

УДК 630*279:712.3/.7

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ СВЯЗАННОСТИ БИОТОПОВ В УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЕ НА ПРИМЕРЕ Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

Северюгова Ю.Б., Мельничук И.А.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», Санкт-Петербург, e-mail: j.sevrugova@gmail.com

В результате воздействия чрезмерных антропогенных нагрузок на природную среду в крупных городах ухудшается ее общее состояние, повышается степень загрязнения воздуха и почв, снижается биоразнообразие, повышается дискретность городских ландшафтов, что приводит к ухудшению условий местообитания, снижению устойчивости растительных и животных сообществ в городах. Однако экологическое значение связанности мест обитания в урбанизированной среде изучено недостаточно, отсутствуют универсальные методики оценки дискретности и связанности ландшафтов и их влияния на устойчивость городских ландшафтов. Основная цель данной работы заключалась в разработке методики для комплексной оценки связанности биотопов в городских ландшафтах. В основу новой методики лег метод, разработанный Кристофером Янгом и Питером Джарвисом, которые рассматривают природный каркас города как систему, состоящую из двух основных компонентов – соединительных (линейных) и площадных мест обитания. При разработке новой методики также использовался коэффициент площади биотопа (BAF) – отношение экологически эффективных площадей к общей площади объекта. Разработанный метод основывается на анализе спутниковых снимков. На них выделяются участки размером 1 км×1 км с наиболее характерной для заданной местности пространственной структурой, конфигурацией дорожно-транспортной сети и застройки, долей открытых пространств. Выделенные участки используются для дальнейшего анализа. На первом этапе определяется степень влияния фрагментации ландшафтов на биотопы, на втором – оценивается качество связей между биотопами. Разработанная методика позволяет произвести комплексную оценку связанности ландшафтов с минимальным количеством входных данных. При этом методика может быть легко адаптирована к местным условиям за счет изменения критериев для оценки эффективности связей, уменьшения или увеличения размеров и разрешения спутниковых снимков.

Ключевые слова: связанность биотопов, фрагментация ландшафтов, городской ландшафт

DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR INTEGRATED ANALYSIS OF HABITAT CONNECTIVITY IN URBAN ENVIRONMENT USING THE EXAMPLE OF ST. PETERSBURG

Sevryugova Yu.B., Melnichuk I.A.

Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov, Saint Petersburg, e-mail: j.sevrugova@gmail.com

Due to excessive anthropogenic impact on urban environment, its general condition deteriorates in a drastic way. Air and soil pollution levels increase, as well as the landscape fragmentation level. These changes reduce habitat quality, which poses a great threat to plant and animal communities and leads to biodiversity loss in urban areas. However, the ecological relevance of habitat connectivity in urban environment has not been adequately studied. There are no sensitive and universal methods suitable for assessing landscape connectivity and fragmentation levels and their influence on ecological resilience in urban ecosystems. The main goal of this paper was to develop a methodology for the integrated assessment of habitat connectivity in urban landscapes. Proposed methodology referred to the method developed by Christopher Young and Peter Jarvis, which considered the relationship between contiguous and connecting habitats. The Biotope Area Factor (BAF) was also used to estimate the ratio of ecologically efficient areas. The developed methodology is based on the analysis of satellite imagery. For further investigation, the areas of 1 km × 1 km are selected such that they represent the most distinctive spatial structure of the given terrain in terms of transport network and buildings configuration, open space ratio. The degree of influence of landscape fragmentation on biotopes is determined at the first step, while the quality of connections between biotopes is estimated at the second one. The methodology allows to carry out complex assessment of landscape connectivity with minimal amount of input data. Moreover, the methodology can easily be adapted to local conditions by changing the criteria for connections effectiveness assessment, reducing or increasing the size and resolution of satellite imagery.

