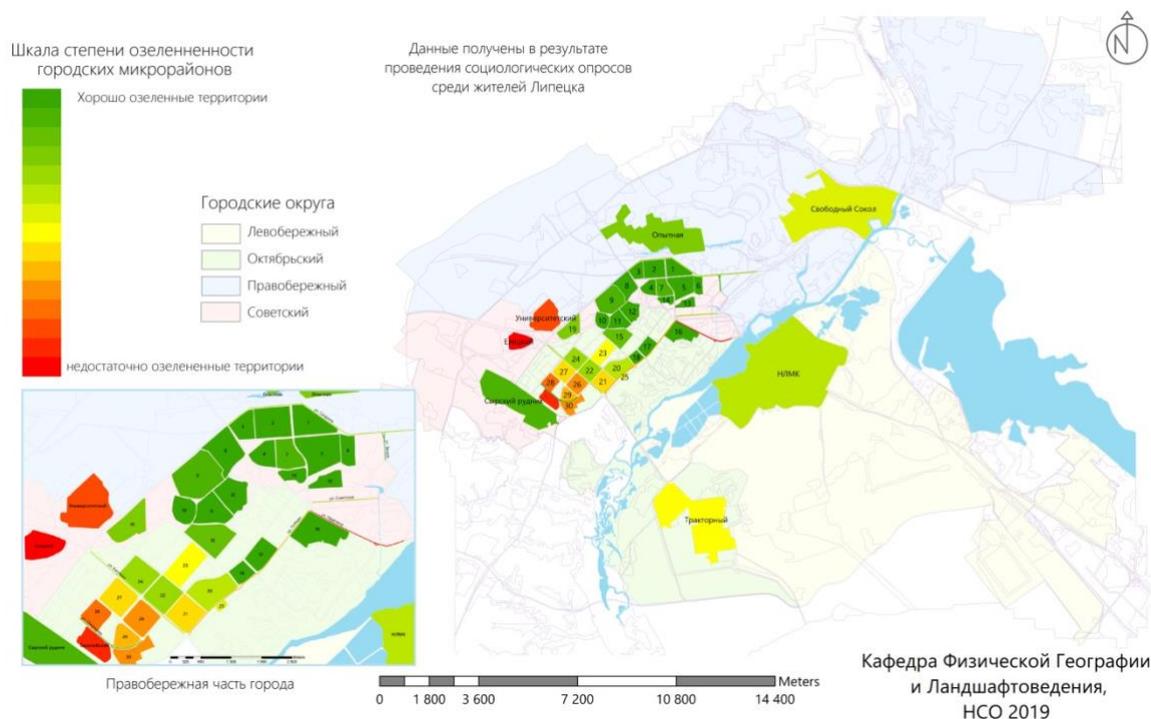


Рисунок 15. Озелененность городских территорий

4.8. Оценка эстетической функции

На основе анализа карт субъективной оценки эстетической привлекательности урбогеосистем участниками экспедиции были выявлены наиболее привлекательные и менее привлекательные территории Липецка (рис. 16).

