

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА ЗЕЛЕННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ГРОЗНОГО)

© Л. А. Петров, Е. Ю. Колбовский

МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва

Аннотация. Предложен инновационный подход к формированию зеленой инфраструктуры города на основе современных методов ГИС-моделирования. Морфология – пространственная структура зеленых насаждений – анализируется инструментами Morphological Spatial Pattern Analysis программного комплекса GuidosToolbox 2.9. Основные функции зеленой инфраструктуры оцениваются в рамках специально созданной на основе открытых растровых и векторных данных модели г. Грозный. Полученные результаты позволяют сформулировать наиболее актуальные направления формирования экологического каркаса города.

Ключевые слова: зеленая инфраструктура города, морфологический пространственный анализ, экологический каркас.

Для цитирования: Петров Л. А., Колбовский Е. Ю. Современные методы пространственного анализа зеленой инфраструктуры урбанизированных территорий (на примере города Грозного) // Грозненский естественнонаучный бюллетень, 2020. Том 5. № 3 (21). С. 39-51. DOI: 10.25744/genb.2020.20.3.004

Введение

Прошедшие два десятилетия нового века были временем широкого использования ландшафтных метрик, так или иначе связанных с методологией Fragstat (MacGarigal). Однако попытки их прямого применения для оценки зеленой инфраструктуры (ЗИ) натолкнулись на препятствия, неоднократно отмечавшиеся уже и в других сферах использования, связанные со сложностью интерпретации результатов. Одновременно в рамках ландшафтной экологии [3, 8] осуществлялась разработка альтернативных методов, базирующихся на иной, т.е. не «патчевой» математике, среди которых выделились и получили распространение алгоритмы, основанные на теории графов.

Теория графов позволяет рассматривать элементы ЗИ как сеть, состоящую из более-менее обширных «узлов» – областей естественной растительности и открытых пространств – и линейных связей-коридоров между ними [5, 6]. Если определение «размерности» элементов ЗИ вполне корректно может быть проведено инструментами Fragstat, то в центре внимания MSPA оказывается оценка сложно формализуемого качества соединенности-вза-

имосвязанности (coherence), для параметризации которого предложены различные индексы, в том числе индекс сочленения и вероятности сочлененности. Считается, что MSPA обеспечивает гибкий подход к анализу пространственных моделей для построения сети [7].

Для городов Северного Кавказа оценка пространственной структуры зеленых насаждений – актуальная задача, напрямую связанная с представлениями о потенциале и качестве экосервисных услуг различного типа – средостабилизирующих, обеспечивающих, рекреационных. Грозный – современный город, переживающий новый этап градостроительного развития, важнейшей составляющей которого выступает формирование зеленой инфраструктуры. Как и повсюду в мире, сегодня устройство системы зеленых насаждений во многом диктуется потребностью оформления общественных пространств, трендами «дизайна» парков и модой на экзотичные элементы озеленения. В этих условиях особенно важно, на наш взгляд, попытаться оценить эффективность возникающей зеленой инфраструктуры. В статье предпринята попытка реализовать такую оценку с использованием современных средств ГИС-моделирования.

Подходы и методы. Для оценки зеленой инфраструктуры (ЗИ) применены методы геоинформационного моделирования, так называемые «морфологический анализ пространственных паттернов» Morphological Spatial Pattern Analysis – MSPA [9], а также обычные процедуры геообработки данных. MSPA-анализ осуществлялся в программном комплексе GuidosToolbox (GTB) 2.9, остальные операции в ГИС ARCMAP 10.5. В качестве исходных данных привлекались открытые общедоступные данные, а именно – растр tree-cover портала Global Forest Change [4], а также данные Open Street Map (на Чеченскую Республику), распространяемые в РФ по лицензии компанией NexGIS. На первом этапе была проведена оценка пространственной структуры ЗИ Грозного в программе GuidosToolbox, определялись параметры пространственной структуры и фрагментации насаждений. На втором этапе в рамках специальной модели, созданной в ArcMAP и включающей объекты, полученные из стандартных слоев OSM посредством специальной системы запросов, была проведена классификация элементов ЗИ и осуществлялась оценка их параметров и свойств. Ниже представлены основные результаты обоих этапов моделирования.

1. Пространственная структура элементов ЗИ Грозного

Процедура **Accounting**. ГИС GTB позволяет дифференцировать все фрагменты ЗИ на 6 классов в соответствии с принятыми (экспер-

том) пороговыми значениями. Инструмент нуждается в настройке в соответствии с размерностью пикселя: в нашем случае это 22 м (см. табл. 1). Исходя из масштаба данных и размерности ЗИ, программа разбивает всю совокупность объектов на 6 классов.

Что нового мы узнаем, используя процедуру **Accounting**? Резюме расчета показывает, что в границах города расположено в общей сложности 1470 объектов, общая площадь которых составляет 5103,1 гектара; это любые незапечатанные территории, содержащие в контуре древесную растительность выше 5 м. Далее приводятся сведения о среднем (71 га) и медианном (3 га) значениях, поскольку медиана лучше подходит для асимметричных распределений, очевидно, что медиана объясняет высокий вклад небольших участков (свыше 90 %) и является гораздо лучшим представлением типичного размера озелененного участка.

Наиболее используемым инструментом программного комплекса GTB является морфологический пространственный анализ – MSPA-анализ. Входным файлом анализа является растр с двумя кодовыми значениями, одно из которых присваивается объектам «переднего плана» (в нашем случае – это объекты ЗИ), другой – объектам «фона» (запечатанным поверхностям). На выходе процедуры – типологические классы пространственной структуры, характеризующие в совокупности важнейшие свойства размерности, связности-соединенности и изолированности объектов (см. табл. 2). Результаты анализа выдаются в виде карты (формат Color-

Таблица 1

Размерность и присутствие шести классов элементов ЗИ Грозного

Класс ЗИ	Размерность класса (ha)	N объектов	% от общего числа объектов	N пикселей	S, ha	% общей площади ЗИ
1	менее 1,98	1346	91,56	7565	366,15	7,17
2	1,98-19,84	102	6,94	13 798	667,82	13,09
3	19,8-198,44	18	1,22	22 033	1066,40	20,90
4	198,44-992,00	3	0,20	21 048	1018,72	19,96
5	992,00-1785,57	0	0,00	0	0,00	0,00
6	более 1785,57	1	0,07	40992	1984,01	38,88

