

А.А. Блэкберн, А.Л. Золотой

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ КВАЗИПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ГОРОДОВ ДОНЕЦКА И МАКЕЕВКИ (ДОНЕЦКАЯ НАРОДНАЯ РЕСПУБЛИКА)

Государственное учреждение «Донецкий ботанический сад»

Проведена сравнительная оценка пространственной структуры квазиприродных экосистем (степных (остепненных) и лесопокрываемых участков) городов Донецка и Макеевки. На основе изучения космоснимков Sentinel-2A с помощью компьютерной программы QGIS 3.4.1 были изучены количественные показатели фрагментированности этих типов экосистем на территории данных городов и получена их общая географическая характеристика. Показаны существенные различия в пространственной структуре квазиприродных экосистем между городами Донецк и Макеевка.

Ключевые слова: квазиприродная экосистема, степная территория, лесопокрываемая территория, показатели фрагментированности, диапазон занимаемых площадей, Донецк, Макеевка

Введение

В решении проблемы оптимизации структуры ландшафта очень важна оценка существующей пространственной структуры и состава природных и квазиприродных его территорий. Особенно это актуально для таких густонаселенных и урбанизированных регионов, как Донбасс. В подобных регионах существенный вклад в поддержание средообразующей функции природных и квазиприродных экосистем вносят также городские и прилегающие к ним территории.

Ранее мы рассматривали пространственную структуру некоторых административных районов Донецкой Народной Республики, в ландшафте которых преобладали сельскохозяйственные территории, а природные и квазиприродные участки (в основном остепненные и лесопокрываемые территории) выглядели на их фоне в виде архипелага множества мелких и среднего размера островов [1, 2, 3].

Тем не менее, даже в крупных городах существует достаточно много территорий, занятых квазиприродными экосистемами, которые вносят основной вклад в поддержание средообразующих функций и экологического баланса городского ландшафта.

Цель и задачи исследования

Цель исследования – дать сравнительную характеристику пространственной структуры квазиприродных экосистем (степных и лесопокрываемых территорий) Донецка и Макеевки.

В соответствии с целью поставлены следующие задачи:

1. Провести количественный анализ степных (остепненных) и лесопокрываемых участков в административных границах Донецка и Макеевки.
2. Оценить степень фрагментации выше названных участков в пределах этих городов.
3. Получить общую картину пространственного распределения степных (остепненных) и лесопокрываемых участков на всей исследуемой территории.

Объекты и методики исследований

Объектами исследования являются квазиприродные (условно природные, или природно-антропогенные) экосистемы (участки территории) Донецко-Макеевской агломерации, представляющие два основных типа растительности региона – степной и лесной.

В качестве степных экосистем рассматривались любые участки территории, покрытые пре-

имущественно природной травяной растительностью либо находящиеся на различной стадии естественного восстановления природной растительности (далее «степные участки», «остепненные участки»).

Под лесными (лесопокрытыми) экосистемами рассматривались все участки территории с древесно-кустарниковой растительностью либо с существенным преобладанием таковой, без разделения их по типу происхождения, видовой и возрастной структуры и целевого назначения (далее «лесные участки»).

Выбранные для исследования города – Донецк и Макеевка представляют единую, не разделенную деурбанизированной зоной Донецко-Макеевскую агломерацию, которая находится в центральной части Донецкой области и представляет типичный урбанизированный ландшафт промышленного региона.

Для выявления квазиприродных участков степного и лесного типов применен метод их машинного выделения и оконтуривания на космо-

снимках Sentinel-2A, визуально определяемых по цвету и текстуре изображения как степные или лесные с последующим анализом их пространственной структуры с помощью компьютерной программы QGIS 3.4.1 [8].

Оценка пространственной структуры взаимного расположения степных и лесных участков проводилась на основе группировки квадратов (7×7 км) с различным соотношением их площадей, на которые была поделена вся исследуемая территория. Используя метод ординации [5, 7], были определены количественные характеристики распределения квадратов по соотношению в них степных и лесопокрытых территорий.

Результаты исследований и их обсуждение

Пространственная структура выделенных степных и лесных участков на исследованной территории представлена на рисунке 1.

На основании атрибутивных данных по выделенным участкам с использованием программы QGIS 3.4.1 были рассчитаны площади, средние