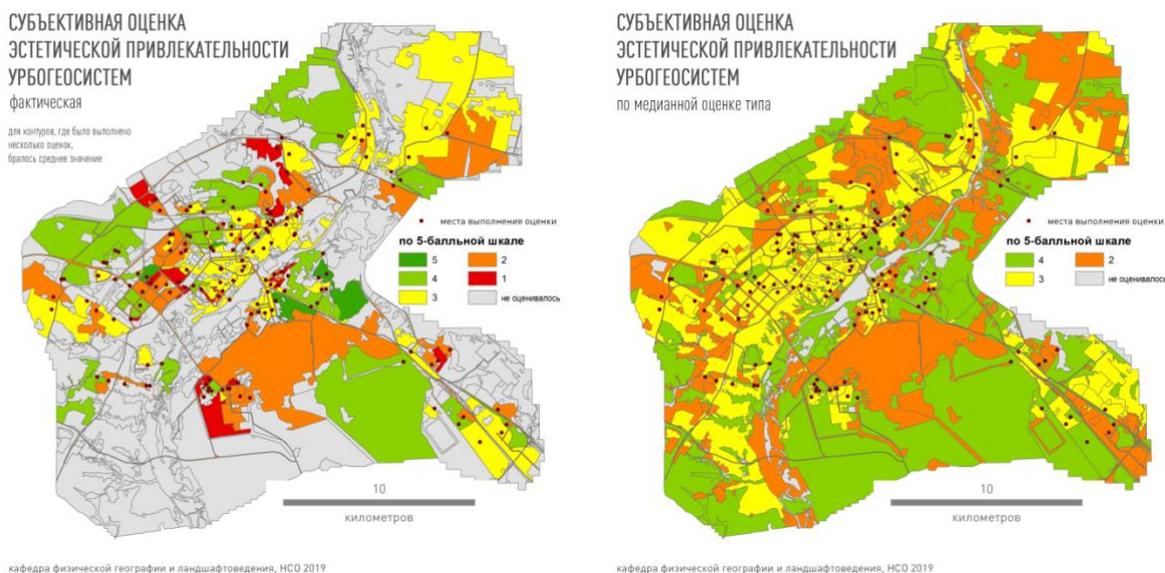


Рис. 16. Карта субъективной оценки эстетической привлекательности урбогеосистем

Особой эстетической привлекательностью в большинстве случаев обладают незаселенные территории с высокой степенью озелененности, где минимальна или отсутствует какая-либо застройка – поля и парки. Также высокий балл присвоен частной

малоэтажной озелененной застройке. В некоторых случаях предпочтение отдавалось территориям малоэтажной многоквартирной неозелененной застройки, а также территориям разрабатываемых карьеров и насыпей, что, вероятно, связано с особенностями их рельефа. Серым цветом на рисунке 16 выделены водные объекты, которые не были оценены. Наивысший балл (5) не был присвоен ни одной урбогеосистеме.

Наименее привлекательными являются территории, занятые пустырями, складскими объектами и многоэтажной застройкой. Высокая степень озеленённости хоть и является одним из решающих факторов эстетической привлекательности, но многоэтажность и высокая плотность застройки послужили «отталкивающими» факторами при оценке. Низкий балл эстетической привлекательности также присвоен территории НЛМК и его окрестностям.

Для сравнения субъективной оценки эстетической привлекательности, проведенной участниками экспедиции, с мнением жителей Липецка были построены карты распределения плотности фотографий за год и за летний и зимний периоды (рис. 17).