Характеристика выходных классов MSPA-анализа

N п/п	Класс (англ)	Класс (предлагаемый русс. термин)	Характеристика для выделяемых элементов ЗИ
1	Core	Ядро	Внутренние части (без «краев») относительно крупных ареалов («ядер») ЗИ
2	Edge	Край	Периферийная полоса по периметру ядра ЗИ, ширина которой задается опцией Edge Width в пикселях
3	Core-Opening	Разрыв	Перфорация, небольшой по площади разрыв внутреннего ареала ядра, со всех сторон окруженный ЗИ
4	Perforation	Буфер	Периферийная полоса по периметру внутреннего разрыва ЗИ, ширина которой задается опцией Edge Width в пикселях
5	Border-Opening	Залив	Перфорация, разрыв в краевой части ядра ЗИ, связанная с запечатанной площадью
6	Islet	Патч	Небольшие по площади элементы ЗИ, изолированные от других элементов (буквально – «островки»)
7	Opening	Запечатанные поверхности	Крупные ареалы, лишенные ЗИ
8	Branch	Ветвь	Патч, соединенный одной стороной с краем ядерного ареала
9	Bridge	Коридор	Элемент ЗИ (чаще вытянутой в одном направлении формы), соединяющий между собой два любых ядерных ареала
10	Loop	Петля	Элемент, причленяющий к ядру небольшое запечатанное пространство
11	Back-ground	Фон	Пиксели заднего плана, окруженные со всех сторон также пикселями заднего плана на расстояние, превышающее указанное

тар) и сводной таблицы, в которой указываются значения отдельных категорий.

Важно отметить, что данная процедура не подлежит «бездумному» использованию: эксперт должен задавать размер «края» исходя из задач моделирования и качества используемого раstra. Этот параметр заводится в разделе MSPA Setting, в закладке Edge Width [pixel]; по умолчанию там перечислены значения от 1 до 10 пикселей, например, если, как в нашем примере, размер пикселя 22*22 м, то для значения 1 пиксель размер буферной зоны составит 22 м, 5 пикселей – 110 м и т.д. Пользователь может попробовать различные значения в зависимости от цели моделирования, добиваясь необходимого результата (см. рис. 1).

При изменении размеров «опушки» модель демонстрирует закономерные измене-

ния: увеличенный «край» съедает внутренние ареалы ядра (переводя небольшие ядра в патчи), тем самым увеличивает число патчей («островков»). Часть внутренних разрывов ядер переходит в запечатанные поверхности, ядра трансформируются в «кружево» мостов и ветвей. Таким образом, общее число ядер уменьшается с увеличением краевой зоны.

В «классической» теории экологического каркаса предполагается, что размер буферной зоны базовых резерватов должен составлять от 120 до 200 м: именно в пределах такой полосы гарантированно «гасятся» все виды антропогенного воздействия – загрязнение воздуха, накопление техногенных элементов в депонирующих средах, физические поля (шум, вибрация) и т.д. Однако в условиях современного города с повышенным спросом на землю и вы-

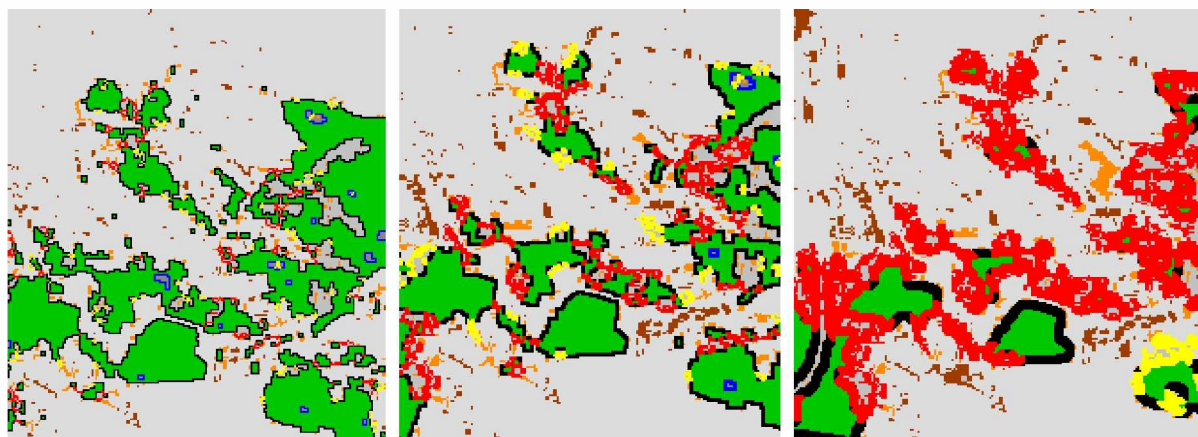


Рис. 1. Результаты MSPA-анализа при различных параметрах краевой зоны (1 пиксель – 22 м, 2 пикселя – 44 м, 5 пикселей – 60 м)

сокую плотность застройки редко представляется возможность иметь буферные зоны более 20-40 м, поэтому в данном случае был выбран размер краевой зоны в два пикселя (44 м, см. рис. 2).

ГИС GTV 2.9 позволяет получить и другие метрики, полезные для экологического планирования и градостроительного проектирования (см. рис. 3). К ним относятся оценка фраг-

ментации через понятие энтропии (Entropy) и мультимасштабного анализа (FAD), оценка связности (Contagion) и так называемых «зон влияния» (Influence) различных объектов, доминирование (Dominance).