Keywords: habitat connectivity, landscape fragmentation, urban landscape

Высокая степень антропогенного воздействия на биосферу в последние десятилетия привела к фундаментальным изменениям в структуре и конфигурации ландшафтов. Многие ученые отмечают, что разрушение и фрагментация ландшафтов являются важнейшими факторами глобального сни-

жения биоразнообразия [1]. Фрагментация ландшафтов приводит к неоднородности распределения жизненно важных ресурсов, к нарушению энергетического обмена, к серьезным изменениям климатического режима и ряда других факторов. Таким образом, физические преобразования пространствен-

ной структуры ландшафтов влияют на поведение организмов, внутри- и межвидовые взаимодействия, структуру и динамику популяций [1]. При этом результаты эмпирических исследований указывают на то, что фрагментация и изоляция мест обитания негативно сказывается на устойчивости как животных, так и растительных сообществ. Несмотря на то, что наиболее фрагментированные ландшафты находятся именно в городах, экологическое значение связанности мест обитания в урбанизированной среде изучено недостаточно [2]. В некоторой степени это связано с отсутствием универсальных методики для оценки степени связанности и дискретности ландшафтов.

Таким образом, **цель** данной работы заключается в разработке методики для комплексной оценки связанности биотопов в городских ландшафтах.

Материалы и методы исследования

В научной литературе встречается несколько подходов к феномену фрагментации ландшафтов. Различаются они тем, как биотоп рассматривается относительно других элементов ландшафта. Несмотря на то, что существует множество вариаций, можно выделить всего две основные парадигмы, определяющие структуру ландшафта и порядок взаимодействия его компонентов. Первая парадигма – динамическая модель ландшафтной мозаики, где ландшафт воспринимается как сложная система, которую невозможно упростить до дихотомии среды обитания и матрицы [1]. В рамках второй парадигмы, «статической модели островной биогеографии», дискретные фрагменты естественного ландшафта рассматриваются как особые включения в единой матрице, непригодной для обитания [1].

В условиях городской застройки биотопы находятся в относительно статичной матрице. Поэтому для оценки степени связанности мест обитания в городской среде многие ученые используют статическую модель: она позволяет достаточно просто представить структуру ландшафта и позволяет произвести количественную оценку. Многие теоретические методы основываются на теории графов и оценивают структуру ландшафта лишь с математической точки зрения. Ранее в рамках этой теории для оценки степени связанности и фрагментации биотопов использовались только такие показатели, как количество изолированных мест обитания и расстояния между ними. Но с течением времени вводятся но-

вые индексы и показатели, математические вычисления становятся все более сложными, требуется все больше исходных данных. Систематическое усложнение таких методов не только ограничивает их практическое применение [1], но и затрудняет процесс интерпретации результатов [3]. Возникает необходимость в разработке методики для качественного и количественного анализа связанности биотопов, которая не требовала бы большого объема входных данных и сложных математических расчетов и могла бы быть легко адаптирована к местным условиям.

В основу новой методики лег метод, разработанный Кристофером Янгом и Питером Джарвисом [4]. Авторы рассматривают природный каркас города как систему, состоящую из двух основных компонентов – соединительных и площадных мест обитания. Соединительные – линейные по пространственной конфигурации места обитания (например, озелененные улицы, железнодорожные пути, реки и т.п.). Они объединяют изолированные площадные места обитания и обеспечивают потенциальные маршруты для распространения растений и животных. Анализируя картографические данные для заданного участка, авторы выделяют места обитания различных видов. Затем производят подсчет связей между всеми выявленными биотопами. Под связью авторы подразумевают любой прямой контакт между любыми двумя биотопами. Все связи подразделяют на два типа. К первому типу относят связи между двумя площадными местами обитания, остальные связи относят ко второму типу. Коэффициент фрагментации определяют как отношение количества связей второго типа к количеству связей первого типа на заданном участке. Величина коэффициента фрагментации при этом может принять любое неотрицательное значение, поэтому данный метод можно использовать лишь для сравнительного анализа. Авторы также производят качественную оценку связей, которая основывается на натурном анализе исследуемого участка. При этом не приводится какой-либо шкалы для оценки, что делает результаты анализа крайне субъективными.

При разработке новой методики также использовался коэффициент площади биотопа (BAF) – отношение экологически эффективных площадей к общей площади объекта [5]. В отличие от многих аналогов, при расчете BAF во внимание берутся все площади, которые оказывают положительный эффект на экосистему. Для

расчета BAF разработана таблица весовых коэффициентов для различных элементов городского ландшафта (табл. 1). При этом расчетные веса варьируют в зависимости от эвапотранспирационных качеств, водопроницаемости, возможности задерживать дождевую воду и от степени значимости для растительных и животных сообществ [6].