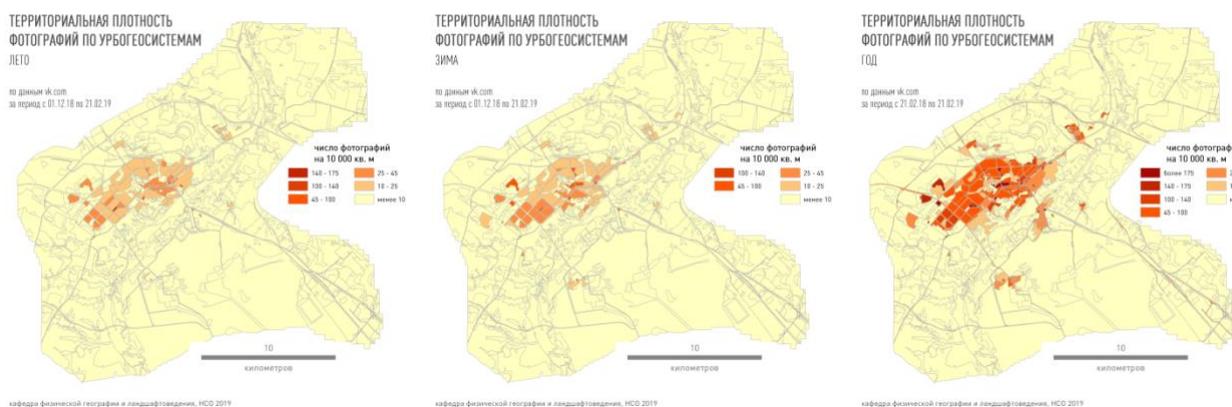


Рис. 17. Карты распределения плотности фотографий в летний и зимний периоды

Преобладающая часть фотографий сосредоточена в правобережном районе Липецка, где находится его общественный центр. В летний период плотность распределения фотографий значительно ниже, чем в зимний. Возможно, это связано с тем, что жители Липецка уезжают загород – то есть не проживают постоянно в летний сезон и не посещают общественные места города. Фотографии в основном сосредоточены в контурах урбогеосистем категории социальных и общественно деловых объектов, где есть крупные ТЦ, такие как «Универсальный», «Ривьера», «Октябрьский», «Европа» и бизнес-центр «Виктория», а также дворец спорта «Звездный» и спортивный комплекс «Сокол». Следует отметить, что они расположены в непосредственной близости от зеленых территорий города: Молодежного парка, Нижнего парка, лесопарка Свободный сокол и др. Среди парков наибольшее число фотографий сделано в Быхановом саду. В целом, основная масса фотографий сосредоточена в районе Нижнего парка, где особенно популярен Липецкий зоопарк.

В зимний период плотность фотографий выше, они также сосредоточены в правобережном районе, но в отличие от летнего сезона преимущественно в 21-29 мкр. города, а также в Елецком и Университетском мкр. Как уже упоминалось выше, плотность фотографий выше у крупных ТЦ и спортивных комплексов, что связано с социальной активностью жителей города.

Если говорить о годовом распределении фотографий, то наивысшая плотность наблюдается в районе Нижнего парка, Елецкого и Университетского микрорайонов, а также на территориях многоэтажной и малоэтажной гетерогенной застройки разной степени озелененности. В левобережном районе выделяются два микрорайона с высокой плотностью фотографий: Октябрьский и Новолипецк. В Новолипецком мкр. высокое число фотографий связано с наличием парка Metallургов, а также ТЦ «Квартал» и физкультурно-оздоровительным клубом. В Октябрьском мкр. высокая плотность фотографий может быть объяснена высокой степенью озелененности территории.

Если сравнивать субъективную оценку и распределение фотографий по плотности, то можно сказать, что оценка участников экспедиции в целом схожа с подобным распределением. Району Нижнего парка, 26, 27 и Елецкому мкр. присвоена удовлетворительная оценка, но мкр. Университет более низкая. Также высокие баллы нами были присвоены территориям многоэтажной и малоэтажной гетерогенной застройки, где плотность фотографий достаточно высока. В наивысшей плотности распределения фотографий и в высокой оценке участников экспедиции совпали озелененные территории – парки, а также Октябрьский мкр., где преобладает малоэтажная многоквартирная и частная застройка разной степени озелененности.

4.9. Оценка территориального самосознания (ментальные предпочтения)

На основе анализа ментальных карт и анкет были получены карты наиболее значимых районов, улиц и объектов, составляющие ментальный каркас территории (рис. 18). Наиболее престижными районами города считают «Центр», Университетский микрорайон, а также Елецкий микрорайон. Стоит отметить, что последний попал еще и в список «непрестижных» районов.