Согласно полученным результатам, можно сделать заключение, что основу ЗИ Грозного составляют ядра средних размеров (CORE (m)), соединенные коридорами

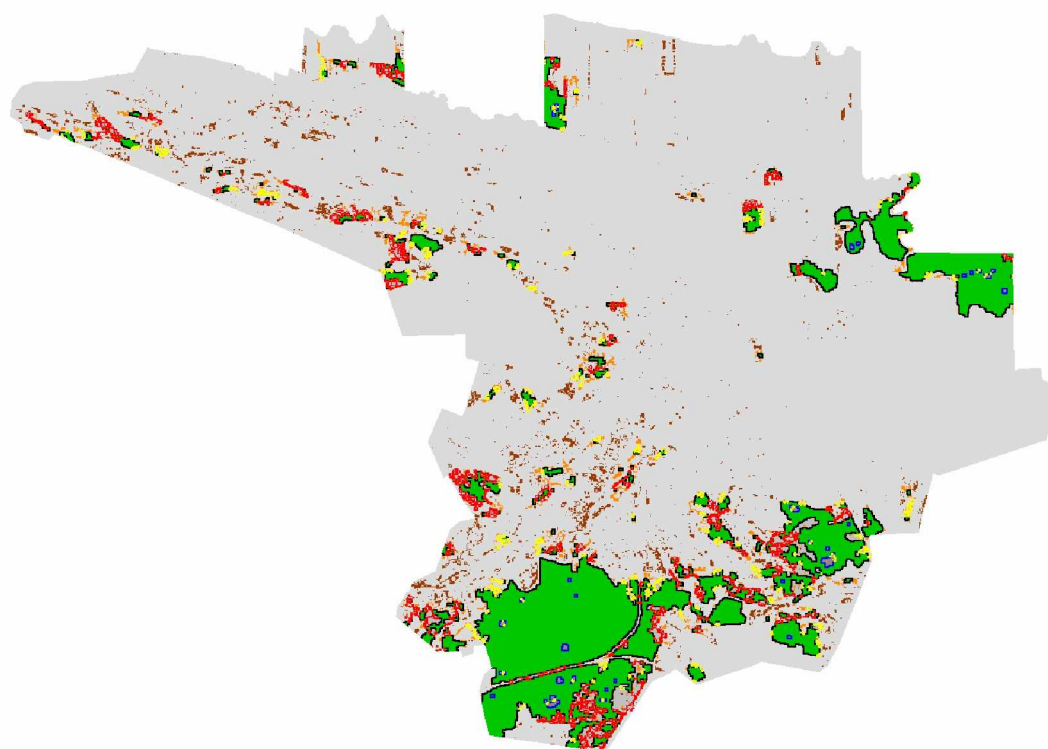


Рис. 2. Результаты MSPA-анализа для города Грозного с параметрами «края» 44 м и включенным «переходом»

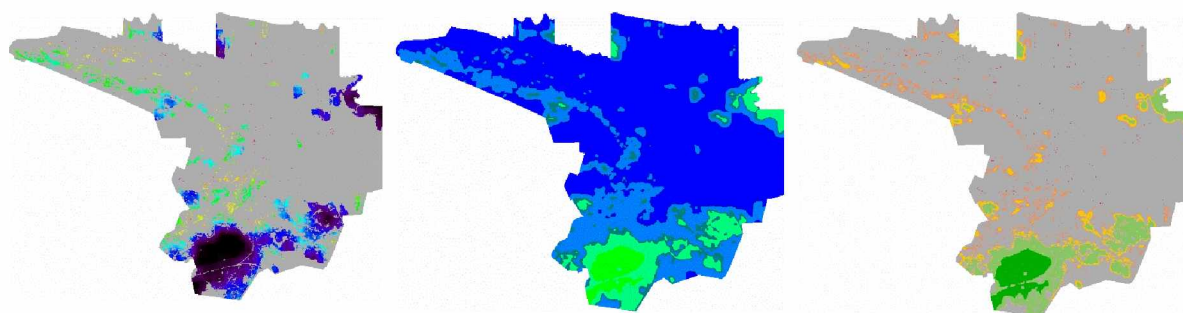


Рис. 3. Метрики связности (Contagion), доминирования (Dominance) и мультимасштабного анализа для Грозного (FAD)

различной конфигурации (BRIDGE). Перфорированность ядер относительно невелика, т.е. они сохраняют свою целостность. Но соединяющих элементы потенциальных экокоридоров относительно немного (около 6%), примерно столько же «петель» (LOOP), которые представляют собой незавершенные коридоры и которые можно рассматривать в качестве резерва для организации полноценных связующих элементов формируемого экокаркаса города. Следует также обратить внимание на значительную площадь отдельных изолированных фрагментов ЗИ (ISLET) – патчей ЗИ.

2. Анализ ситуации землепользования в проекции на элементы зеленой инфраструктуры

Перспективы формирования экологического каркаса города непосредственно связаны с правовым обеспечением и соответствием между использованием земель и легитимированными категориями Земельного кодекса РФ. Для оценки ситуации были отобраны (в качестве основных элементов зеленой инфраструктуры г. Грозный) 6 крупных участков с древесно-кустарниковым покровом, идентифицированные в рамках предыдущего анализа как «ядерные» области (core) и как прореженные лесные массивы (perforated). В Грозном все подобные объекты располагаются по краям городской черты, притом преимущественно в южной, наиболее возвышенной части города (рис. 4). Среди них выделяется Чернореченский заказник и его кластер, отделенный от основной территории федеральной

трассой Р-217 «Кавказ», основная часть территории которого, согласно Публичной кадастровой карте, относится к защитным лесам; небольшая часть отведена для размещения объектов лесного фонда, участок Чернореченского заказника предназначен для рекреационных целей, а северо-восточный угол кластера, примыкающий к автотрассе, закреплен для ведения сельского хозяйства. Другой объект подобного рода – это Тыртова роща долинного комплекса Сунжи, кадастровый участок которой предназначен для размещения лесной растительности.

Сложная кадастровая ситуация землепользования отмечается для территории горы Суьйр-Корт (рис. 5). Несмотря на то, что основная часть территории относится к категории защитных лесов, в северной части рассматриваемого участка имеются три кадастровых выдела, предназначенных для ведения сельского хозяйства, а в западной части вершинной поверхности отведена площадка для строительства радиовещательной передающей станции.

Неблагополучная ситуация обстоит с массивом древесно-кустарниковой растительности на правобережье Грозненского моря (рис. 5), так как для большей части его территории межевание не было проведено, поэтому не определены категории землепользования. В то же время один из участков, расположенный в восточной части этого массива, предназначен для недропользования, а другой относится к категории земель для жилой застройки. В связи с этим имеется вероятность утраты данной экосистемы в результате последующей эксплуатации территории.