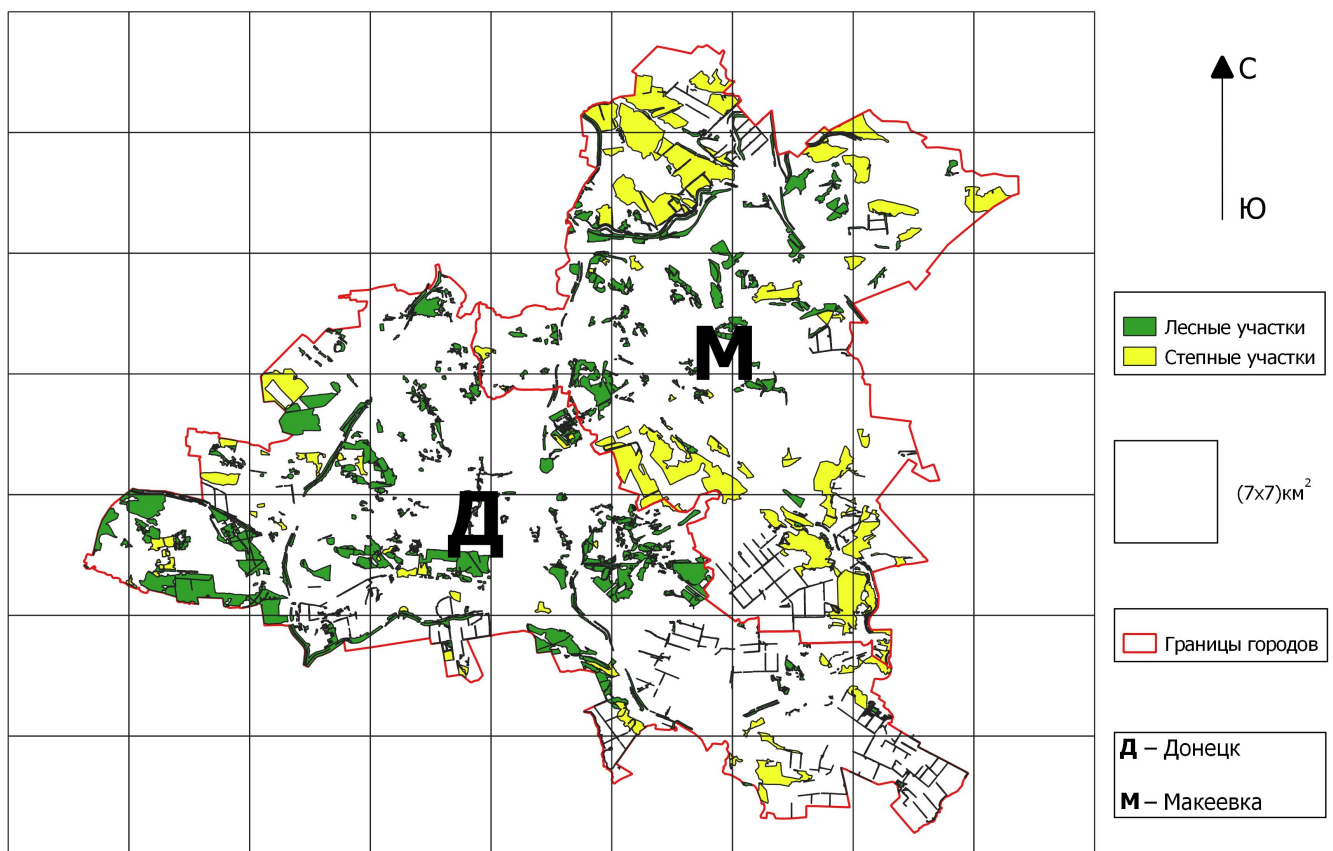


Рис. 1. Картограмма пространственного размещения степных и лесных участков в городах Донецк и Макеевка
Fig. 1. Schematic map of the spatial distribution of steppe and forest sites in the cities of Donetsk and Makeyevka

Таблица. Количественные показатели степных и лесных участков в Донецко-Макеевской агломерации

Тип участка	Степной	Лесной
Донецк (55846,27 га)		
Количество	51	878
Площадь – S (га)	1670,82	7046,12
Занимаемая площадь относительно площади города (в %)	3,0	12,6
Средняя площадь – S ср (га)	32,76	8,03
Когерентность – C	0,00006	0,00017
Эффективный размер ячейки – m _{eff}	3,29	9,72
Показатель m _{eff} / S ср	0,10	1,21
Индекс изрезанности ландшафта – LDI	0,094	0,420
Макеевка (50878,9 га)		
Количество	77	380
Площадь – S (га)	6875,10	3249,57
Занимаемая площадь относительно площади города (в %)	13,5	6,4
Средняя площадь – S ср (га)	89,29	8,55
Когерентность – C	0,00075	0,00004
Эффективный размер ячейки – m _{eff}	37,91	2,12
Показатель m _{eff} / S ср	0,43	0,25
Индекс изрезанности ландшафта – LDI	0,122	0,350

значения площадей и ряд показателей их фрагментированности, которые приведены в таблице.

Наиболее часто используются показатели когерентности (C) и выводимый из нее «эффективный размер ячейки» (m_{eff}), а также индекс изрезанности ландшафта (LDI).

Когерентность (C) показывает вероятность нахождения двух произвольно выбранных точек в пределах одного фрагмента территории. Определяется по формуле:

$$C = \sum_{i=1}^n \left(\frac{F_i}{F_g} \right)^2, \quad (1)$$

где C – показатель когерентности, F_i – площадь i-того фрагмента, F_g – площадь всей исследуемой территории, n – общее число фрагментов.