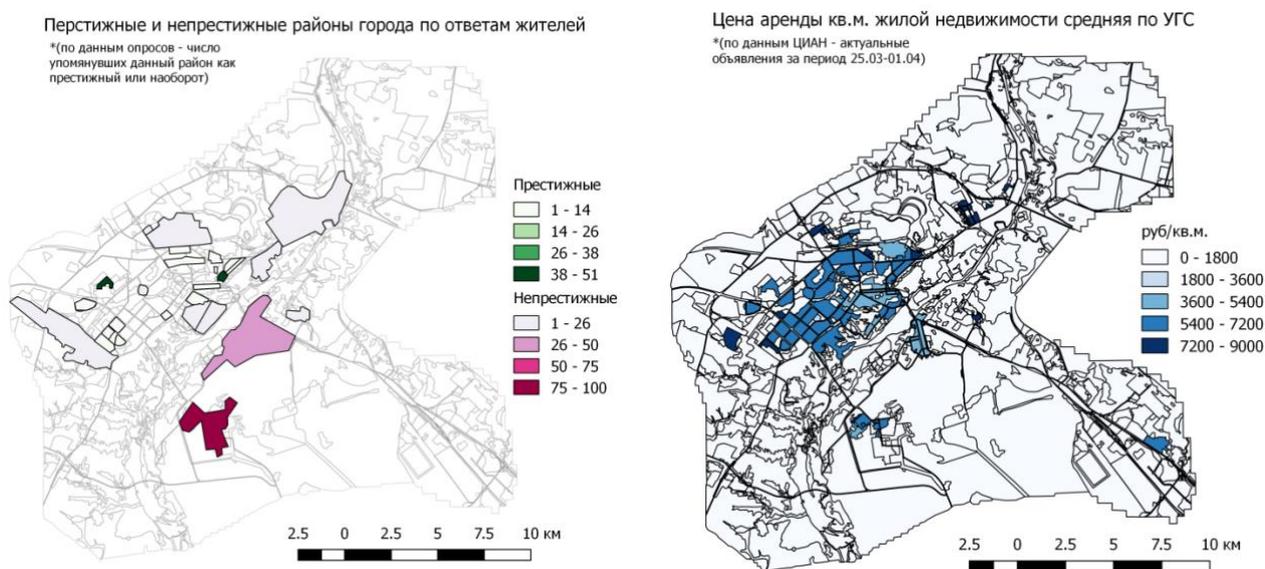


Рис. 18. Карты ментального каркаса города и средней стоимости аренды жилья

Все «престижные», по мнению жителей города, районы располагаются на правом берегу р. Воронеж. Условно их можно разделить на 2 группы. Большое скопление районов в Советском округе и оставшаяся часть районов в Октябрьском округе. Некоторые районы выделяются по улицам города: ул. Ленина, ул. Советская, ул. Космонавтов. Часто выделяют микрорайоны новой застройки: Университетский, Елецкий, 16, 18, 24, 28, 29 микрорайоны.

Отдельного внимания заслуживают районы Быханова сада и Железнодорожного вокзала. Предпочитаемость Быханова сада объясняется развитой инфраструктурой и хорошим озеленением. А вот район Ж/Д вокзала может выделиться только хорошей транспортной развязкой.

В списке «непрестижных» районов лидирует Тракторный, за ним идет Новолипецкий и Сокол. Свой статус они получили из-за близкого расположения к промышленной зоне. Эти районы одни из самых старых в Липецке, их тип застройки устарел, а сами здания обветшали, что создает неприятное впечатление. Также в списке «непрестижных» районов люди отмечают р-н Опытной станции, Сырского рудника и Елецкий микрорайон. Единичные случаи выделения районов в эту категорию: поселок Силикатный, Манеж, Ниженка, 10 мкр., Звёздный и так называемая Мудиловка, которая получила своё название из-за бессистемного расположения улиц.

Стоит отметить, что все районы Левобережного округа считаются непрестижными. В правобережном округе районы можно поделить на 3 группы, в которых они примыкают друг

к другу. Это район Сокола и Ниженки, Опытной станции и Звёздного, р-н Сырского рудника и Елецкий, которые не имеют общей границы, но находятся в непосредственной близости. Интересен тот факт, что «престижный» р-н Ж/Д вокзала и «непрестижный» р-н Опытной станции разделяют только железнодорожные пути. Также в непосредственной близости находятся такие районы разных статусов, как: 16 мкр. и Мудиловка, Сырский рудник и Европейский.

Основным фактором определения престижности является «возраст» района. Наиболее престижными считают новые районы. Но бывают и исключения, такие как микрорайон Звёздный, Манеж и Елецкий. За то ярко выделяется другой критерий, это непосредственная близость к промышленной зоне. К примеру, Звёздный расположен не далеко от трубного завода.

Сравнение со средней стоимостью аренды кв.метра жилья показывает, что в большинстве своем районы, пользующиеся у жителей «плохой славой» практически не имеют актуальных объявлений, и скорее всего относятся к частной застройке. Весь же центр города имеет схожую цену аренды и мало различается в представлениях горожан.

Глава 5. Сравнительный анализ ландшафтных функций Липецка и Тюмени.

В связи с продолжительностью кафедральных исследований городской среды в рамках концепции урбогеосистем, одной из задач экспедиции стало сравнение результатов оценки аналогичных функций территорий двух городов – Тюмени и Липецка.