Экологически эффективная площадь определяется следующим образом:

$$C = (A_1 \cdot B_1 + A_2 \cdot B_2 + \dots + A_n \cdot B_n), \quad (1)$$

где C – экологически эффективная площадь; A_1, A_2, A_n – площади занятые 1, 2, n элементом; B_1, B_2, B_n – весовой коэффициент для 1, 2, n типа элемента, определенный по таблице весовых коэффициентов (табл. 1).

Расчет коэффициента площади биотопа производится следующим образом:

$$BAF = \frac{C}{Sg} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где Sg – общая площадь рассматриваемого объекта.

Для систематизации и использования экспериментальных данных на этапе определения необходимого количества эффективных связей использовались методы математической статистики [7]. Из элементов выборки выстраивались вариационные ряды, затем производилась оценка математического ожидания и дисперсии. Далее определялись доверительные интервалы распределения случайной величины с уровнем значимости $\gamma = 0,95$.

Таблица 1

Весовые коэффициенты для расчета коэффициента площади биотопа

Тип элемента	Вес	Свойства	Примеры
Непроницаемые поверхности	0,0	Участки с водонепроницаемыми покрытиями, не представляют ценности для растений и животных	Бетон, асфальт, плиточное покрытие (на монолитном основании или с залитыми швами), водостойкий пластик
Частично проницаемые	0,3	воздухо- и водопроницаемые поверхности, почти не представляют ценности для растений и животных	Клинкер, плиточное покрытие, брусчатка, уплотненный грунт
Полупроницаемые	0,5	воздухо- и водопроницаемые поверхности, плохие инфильтрационные свойства, пригодны для жизни растений и животных	Газонная решетка (с развитым травяным покровом)
Участки озеленения на искусственных основаниях, с почвенным слоем толщиной менее 80 см	0,5	Средние или хорошие эвапотранспирационные свойства, плохие инфильтрационные свойства, выполняют пылезащитную функцию, пригодны для жизни растений и животных	Насаждения на кровле подземной автостоянки (с толщиной почвенного слоя менее 80 см), приподнятые гряды и цветники
Участки озеленения на искусственных основаниях, с почвенным слоем толщиной более 80 см	0,7	Средние или хорошие эвапотранспирационные свойства, плохие инфильтрационные свойства, выполняют пылезащитную функцию, пригодны для жизни растений и животных	Насаждения на кровле подземной автостоянки (с толщиной почвенного слоя более 80 см)
Участки озеленения на естественном основании	1	Хорошие эвапотранспирационные и инфильтрационные свойства, выполняют пылезащитную функцию, создают благоприятные условия для жизни растений и животных	
Участки, с которых дождевой сток направляется на растительный покров	0,2	Способствуют восстановлению грунтовых вод	Кровли
Элементы вертикального озеленения	0,5	Выполняют пылезащитную функцию, создают благоприятные условия для жизни растений и животных	
Кровельное озеленение	0,7	Хорошие эвапотранспирационные, плохие инфильтрационные свойства, выполняют пылезащитную функцию, пригодны для жизни растений и животных	

**Результаты исследования
и их обсуждение**

Разработанный метод основывается на анализе спутниковых снимков. На них выделяются участки размером 1 км×1 км с наиболее характерной для заданной местности пространственной структурой, конфигурацией дорожно-транспортной сети и застройки, долей открытых пространств. Выделенные участки используются для дальнейшего анализа. На первом этапе определяется степень влияния фрагментации ландшафтов на биотопы, на втором – оценивается качество связей между биотопами.

Первый этап. В последнее время научные дебаты относительно фрагментации ландшафтов в основном сосредоточены на вопросе: «Когда последствия фрагментации среды становятся значимыми?». Или, наоборот: «Какая площадь необходима для поддержания жизнеспособности популяции целевых видов?». Некоторые эмпирические исследования показывают, что последствия фрагментации становятся ощутимыми только, когда площадь биотопов уменьшается до 20–30% [1]. Большинство этих исследований были сфокусированы главным образом на сельскохозяйственных или лесных ландшафтах. Принимая во внимание то, что в агрессивной городской среде большинство организмов уже находится в ослабленном состоянии, негативные эффекты фрагментации ландшафтов, вероятно, имеют здесь более серьезные последствия для организмов даже при больших площадях биотопов. Поэтому для данной методики минимальное значение коэффициента площади биотопов, необходимое для поддержания биоразнообразия, принимается равным 30%.