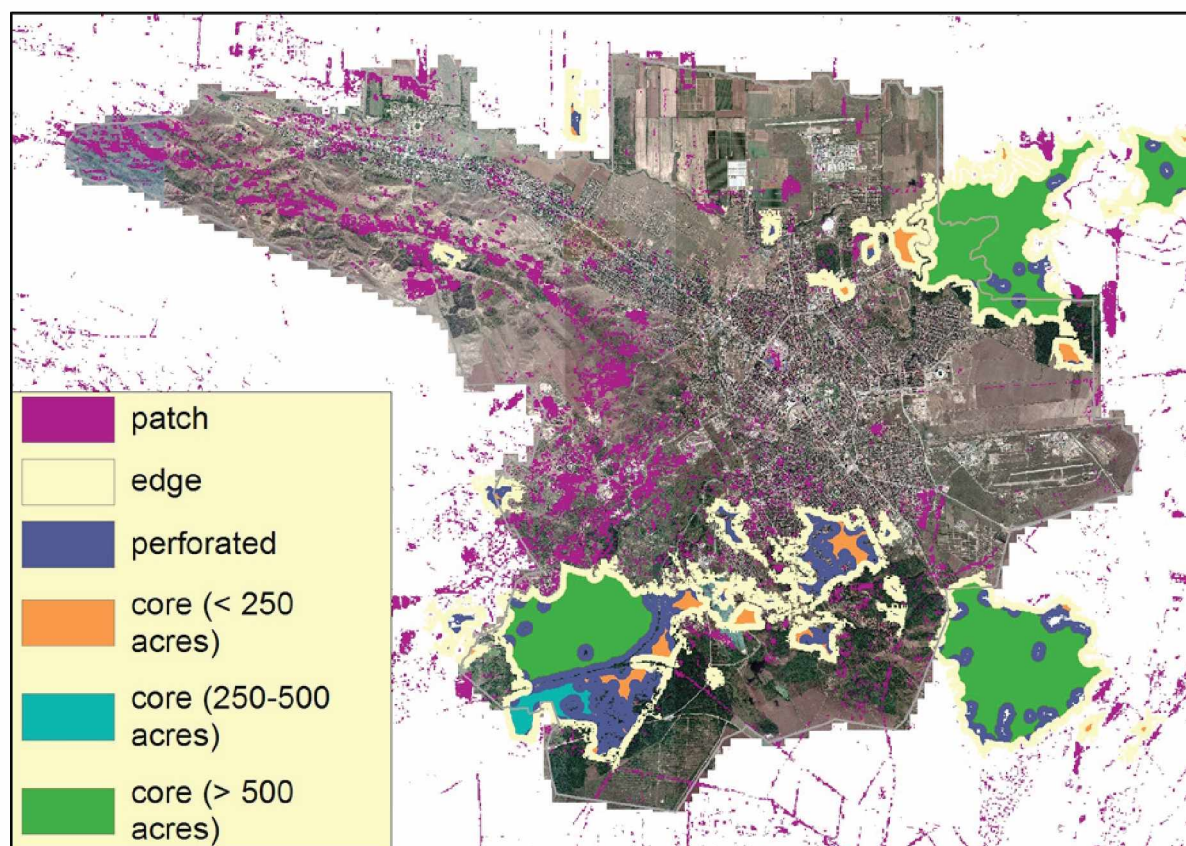


Рис. 4. Пространственное расположение ключевых элементов зеленой инфраструктуры г. Грозный



Рис. 5. Расположение ключевых элементов зеленой инфраструктуры южной части г. Грозный на космическом снимке сервиса «Яндекс. Карты», дата запроса: 22.06.2020 г.

3. Оценка типов экосистем средствами моделирования по данным Open Street Map

Данные об элементах городской зеленой инфраструктуры были получены на основе полуавтоматизированного анализа векторных слоев Open Street Map. Были вовлечены все пространственные объекты, которые представляли интерес в качестве природно-антропогенных ландшафтов. В результате было выделено две группы экосистем: замкнутые (сомкнутые) и открытые. К первой группе элементов относятся азональные лесные сообщества, насаждения бульваров, древесные насаждения частного сектора, защитные лесополосы, внутриквартальная древесная растительность, православные кладбища, парки, пойменные древостои, уличные насаждения и фруктовые сады. К открытым группам экосистем определены вырубки, пространства аллей, травостои частного сектора, луга, открытые внутриквартальные пространства, открытые пустоши, скверы, пойменные луга, газоны, сельскохозяйственные поля, зарастающие пустоши, открытые спортивные сооружения и болота (рис. 6). Также можно выделить категорию объектов сине-зеленой инфраструктуры, приуроченных к аквальному комплексу: водотоки, водоемы и фонтаны, однако в последующем анализе эти объекты не будут рассматриваться.

Следует отметить, что практически все элементы зеленой инфраструктуры расположены на периферии города и представляют собой азональные типы ландшафтов на фоне типичных ландшафтов разнотравно-злаковых степей: либо пойменные дубравы (Тыртова роща), либо древесно-кустарниковые формации отдельно стоящих вершин и холмистых возвышенностей правобережья Сунжи в пределах ландшафтного района Чеченской подгорной равнины (юг города) – Чернореченский заказник, вершина Суьйр-Корт («Вечерняя гора»).

Азональные леса, как можно заметить по картосхеме, расположены по периферии города на ландшафтных местоположениях, непригодных для интенсивной хозяйственной эксплуатации: это либо вершинные крутые поверхности с развитой эрозионной сетью (лес-

ные массивы Сунженского хребта, отдельных вершин Чеченской подгорной равнины), либо леса в пределах долинного комплекса р. Сунжа, лимитирующим фактором освоения которых являются паводковые разливы рек.

Парки имеют маленькие площади, трудно различимые в масштабе приведенной картосхемы, и сосредоточены внутри городской черты. Скверы, равно как и парки, также имеют вышеприведенные пространственные характеристики, однако отличаются от своей альтернативы более высокой долей «запечатанности» почвенного покрова (мощением, асфальтом) и наличием преимущественно травянисто-кустарникового типа растительного покрова.