Снег, как интегральный показатель антропогенной нагрузки территории, позволяет сравнивать экологическую ситуацию, сложившуюся в городах. Надёжным параметром оценки антропогенной нагрузки выступает рН. Водородный показатель снега г. Тюмени имеет меньший диапазон значений – от 5,8 до 8,2 и в среднем слабокислую реакцию среды – 6,65. В Липецке наблюдается противоположная картина – водородный показатель имеет значительную вариабельность – от 3,3 до 10, и в среднем слабощелочную реакцию среды – 8,1. Поскольку чистый снег, как и чистая дождевая вода, имеет слабокислую реакцию (□5,5), то можно говорить о том, что наиболее благоприятная экологическая ситуация наблюдается в Тюмени, а городская среда Липецка подвержена значительному загрязнению (оксиды металлов, автомобильные выхлопы).

Анализ разносезонных тепловых снимков позволяет сравнивать особенности микроклимата городов. В связи с тем, что Тюмень располагается в области континентального климата, а Липецк – умеренно-континентального, Тюмень характеризуется значительными амплитудами температур поверхности разных сезонов года по сравнению с Липецком. Большая амплитуда свойственна и самим урбогеосистемам Тюмени уже в рамках одного сезона года: июльская температура плотно застроенной части Тюмени отличается от фоновых залесённых поверхностей за чертой города на 7-10 градусов, тогда как Липецк – на 6-9 градусов; январская температура плотно застроенной части Тюмени отличается от фоновых поверхностей на 4-5 градусов, Липецк – на 2-3. Несмотря на то, что Липецк является крупным промышленным центром, тепловые аномалии промышленных зон имеют значительно меньший размах (52-54 градуса) в сравнении с аномалиями промышленных зон Тюмени (66-70 градусов). Как в Тюмени, так и в Липецке, была выявлена сильная связь летних температур с долей растительности и водных объектов. Если говорить про зимние температуры, то в Тюмени была выявлена связь между зимними температурами и классами урбогеосистем, а подобная связь в Липецке обнаружена не была. Примечательно, что в осенний период наблюдается отепляющий эффект водных объектов в Липецке, а в Тюмени ситуация в корне противоположна.

В обеих экспедициях в качестве метода исследований были использованы социологические опросы населения, которые проводились как в полевых условиях, так и с помощью интернет-анкетирования. Затем проводился камеральный анализ ответов респондентов. В Тюменской экспедиции уделялось внимание рекреационной и эстетической

функциям. В Липецком НСО к ним добавилась ментальная, основывающаяся также на методах соц. опросов.

Отличия методики оценки рекреационных пространств в Тюмени и Липецке состояли в следующем: в Тюмени методика оценки парковых пространств включала в себя физико-географические критерии, т.е. количество зеленых насаждений, наличие водоемов, площадь парка, а также данные, полученные в результате опросов и анализа интернет источников (это касается спортивных объектов, развитости инфраструктуры, популярности парка и его дополнительных функций, т.е. наличие в нем мест – центров притяжения людей). На основе этой легенды были выделены соответствующие группы парков. В Липецкой методике добавились такие пункты, как учет эстетической привлекательности рекреационных пространств, степень расчлененности рельефа, а также наличие дополнительных (геолого-геоморфологических, гидроминеральных и др. рекреационных функций территории), а оценка озелененности территорий производилась при помощи карт, классифицированных по значениям вегетационного индекса NDVI.

По итогам анализа рейтинга в Тюмени выяснилось следующее: некоторые из неиспользуемых в настоящее время территорий (по причине их неудобного расположения или замусоренности) получили высокий балл, а значит они потенциально благоприятны для использования и создания там обустроенных зеленых зон. Их привлекательность может быть связана как с неоднородностью рельефа, так и с разнообразием растительности. Также оказалось, что есть популярные пространства, обладающие удобным положением, но, при этом, совсем не озелененные.

По результатам анализа Липецких рекреационных пространств выяснилось, что среди них также высока доля территорий, потенциально обладающих высокой привлекательностью (расчлененный рельеф, высокая озелененность, большие площади), но неразвитых в инфраструктурном плане, а также выяснилось, что в отдаленных микрорайонах города существует острая нехватка в обустроенных рекреационных пространствах. Кроме этого, жители Липецка недовольны экологической ситуацией в городе и качеством развития инфраструктуры, чего не наблюдалось при исследовании в Тюмени.