В ходе дешифрирования на каждом спутниковом снимке определяются различные типы покрытий и высчитывается общая площадь для каждого из них. Далее определяется коэффициент площади биотопа (2).

Многие ученые считают, что разного рода коридоры между изолированными местами обитания способны смягчить негативные эффекты фрагментации [8; 9]. Однако тот факт, что коридор существует, не говорит о том, что он используется. В некоторых случаях коридоры могут даже служить барьером. Поэтому при низких значениях ВАФ (менее 30%) необходимо выяснить, существуют ли связи между фрагментами ландшафта и насколько эф-

фективно эти связи функционируют. Для этого переходят ко второму этапу анализа.

Второй этап. Для качественной оценки связей между фрагментами ландшафта по снимкам определяются различные виды местообитаний (по методу Янга и Джарвиса). Каждая связь между биотопами рассматривается индивидуально и признается либо эффективной, либо неэффективной (рис. 1). Так как свойства местообитаний могут быть неоднородными по площади, при оценке качества связи следует анализировать участки, прилегающие непосредственно к месту контакта. Для оценки эффективности связи используется балльная система (табл. 2). Для каждой связи рассчитывается общий балл, находящийся в диапазоне от 0 до 11. Если общий балл меньше или равен 5, связь признается эффективной.

Таблица 2

Критерии для оценки эффективности связи между биотопами в Санкт-Петербурге

Критерий	Балл
Интенсивное движение автотранспорта	2
Плохая циркуляция воздуха	2
Значение ВАФ ниже 10%	2
Наличие физических барьеров	2
Высокая механическая нагрузка	2
Нарушение светового режима	1

Необходимое количество эффективных связей. Для определения необходимого количества эффективных связей каждого типа были проанализированы другие 77 снимков площадью 1 км². Для этого на каждом снимке выделялись площадные (А) и соединительные (Б) биотопы. Затем для каждого снимка составлялась схема, на которой отображались выявленные биотопы (рис. 2). На схеме графическим путем определялось минимальное количество связей каждого типа, необходимое для того, чтобы сформировать из биотопов единую систему (рис. 2). Далее вычислялось отношение минимально необходимого количества связей каждого типа к общему числу связей этого типа для каждого из снимков. В результате статистического анализа данных, полученных при исследовании 76 снимков, выяснилось, что в 95% случаев для формирования единой системы биотопов необходимо, чтобы не менее 69,5–78,8% связей типа Б-Б и не менее 40,3–43,1% связей типа А-Б были эффективными (табл. 3). При этом эффективность связей типа А-А не влияет на общую ситуацию.