Древесные насаждения частного сектора расположены в районах с застройкой коттеджного типа рядом с водотоками, по всей вероятности, древесный растительный покров здесь присутствует в качестве естественного механизма регулирования стока. Тем не менее, стоит учитывать, что данные экосистемы подразумевают приватный вид использования, а не общедоступный, поэтому подобные экосистемы не играют роли в генерации средоформирующего потенциала. Аналогично ситуация обстоит и с «лугами» частного сектора, которые фактически представляют собой открытый тип земельного покрова с различными видами частного природопользования (огородничество, выращивание сельскохозяйственных культур, выпас скота или для эстетических целей).

Наиболее крупной по площадному распространению экосистемой являются азональные леса (более 34 кв. км). Вторыми по данному показателю являются сельскохозяйственные угодья (24 кв. км), после них – открытые (15 кв. км) и зарастающие пустоши (5 кв. км). 3,5 кв. км приходится на фруктовые сады, на луга частного сектора и водоемы приходится по 2 кв. км на каждый. Остальные виды экосистем характеризуются незначительными (менее 2 кв. км) суммарными ареалами.

В плане соотношения групп сомкнутых и открытых экосистем перевес наблюдается в сторону открытых экосистем – на их долю приходится 51,6% от общей площади всех экосистем г. Грозный. Закрытые экосистемы

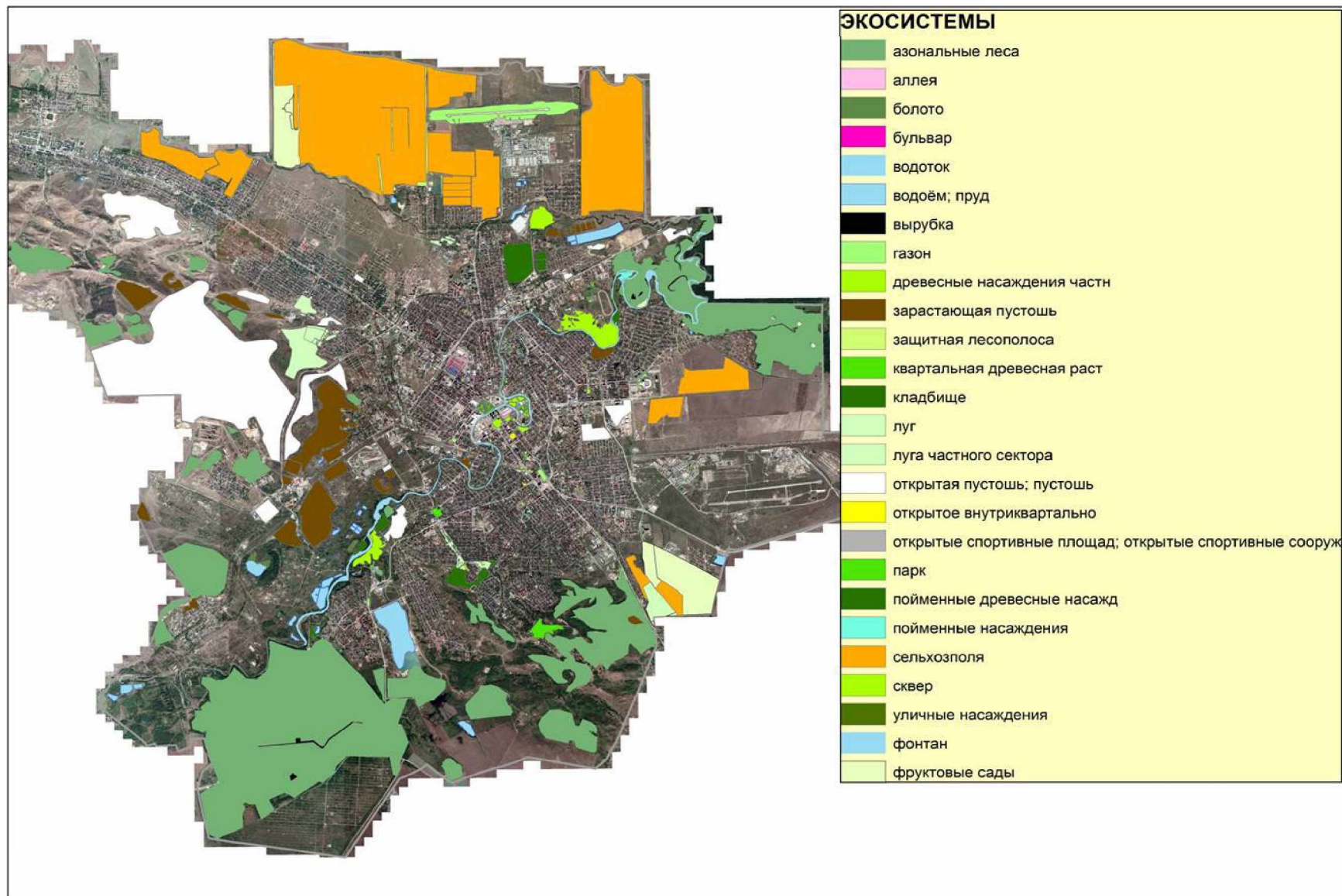


Рис. 6. Картограмма типов экосистем г. Грозный

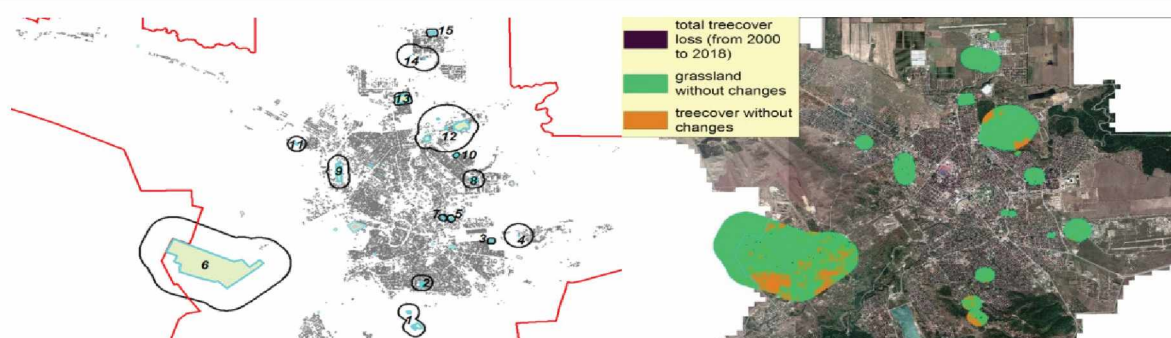


Рис. 7. Расположение промышленных площадок и соответствующих им санитарно-защитных зон (слева); динамика изменений растительного покрова санитарно-защитных зон г. Грозный по растру Hensen за период 2000-2018 гг. (справа)

составляют 44,8%, а элементы водно-голубой инфраструктуры занимают 3,6%.