На основе анализа опроса также была разработана методика, включающая перечисленные ранее критерии: процент деревьев и породный состав, этажность, плотность застройки, гетерогенность, степень вмешательства человека. На основе методики была составлена карта эстетической привлекательности урбогеосистем города. Были получены интересные выводы о том, что для тюменцев более привлекательными территориями оказались плотные многоэтажные застройки, а не дачные и озелененные. А также было выявлено отрицательное отношение к однообразной равноэтажной застройке и пустому пространству. Для липчан наиболее привлекательными территориями выступают среднезастроенные пространства с высокой степенью озеленённости и отсутствием визуального шума.

Заключение

В ходе зимней экспедиции была получена серия графических материалов – карта урбогеосистем города Липецка, ряд оценочных карт конкретных функций городских ландшафтов и были получены следующие результаты:

1) По результатам анализа классификации анализа ландшафтного покрова было выявлено, что наибольшей запечатанностью характеризуется территория комбината и новые жилые районы; урбогеосистемы в целом отражают собой основные характеристики рельефа (генетические этажи, крутизну, тип формы и эрозионную расчленённость) и ландшафтного покрова, так как дискретное осреднение по урбогеосистемам континуальных растров достаточно объективно отражает реальность; были выявлены наиболее дифференцируемыми по структуре районы – центр города и производственно-складские территории, и наименее – большие массивы лесов (в т.ч. пойменные), байрачные леса на правом берегу, озеленённые частные дома и возделываемые земли.

2) При оценке микроклимата городской среды было выявлено, что наименьшие показатели коэффициента корреляции температуры поверхности и различных факторов наблюдаются зимой; озеленённые территории и территории с наличием водных объектов выделяются отрицательным коэффициентом корреляции; положительный коэффициент корреляции характерен для пустырей и запечатанных территорий; наибольший коэффициент корреляции для амплитуды поверхностных температур характерен для открытых пространств (пустыри); среди всех типов урбогеосистем по температурам поверхности наиболее отличаются зелёные территории и водные объекты, характеризующиеся отрицательными аномалиями; в летний сезон значительно озеленённые урбогеосистемы с частной застройкой выделяются пониженными поверхностными температурами по сравнению с мало озеленёнными много- и малоэтажными плотно застроенными территориями; наибольшая амплитуда поверхностных температур характерна для открытых пространств (поля и пустыри).

3) При оценке пылевого загрязнения атмосферы было выявлено, что показатели pH талой воды (исключая пробы с примесями) варьируются от 3,3 до 9,9, имея преимущественно нейтральную реакцию среды (средний pH по городу – 7,1), полученные диапазоны значений пылевой нагрузки обусловлены выбросами автотранспорта (особенно заметны максимумы в центре города) и промышленных предприятий («НЛМК», «Липецкцемент») в атмосферу, с максимальными показателями, достигающими 1,4 г/м²*сут; средний показатель загрязнения по городу – 0,26 г/м²*сут; дисперсионный анализ выявил отсутствие достоверных различий в содержании пыли в снеге по классам УГС; анализ снежного покрова показал, что территория г. Липецка неравномерно подвержена влиянию зимних процессов; наибольший вклад в значение снегоопасности оказывает снеготранспортируемость; в условиях недостатка финансирования и слабо развитой системы уборки и вывоза снега, в большинстве УГС затрудняется пешая проходимость, падает эстетическая привлекательность, растут опасность кровельная наледоопасность и снеговые нагрузки, а в весеннее время таяние снега может привести к локальному подтоплению таких УГС.

4) По результатам оценки рекреационных функций было установлено, что жители Липецка предпочитают места семейного отдыха; самыми популярными рекреационными пространствами, обладающими большинством рекреационных функций являются парки: Нижний, Победы, Быханов сад и Верхний; при этом 2 последних в основном выполняют функции, посвященные семейному отдыху, в то время, как первые, благодаря своей площади обеспечивают большее количество функций; в целом липчане не довольны состоянием городской инфраструктуры, а также экологической ситуацией в городе; при этом нехватку озелененности испытывает лишь половина опрошенных; наименее озелененной территорией, по мнению жителей, считается юго-западная часть Липецка (Октябрьский район), в которой размещены новые микрорайоны города; меньше всего горожане посещают места спортивного рекреационного отдыха, но, при этом, испытывают нехватку в благоустроенности подобных мест.