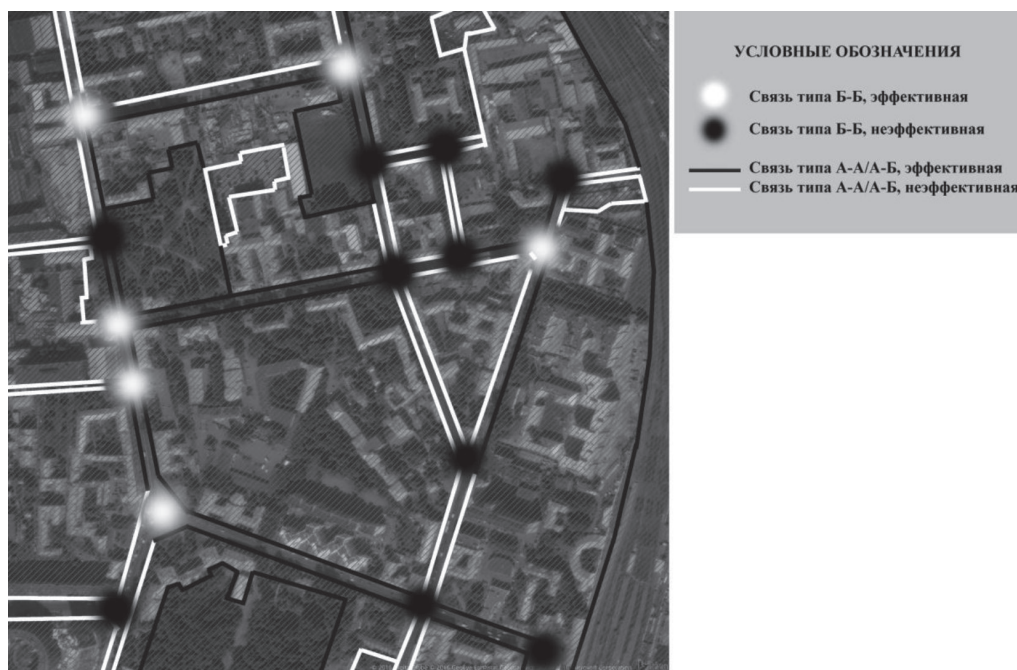


Рис. 1. Выделение различных видов биотопов и оценка качества связей между ними

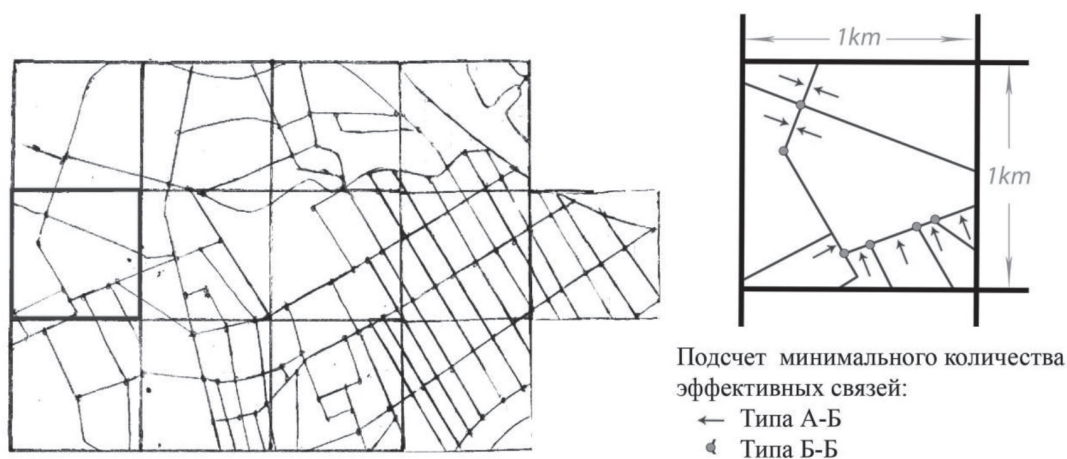


Рис. 2. Анализ снимков для определения необходимого количества эффективных связей каждого типа

Таким образом, если на втором этапе анализа выясняется, что доля эффективных связей типа Б-Б ниже 69,5%, и/или доля эффективных связей типа А-Б ниже 40,3%, делается вывод о том, что степень связанности ландшафтов низкая. В таком случае существующих связей недостаточно, чтобы поддержать нормальное функционирование биотопов на заданном участке.

Методика была апробирована на примере города Санкт-Петербурга [10] и доказала простоту и эффективность использования.

Выводы

Основой предлагаемой авторами методики является метод, разработанный Кристофером Янгом и Питером Джарвисом, которые рассматривают зеленую инфраструктуру города как систему, состоящую из двух основных элементов – площадных и линейных (соединительных) объектов. При разработке новой методики также использовался коэффициент площади биотопа (BAF): отношение экологически эффективных площадей к общей площади объекта.