4. Анализ и оценка барьерной функции элементов зеленой инфраструктуры

На данном этапе работы производилась оценка степени покрытия территории санитарно-защитных зон промышленных предприятий древесно-кустарниковыми насаждениями. Использованы открытые данные о размещении промышленных объектов, в ArcMAP 10.5 инструментом «буфер» согласно САНПИН 2.2.1.\2.2.1 были построены санитарно-защитные зоны различной размерности (рис. 7). С точки зрения динамики изменений растительного покрова на территориях санитарно-защитных зон за временной интервал с 2000 по 2018 гг. можно сделать выводы, что существенных изменений не происходило, однако ни на одном из участков не было приращения лесопокрытыми площадями. По показателю озелененности территорий санитарно-защитных зон (рис. 7) ни одна из 15 СЗЗ не соответствует САНПИН (везде значения менее 40%).

5. Конфигурирование экологического каркаса на основе выявленных ранее параметров размерности и фрагментированности элементов зеленой инфраструктуры

На данном этапе геоинформационного моделирования экологического каркаса (ЭК) г. Грозный на основе полученных данных вну-

три городской черты выявлено 8 категорий с различными средостабилизирующими функциями (рис. 8): базовые резерваты (регулирование общего состава и качества городской атмосферы, сохранение условий формирования стока), ядра (сохранение биоразнообразия), межмагистральные клинья (сохранение общего баланса освоенных и неосвоенных земель, обеспечение связи с внешней природной периферией города), экологические коридоры (обеспечение связности внутри элементов ЭК), парковая сеть города (рекреация), буферные насаждения (изоляция промышленных очагов загрязнения), уличные примагистральные насаждения (защита от автомобильных выбросов), внутриквартальные насаждения, обеспечение комфортной среды проживания) [1].

Для города Грозный важной задачей является сохранение и реконструкция объектов историко-культурного наследия, а также воссоздание незапечатанных застройкой ареалов для их восприятия. Можно говорить о формировании нового современного городского ландшафта, событийными и сакральными центрами которого, по всей видимости, будут городские мечети и ныне заброшенные христианские кладбища (рис. 8). Помимо этих объектов, важную культурно-географическую функцию также представляет мемориал «Аллея Славы» и Барский дом, построенный английскими нефтепромышленниками. Фруктовые сады в северной части города также могут представлять ценность в качестве современного культурного ландшафта.

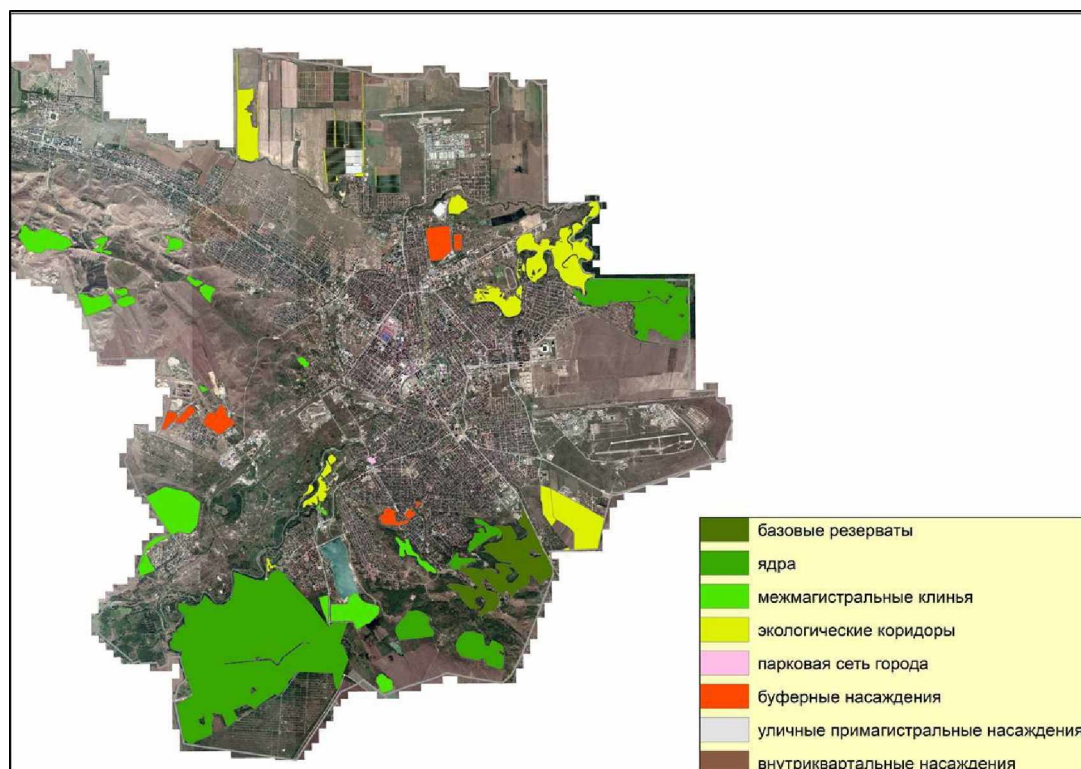


Рис. 8. Элементы экологического каркаса г. Грозный

6. Оценка рекреационной функции зеленой инфраструктуры: анализ парковой сети города

Для анализа рекреационных экосистемных услуг были выбраны 4 типа экосистем: базовые резерваты; ядра; парковая сеть города; некоторые межагистральные клинья (леса Сунженского хребта). Их рекреационная освоенность, насколько можно судить по имеющимся источникам, крайне неравнозначна.