5) По результатам оценки эстетических функций были сделаны следующие выводы: местные жители отдавали предпочтение высокоэтажной, средней по плотности гомогенной застройке высокой степени озелененности с отсутствием визуального шума; в ходе полевых исследований участниками были присвоены баллы эстетической привлекательности разным классам урбогеосистем; наивысшая плотность в распределении фотографий, сделанных жителями г. Липецк, наблюдается в районе Нижнего парка, Елецкого и Университетского микрорайонов, а также на территориях многоэтажной и малоэтажной гетерогенной застройки разной степени озелененности.

6) Результатом анализа ментальных карт стали следующие выводы: центр города в «сознании» жителей медленно переместился из исторического центра к новым микрорайонам; в результате к западу от центрального рынка образовался топонимический вакуум, формирующий несвязность городского пространства между историческим центром и новыми районами; заполнение этого вакуума может быть связано с созданием линейно

вытянутой рекреационной зоны вдоль Каменного Лога, такой проект мог бы способствовать не только интеграции пространства, но и исторической памяти жителей; миграцию центра можно связать с влиянием НЛМК, так как новые районы строились всё дальше и дальше на запад от него; НЛМК в сознании жителей, с одной стороны, противопоставляется городу, а с другой, признается в качестве символа, играющего значительную роль; дальнейшая экологизация промышленных районов позволила продвинуться на пути решения самоидентификации жителей города.

Полученные результаты можно рекомендовать к использованию при планировании и обустройстве городских пространств; также они являются важным шагом в направлении развития экосистемных услуг, материальная оценка которых на данный момент представляет большие трудности. Концепция урбогеосистем является весьма перспективной теоретической разработкой в этой области.

Студенты и преподаватели МГУ им. М.В. Ломоносова выражают самую искреннюю благодарность сотрудникам и студентам Липецкого Педагогического Государственного Университета за помощь и содействие в проведении городских исследований.

Литература

Балдина Е.А., Грищенко М.Ю. Методика дешифрирования разновременных космических снимков в тепловом инфракрасном диапазоне // Вестник Московского университета, Серия Географическая, 2014. - № 3. - С. 35–42.

Документация API Вконтакте [Электронный ресурс] URL: <https://vk.com/dev/photos.get> (дата обращения 27.02.2019)

Климов Д.С., Климов И.С., Карандеев А.Ю., Земдянухин А.И. Природа в городе Липецке и ее охрана – Липецк: Веда социум, 2013 – 120 с.

Национальный атлас почв РФ soilatlas.ru

Самсонов Т.Е. Визуализация и анализ географических данных на языке R. М.: Географический факультет МГУ, 2017. DOI: 10.5281/zenodo.901911

СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» (актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*)

Bastian, O., Grunewald, K., Syrbe, R.-U., Walz, U., Wende, W., 2014. Landscape services: the concept and its practical relevance. *Landscape Ecology* 29, 1463–1479. <https://doi.org/10.1007/s10980-014-0064-5>

Costanza, R., de Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., Farber, S., Grasso, M., 2017. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services* 28, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>

Estoque R. C., Murayama Y. 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. – Т. 56. – С. 205-217.

Estoque, R.C., Murayama, Y., Myint, S.W., 2017. Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: An urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. *Science of The Total Environment* 577, 349–359. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.195>

Haase, D., Larondelle, N., Andersson, E., Artmann, M., Borgström, S., Breuste, J., Gomez-Baggethun, E., Gren, Å., Hamstead, Z., Hansen, R., Kabisch, N., Kremer, P., Langemeyer, J., Rall, E.L., McPhearson, T., Pauleit, S., Qureshi, S., Schwarz, N., Voigt, A., Wurster, D., Elmqvist, T., 2014. A Quantitative Review of Urban Ecosystem Service Assessments: Concepts, Models, and Implementation. *AMBIO* 43, 413–433. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0504-0>

Pickett, S.T.A., Cadenasso, M.L., Childers, D.L., McDonnell, M.J., Zhou, W., 2016. Evolution and future of urban ecological science: ecology in, of, and for the city. *Ecosystem Health and Sustainability* 2, e01229. <https://doi.org/10.1002/ehs2.1229>

Xu H. A new index for delineating built-up land features in satellite imagery // *International Journal of Remote Sensing*. – 2008. – Т. 29. – №. 14. – С. 4269-4276.