Таблица 3

Расчет необходимого количества эффективных связей

Снимок, № п/п	Кол-во биотопов		Кол-во связей				Минимальное кол-во эффективных связей			Доля необходимых эффективных связей от общего числа связей, %			Доля всех необходимых эффективных связей от общего числа связей, %
	Тип А	Тип Б	Тип А-А	Тип Б-Б	Тип А-Б	Всего	Тип А-А	Тип Б-Б	Тип А-Б	Тип А-А	Тип Б-Б	Тип А-Б	
1	6	5	0	4	14	18	0	3	7	0,0	75,0	50,0	55,6
2	5	4	0	3	10	13	0	3	5	0,0	100,0	50,0	61,5
3	6	5	0	3	11	14	0	3	5	0,0	100,0	45,5	57,1
4	6	5	0	3	13	16	0	2	6	0,0	66,7	46,2	50,0
5	6	4	0	3	14	17	0	2	6	0,0	66,7	42,9	47,1
6	7	6	0	4	17	21	0	4	8	0,0	100,0	47,1	57,1
7	6	4	0	3	14	17	0	3	6	0,0	100,0	42,9	52,9
8	7	5	0	4	14	18	0	3	8	0,0	75,0	57,1	61,1
9	4	3	0	2	16	18	0	2	4	0,0	100,0	25,0	33,3
10	7	4	1	2	13	16	0	2	7	0,0	100,0	53,8	56,3
11	5	5	0	4	12	16	0	2	5	0,0	50,0	41,7	43,8
12	6	5	0	3	15	18	0	3	6	0,0	100,0	40,0	50,0
13	11	9	0	10	28	38	0	6	11	0,0	60,0	39,3	44,7
14	10	7	2	3	17	22	0	2	10	0,0	66,7	58,8	54,5
15	10	8	0	9	26	35	0	4	12	0,0	44,4	46,2	45,7
16	10	7	0	9	29	38	0	4	9	0,0	44,4	31,0	34,2
17	15	11	0	9	46	55	0	9	15	0,0	100,0	32,6	43,6
18	13	10	0	11	39	50	0	8	14	0,0	72,7	35,9	44,0
19	7	4	0	4	17	21	0	4	7	0,0	100,0	41,2	52,4
20	7	4	0	4	16	20	0	4	6	0,0	100,0	37,5	50,0
21	10	5	0	5	26	31	0	5	10	0,0	100,0	38,5	48,4
22	8	6	0	5	23	28	0	5	8	0,0	100,0	34,8	46,4
23	10	9	0	7	29	36	0	7	10	0,0	100,0	34,5	47,2
24	7	4	0	4	14	18	0	4	7	0,0	100,0	50,0	61,1
25	8	4	0	4	26	30	0	3	9	0,0	75,0	34,6	40,0
26	12	7	0	10	33	43	0	6	12	0,0	60,0	36,4	41,9
27	5	3	0	2	11	13	0	2	5	0,0	100,0	45,5	53,8
28	4	3	0	2	8	10	0	2	4	0,0	100,0	50,0	60,0
29	10	6	0	6	25	31	0	4	11	0,0	66,7	44,0	48,4
30	12	9	0	10	31	41	0	6	12	0,0	60,0	38,7	43,9
31	14	9	3	10	34	47	0	6	16	0,0	60,0	47,1	46,8
32	9	9	0	9	26	35	0	5	10	0,0	55,6	38,5	42,9
33	10	9	0	9	25	34	0	6	13	0,0	66,7	52,0	55,9
34	11	9	0	10	27	37	0	6	10	0,0	60,0	37,0	43,2
35	18	10	0	13	56	69	0	8	26	0,0	61,5	46,4	49,3
36	16	9	0	13	47	60	0	6	22	0,0	46,2	46,8	46,7
37	8	6	0	5	18	23	0	4	8	0,0	80,0	44,4	52,2
38	16	8	0	13	48	61	0	8	18	0,0	61,5	37,5	42,6
39	17	13	0	18	54	72	0	11	19	0,0	61,1	35,2	41,7
40	17	10	0	12	50	62	0	7	24	0,0	58,3	48,0	50,0
41	10	8	0	8	28	36	0	5	12	0,0	62,5	42,9	47,2
42	6	5	0	5	13	18	0	3	5	0,0	60,0	38,5	44,4
43	11	7	0	8	29	37	0	5	12	0,0	62,5	41,4	45,9
44	10	7	0	10	27	37	0	4	12	0,0	40,0	44,4	43,2
45	9	8	0	8	26	34	0	6	10	0,0	75,0	38,5	47,1
46	9	8	0	7	25	32	0	6	9	0,0	85,7	36,0	46,9