Единственный на исследуемой территории биосферный резерват – вершина Суьйр-Корт, находится в юго-восточной части города. Согласно данным дистанционного зондирования территория вершины представляет собой сильно расчлененную эрозионными формами залесенную природную территорию, которая не обустроена для рекреационных занятий. «Ядерная» территория Чернореченского заказника, согласно ссылкам результата интернет-запроса «Чернореченский лес Грозный» посредством сервиса Google Images, используется в основном для рыбалки в родниковых реках и гораздо реже для пассивной и активной рекреации. Объект представляет ценность как

уникальная для данной территории замкнутая экосистема со значительным видовым разнообразием лиственных пород древостоя, а также как объект для возможности личного уединения. Межагистральный клин лесов Сунженского хребта раньше был вовлечен в территорию нефтепромышленного освоения, однако сейчас из-за разрушения производственного комплекса данная территория находится на стадии экореабилитации.

Комсомольский сквер, расположенный в самом центре города и имеющий площадь 93,5 тыс. м², окружает главную достопримечательность города – мечеть «Сердце Чечни». Являясь ключевым туристическим аттрактором, этот элемент зеленой инфраструктуры слабо взаимодействует с местными городскими рекреантами ввиду своей отдаленности от жилых кварталов.

Парк Материнской Славы, напротив, предназначен для удовлетворения рекреационных потребностей местного населения, в основном для прогулок с детьми, так как здесь расположен парк аттракционов. С точки зрения ландшафтного дизайна этот объект представляет

собой регулярный парк с двумя дугообразными секторами.

Сквер Учительской Славы является объектом зеленой инфраструктуры на северной окраине города в среде высокоэтажной квартальной застройки. Его состояние оценивается как отличное, так как он проходил реконструкцию в 2019 г., назначение комплексное, целевая аудитория – локальные резиденты.

Имеются также и небольшие площади, занятые зелеными насаждениями и приспособленные для рекреационных занятий. Одно из таких мест – сквер в районе ТЦ «Грозный Сити», который представляет собой пространство для встреч концентрической структуры, в середине которого расположен фонтан; с другой, южной, стороны комплекса находится еще один небольшой (13350 м²) ландшафтный парк, являющийся элементом сопутствующей инфраструктуры ТЦ. Важным аттрактором данного участка становится искусственный аквальный и субаквальный комплекс, имити-

рующий природные ландшафты долин горных рек Чечни.

В плане определения доступности жилых кварталов по отношению к элементам рекреационной зеленой инфраструктуры (рис. 9) выделяются следующие особенности: лучше всего (1-й класс, менее 300 м) ситуация с окраинными микрорайонами рядом с лесными массивами (поселок Старая Сунжа около Тиртовой рощи), либо с районами с развитой системой внутриквартальных зеленых насаждений (центральная часть города). Наихудший показатель (пятый класс доступности, более трех км) характерен для старопромышленных периферийных районов (территория Старо-промысловского района).

На основе анализа рекреационного потенциала элементов зеленой инфраструктуры могут быть предложены следующие мероприятия по поддержке рекреационных функций:

- Расширение сети внутриквартальных зеленых насаждений, в особенности на тер-

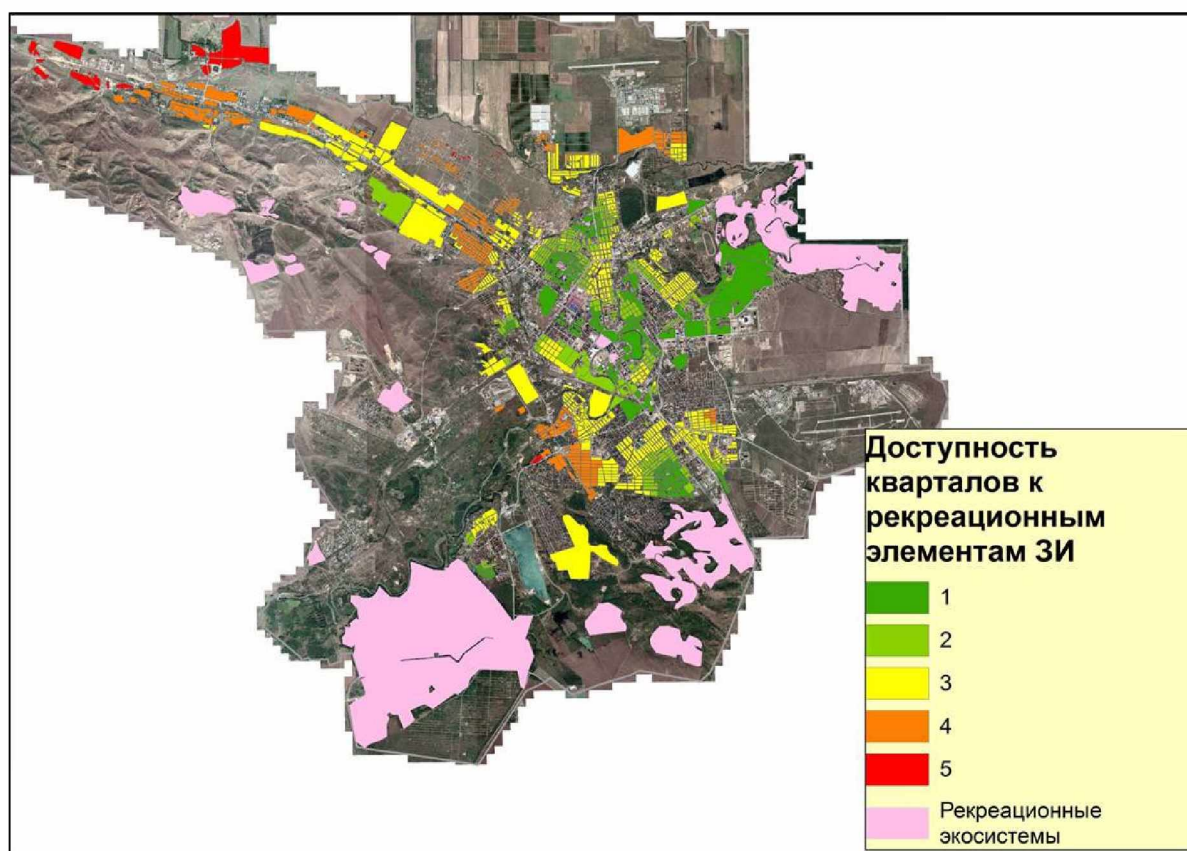


Рис. 9. Классы доступности кварталов по отношению к рекреационным элементам зеленой инфраструктуры

ритории дефицитных старопромышленных районов, многие земли которых находятся в заброшенном состоянии и нуждаются в экореабилитации и последующем вводе в земельный оборот; создание полифункциональных рекреационных дестинаций, чтобы элементы зеленой инфраструктуры были привлекательны для реципиентов различных социальных групп.