Окончание табл. 3

Снимок, № плт	Кол-во биотопов		Кол-во связей				Минимальное кол-во эффективных связей			Доля необходимых эффективных связей от общего числа связей, %			Доля всех необходимых эффективных связей от общего числа связей, %
	Тип А	Тип Б	Тип А-А	Тип Б-Б	Тип А-Б	Всего	Тип А-А	Тип Б-Б	Тип А-Б	Тип А-А	Тип Б-Б	Тип А-Б	
47	11	7	0	6	29	35	0	5	11	0,0	83,3	37,9	45,7
48	5	3	0	2	11	13	0	2	5	0,0	100,0	45,5	53,8
49	6	4	0	5	12	17	0	2	6	0,0	40,0	50,0	47,1
50	22	14	0	22	72	94	0	12	25	0,0	54,5	34,7	39,4
51	11	9	0	10	35	45	0	5	12	0,0	50,0	34,3	37,8
52	6	4	0	3	13	16	0	3	6	0,0	100,0	46,2	56,3
53	26	12	0	21	84	105	0	13	30	0,0	61,9	35,7	41,0
54	6	5	0	7	17	24	0	3	6	0,0	42,9	35,3	37,5
55	6	6	0	4	16	20	0	2	6	0,0	50,0	37,5	40,0
56	14	8	0	12	37	49	0	6	17	0,0	50,0	45,9	46,9
57	7	7	0	6	14	20	0	2	5	0,0	33,3	35,7	35,0
58	9	5	0	5	24	29	0	4	10	0,0	80,0	41,7	48,3
59	6	4	0	2	12	14	0	2	5	0,0	100,0	41,7	50,0
60	7	6	0	6	16	22	0	4	6	0,0	66,7	37,5	45,5
61	6	5	0	5	15	20	0	3	6	0,0	60,0	40,0	45,0
62	8	5	0	5	19	24	0	3	9	0,0	60,0	47,4	50,0
63	5	6	0	4	13	17	0	2	6	0,0	50,0	46,2	47,1
64	5	3	0	2	11	13	0	2	5	0,0	100,0	45,5	53,8
65	9	7	0	7	24	31	0	4	10	0,0	57,1	41,7	45,2
66	6	4	0	1	11	12	0	1	4	0,0	100,0	36,4	41,7
67	8	6	0	6	21	27	0	4	8	0,0	66,7	38,1	44,4
68	5	3	0	1	10	11	0	1	4	0,0	100,0	40,0	45,5
69	8	5	0	4	19	23	0	3	8	0,0	75,0	42,1	47,8
70	7	4	0	4	18	22	0	3	8	0,0	75,0	44,4	50,0
71	9	9	0	8	30	38	0	5	10	0,0	62,5	33,3	39,5
72	9	7	0	6	22	28	0	6	9	0,0	100,0	40,9	53,6
73	9	6	0	6	24	30	0	5	10	0,0	83,3	41,7	50,0
74	3	2	0	1	4	5	0	1	2	0,0	100,0	50,0	60,0
75	8	6	0	9	20	29	0	5	8	0,0	55,6	40,0	44,8
76	7	3	0	3	16	19	0	3	6	0,0	100,0	37,5	47,4
Выборочное среднее										–	74,2	41,7	47,7
Выборочная дисперсия										–	429,1	37,9	40,1
Верхняя граница доверительного интервала										–	78,8	43,1	49,1
Нижняя граница доверительного интервала										–	69,5	40,3	46,2

На спутниковых снимках с наиболее характерной для заданной местности пространственной структурой, конфигурацией дорожно-транспортной сети и застройки, долей открытых пространств выделялись участки размером 1 км × 1 км. На выделенных участках осуществлялся двухэтапный анализ. Степень влияния фрагментации ландшафтов на биотопы оценивалась на первом этапе, качество связей между биотопами анализировалась на втором.

В результате разработанная методика позволяет провести комплексную оценку связанности ландшафтов с минимальным количеством исходных данных, что облегчает интерпретацию результатов и расширяет возможности практического применения. При этом методика может быть легко адаптирована к местным условиям за счет изменения критериев для оценки эффективности связей, уменьшения или увеличения размеров и разрешения спутниковых снимков.

ков. Для увеличения точности вычислений спутниковые снимки можно заменить материалами топографической съемки.

Список литературы

1. McGarigal K., Cushman S., Regan C. Quantifying Terrestrial Habitat Loss and Fragmentation: A Protocol. Amherst: Department of Natural Resources Conservation, University of Massachusetts, 2005. – 113 с.
2. Braaker S., Obrist M.K., Bontadina F., Moretti M. Urban connectivity. ENHANCE. Enhancing ecosystem connectivity through intervention – benefits for nature and society? Final Report. Swiss Federal Research Institute WSL. Birmensdorf. – 2012. – P. 57–62.
3. Llausàs A., Nogue J. Indicators of landscape fragmentation: The case for combining ecological indices and the perceptive approach // *Ecological Indicators*. – 2012. – vol. 15. no. 1. – P. 85–91.
4. Young C.H., Jarvis P.J. Measuring urban habitat fragmentation: an example from the Black Country, UK. *Landscape Ecology*. – 2001. – vol. 16. – P. 643–658.
5. Landschaft: Planen & Bauen + Becker Giseke Mohren Richard. The Biotope Area Factor as an Ecological Parameter. Berlin, 1990. https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/landschaftsplanung/bff/download/Auszug_BFF_Gutachten_1990_eng.pdf (дата обращения: 30.01.2018).
6. Kopetzki S. Berlin: The Biotope Area Factor. Adaptation to climate change using green and blue infrastructure. A database of case studies / ed. by Kazmierczak A., Carter J. Manchester: University of Manchester; 2010. http://orca.cf.ac.uk/64906/1/Database_Final_no_hyperlinks.pdf (дата обращения: 30.01.2018).
7. Шорохова И.С. Статистические методы анализа / И.С. Шорохова, Н.В. Кисляк, О.С. Мариев. – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2015. – 300 с.
8. Ignatieva M., Stewart G.H., Meurk C., Planning and design of ecological networks in urban areas // *Landscape Ecol Eng*. – 2011. – № 7. – P. 17–25.
9. Beninde J., Veith M., Hochkirch A. Biodiversity in cities needs space: a meta-analysis of factors determining intra-urban biodiversity variation // *Ecology Letters*. – 2015. – vol. 18, № 6. – P. 581–592.
10. Sevrugova J. Estimating the landscape connectivity in urban areas: an example from St Petersburg, Russia // Conference proceedings. Innovation School Sprungbrett International

Students Conference; 2016 May 9–10. – Ljubljana, 2016. – P. 122–127.

References

1. McGarigal K., Cushman S., Regan C. Quantifying Terrestrial Habitat Loss and Fragmentation: A Protocol. Amherst: Department of Natural Resources Conservation, University of Massachusetts, 2005, 113.
2. Braaker S., Obrist M.K., Bontadina F., Moretti M. Urban connectivity. ENHANCE. Enhancing ecosystem connectivity through intervention – benefits for nature and society? Final Report. Swiss Federal Research Institute WSL. Birmensdorf, 2012, pp. 57–62.
3. Llausàs A., Nogue J. Indicators of landscape fragmentation: The case for combining ecological indices and the perceptive approach. *Ecological Indicators*, 2012, vol. 15, no. 1, pp. 85–91.
4. Young C.H., Jarvis P.J. Measuring urban habitat fragmentation: an example from the Black Country, UK. *Landscape Ecology*, 2001, no. 16, pp. 643–658.
5. Landschaft: Planen & Bauen + Becker Giseke Mohren Richard. The Biotope Area Factor as an Ecological Parameter. Berlin, 1990. https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/landschaftsplanung/bff/download/Auszug_BFF_Gutachten_1990_eng.pdf (accessed 30.01.2018).
6. Kopetzki S. Berlin: The Biotope Area Factor In: Kazmierczak A., Carter J. editors. Adaptation to climate change using green and blue infrastructure. A database of case studies. University of Manchester; 2010, p. 79–87. http://orca.cf.ac.uk/64906/1/Database_Final_no_hyperlinks.pdf (accessed 30.01.2018).
7. Sevrugova J. Estimating the landscape connectivity in urban areas: an example from St Petersburg, Russia. Proceedings of the Innovation School Sprungbrett International Students Conference (Ljubljana, May 9–10, 2016), University of Ljubljana, 2016, pp. 122–127.
8. Shorokhova I.S., Kisliak N.V., Mariev O.S. Statisticheskie metody analiza [Statistical methods of analysis]. Ekaterinburg, Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta, 2015, 300.
9. Ignatieva M., Stewart G.H., Meurk C. Planning and design of ecological networks in urban areas. *Landscape Ecol Eng*, 2011, no. 7, pp. 17–25.
10. Beninde J., Veith M., Hochkirch A. Biodiversity in cities needs space: a meta-analysis of factors determining intra-urban biodiversity variation. *Ecology Letters*, 2015, vol. 18, no. 6, pp. 581–592.