- Поддержка экосистемного потенциала долины р. Сунжи в том квазиестественном состоянии, в котором сейчас находятся склоны речной долины, так как древесные насаждения на ее крутых склонах способствуют геоморфологической стабилизации делювиальных процессов.

- Вовлечение в рекреационное использование экосистемы азональных лесов и межагистральных насаждений, так как они представляют собой принципиально новый для Грозного вид рекреационного пространства, который в настоящий момент не представлен в городе, – это лесопарковые зоны отдыха (хотя подобная форма есть, например, в пригороде Грозного на территории Аргунского заказника). Это особенно актуально для жителей периферийных поселков (Старая Сунжа, Черноречье, целый ряд микрорайонов Старо-промысловского района).

- Развитие беговых и велосипедных трасс с возможностью увязки их в единую систему.

- Формирование парков для активного отдыха, в том числе отдыха у воды.

Имеет смысл функциональное разделение ЗИ на 8 классов по аналогии с общеевропейской программой «Greening the City» на: общегородские парки (city-wide parks), парки с природоохранными функциями (conservation parks), парки городских центров (downtown parks), парки развлечений (entertainment parks), парки-связки, восстанавливающие целостность сети (linkage parks), парки микрорайонов (neighborhood parks), игровые парки (play parks), долинно-речные парки (river park system).

Заключение

Современное ГИС-моделирование предоставляет в распоряжение исследователей и проектировщиков инструменты, которые мо-

гут быть эффективно использованы для анализа зеленой инфраструктуры города на качественно новом уровне. Независимые (неведомственные) источники растровых и векторных данных зачастую превышают по точности и корректности материалы инвентаризации, создаваемые соответствующими службами. Морфологический пространственный анализ позволяет оценить размерность, фрагментированность, связность, взаиморасположение и доступность элементов зеленой инфраструктуры. Полученные данные могут и должны быть использованы в процедурах территориального планирования (в частности – генерального планирования) населенных пунктов, а также в специальных мероприятиях по формированию экологического каркаса.

Проведенный экспресс-анализ, безусловно, нуждается в верификации полевыми исследованиями. Тем не менее, он позволяет сделать некоторые выводы по оптимизации ЗИ города Грозный.

Развитие производства должно сопровождаться озеленением территории санитарно-защитных зон на периферии соответствующих промышленных площадок. Необходимо формировать буферные насаждения вдоль крупных магистралей. Естественные экосистемы долины р. Сунжа нуждаются в защите и, возможно, в специальном природоохранном статусе. Целесообразно создание заказников для экосистем горных лесов (Сунженский хребет, г. Суьйр-Корт), а также обеспечение поддержания природоохранного статуса Чернореченского заказника.

Для создания комфортной среды и развития рекреационной функции ЭК необходимо дальнейшее озеленение городских кварталов с многоэтажной застройкой, вовлечение в рекреационный оборот крупных массивов периферийных азональных лесов с сохранением их средоподдерживающего экосистемного потенциала, формирование внутриквартальных парков в 5-минутной доступности (т.е. не более 300м) от кварталов с плотной высокоэтажной городской застройкой, а также обустройство набережных на периферийных более пологих присклоновых участках долины р. Сунжа для созерцания водной глади.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колбовский Е. Ю. Ландшафтное планирование. М.: Изд. центр «Академия», 2008.
2. Cheng L., Xia N., Jiang P., Zhong L., Pian Y., Duan Y., Huang Q., Li M. Analysis of farmland fragmentation in China Modernization Demonstration Zone since “Reform and Openness”: A case study of South Jiangsu Province. *Sci. Rep.* 2015 Jul 2;5:11797.
3. Cook E.A. Landscape Structure Indices for Assessing Urban Ecological Networks. *Landscape and Urban Planning*. 2002, 58. Pp. 269-280.
4. Hansen M. C., P. V. Potapov R. Moore M. Hancher S.A. Turubanova A. Tyukavina D. Thau S. V. Stehman S.J. Goetz T.R. Loveland A. Kommareddy A. Egorov L. Chini C.O. Justice, and J.R. G. Townshend. 2013. “High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change.” *Science* 342 (15 November): 850-53.
5. Lookingbill T.R., Minor E.S. Assessing multi-scale landscape connectivity using network analysis. *Learn. Landsc. Ecol.* 2017. Pp. 193-209.
6. Meerow S., Newell J.P. Spatial planning for multifunctional green infrastructure: Growing resilience in Detroit. *Landsc. Urban Plan.* 2017, 159. Pp. 62-75.
7. Qiu Y., Chang Q., Wang J.A. MSPA-based Planning of Urban Green Infrastructure Network – A Case of Shenzhen. *Chin. Landsc. Archit.* 2013, 5. Pp. 104-108.
8. Vogt P. GUIDOS: tools for the assessment of pattern, connectivity, and fragmentation. Project: Image object analysis, 2013.
9. Vogt P., Riitters K. *GuidosToolbox*: universal digital image object analysis. *European Journal of Remote Sensing*. 2017. 50. Pp. 352-361. 10.1080/22797254.2017.1330650.

MODERN METHODS OF SPATIAL ANALYSIS GREEN INFRASTRUCTURE OF URBANIZED TERRITORIES (ON THE EXAMPLE OF THE TOWN OF GROZNY)

© L. A. Petrov, E. Yu. Kolbovsky

Lomonosov Moscow State University, Moscow

Abstract. An innovative approach to the formation of a green city infrastructure based on modern methods of GIS-modeling is proposed. Morphology – the spatial structure of green spaces – is analyzed by the tools of morphological spatial pattern analysis of the GuidosToolbox 2.9 software package. The main functions of the green infrastructure are assessed within the framework of a specially created model of Grozny based on open raster and vector data. The results obtained make it possible to formulate the most relevant directions for the formation of the ecological framework of the city.

Keywords: green urban infrastructure, morphological spatial analysis, ecological framework.