Эффективный размер ячейки (m_{eff} – effective mesh size) – это площадь, которая будет получена, если всю исследуемую территорию разделить на одинаковые фрагменты, сохранив при этом существующую когерентность [6]:

$$m_{eff} = F_g \cdot C \quad (2)$$

Индекс изрезанности ландшафта (LDI – landscape dissection index) выражает врезание фраг-

ментирующей сети в ландшафт без полного его расщепления. Рассчитывается он по формуле:

$$LDI = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sqrt[2]{\pi \cdot F_g \cdot \sum_{i=1}^n F_i}}, \quad (3)$$

где P_i – периметр i-того фрагмента (км), F_i – площадь i-того фрагмента (км²), F_g – площадь всей исследуемой территории (км²).

В отличие от m_{eff}, данный показатель не зависит от когерентности.

Биологическая интерпретация в отношении когерентности говорит о вероятности встречи двух животных (одного вида) в пределах исследуемой территории, не встречая непреодолимых для себя препятствий (т. е. границ фрагмента, которую они не могут преодолеть). Эффективный размер ячейки, в данном аспекте, показывает условную площадь данного типа фрагмента (типа природной территории) при существующем уровне фрагментации всей исследуемой территории, на которой животное может свободно перемещаться, не встречая непреодолимых препятствий на своем пути [4]. В отличие от когерентности, m_{eff} измеряется в тех же размерных единицах, что и площади самих фрагментов (га или

км²), поэтому интерпретация эффективного размера ячейки позволяет сравнивать его значение, например, со средней площадью данного типа фрагмента на исследуемой территории.

Как видно из данных таблицы, в обоих городах количество лесных участков многократно превышает количество степных. Особенно это превышение демонстрирует Донецк, где количество лесопокрываемых территорий в 17 раз больше, чем степных.

Однако по занимаемой площади картина соотношения степных и лесопокрываемых территорий совершенно иная. В Донецке общая площадь лесопокрываемых участков также больше, чем степных, хотя уже не в такой пропорции, как их количество (в 4,2 раза). Напротив, в Макеевке суммарная площадь степных участков превышает таковую лесопокрываемых территорий в 2,1 раза. Это свидетельствует о более крупных размерах степных участков по сравнению с лесными (лесопокрываемыми) в обоих городах, что наглядно подтверждают значения их средних площадей. Особенно это касается Макеевки, где средняя площадь степного участка (89,3 га) на порядок превышает таковую лесного участка (8,6 га).

Средние площади степных участков Донецка и Макеевки также соотносятся как 1 к 2,7, что говорит о наличии в последней очень крупных степных (остепненных) территорий. По лесным участкам это соотношение близко к единице – 8,03 га в Донецке и 8,55 га в Макеевке.

Показатели фрагментированности по обоим типам экосистем в этих городах свидетельствуют о чрезвычайно высокой степени их фрагментации. Но и здесь эти показатели по степным и лесопокрываемым участкам в Донецке и Макеевке имеют противоположный характер. Так, в Донецке когерентность (С) лесопокрываемых территорий в 2,8 раза больше таковой для степных участков. Напротив, в Макеевке когерентность лесопокрываемых территорий на порядок меньше, чем у степных. Соответственно, эффективный размер ячейки ($m_{\text{эф}}$) у степных участков Донецка в три раза уступает таковому для лесопокрываемых территорий, в Макеевке, напротив, он в 18 раз больше, чем у лесных. Это говорит о том, что два города – Донецк и Макеевка, близкие по занимаемой площади и с одинаково высокой степенью урбанизации и промышленной концентрации, существенно

различаются по структуре своих квазиприродных территорий.

Из картосхемы (рис. 1) видно, что большая часть степных участков Макеевки концентрируется на периферии города, в основном на северных, северо-восточных, южных и юго-восточных его окраинах. На всех этих территориях преобладают агроландшафты, что приближает их к ландшафтной структуре сельскохозяйственных районов региона. Собственно, урбанизированная зона Макеевки сосредоточена на западе и в центральной ее части, где, в основном, сконцентрированы лесопокрываемые участки города.

В Донецке картина пространственного распределения степных и лесопокрываемых участков совершенно иная. Степных участков, точнее остепненных, представленных, главным образом, городскими пустырями и старыми залежами, в городе мало, они небольшие, а более или менее крупные также находятся на периферии города. Напротив, лесопокрываемые участки гораздо более равномерно распределены по всему городу, хотя также преобладают на юго-западной, южной и восточной его периферии. Это объясняется тем, что абсолютное большинство лесопокрываемых территорий Донецка представлены искусственными лесопосадками, рекреационными зонами, парками, скверами и прочими древесно-кустарниковыми насаждениями, что и составляет так называемую «зеленую зону» города. Иначе говоря, Донецк по структуре своей «природной составляющей» является типичным современным мегаполисом с многочисленными и крупными зелеными зонами, более или менее равномерно рассредоточенными по его территории.

Макеевка, напротив, представляет собой крупный промышленный город с полярным распределением своих квазиприродных территорий – лесопокрываемых участков в западных и центральных районах города, собственно в урбанизированной ее части (что приближает ее к ландшафтной структуре Донецка) и степных – на всей остальной ее периферии, в местах сугубо аграрного типа ландшафтов.

Об общем характере пространственной структуры квазиприродных экосистем в рассматриваемых городах может говорить и количественное распределение степных и лесных участков по диапазонам занимаемых площадей, которое представлено на рис. 2.

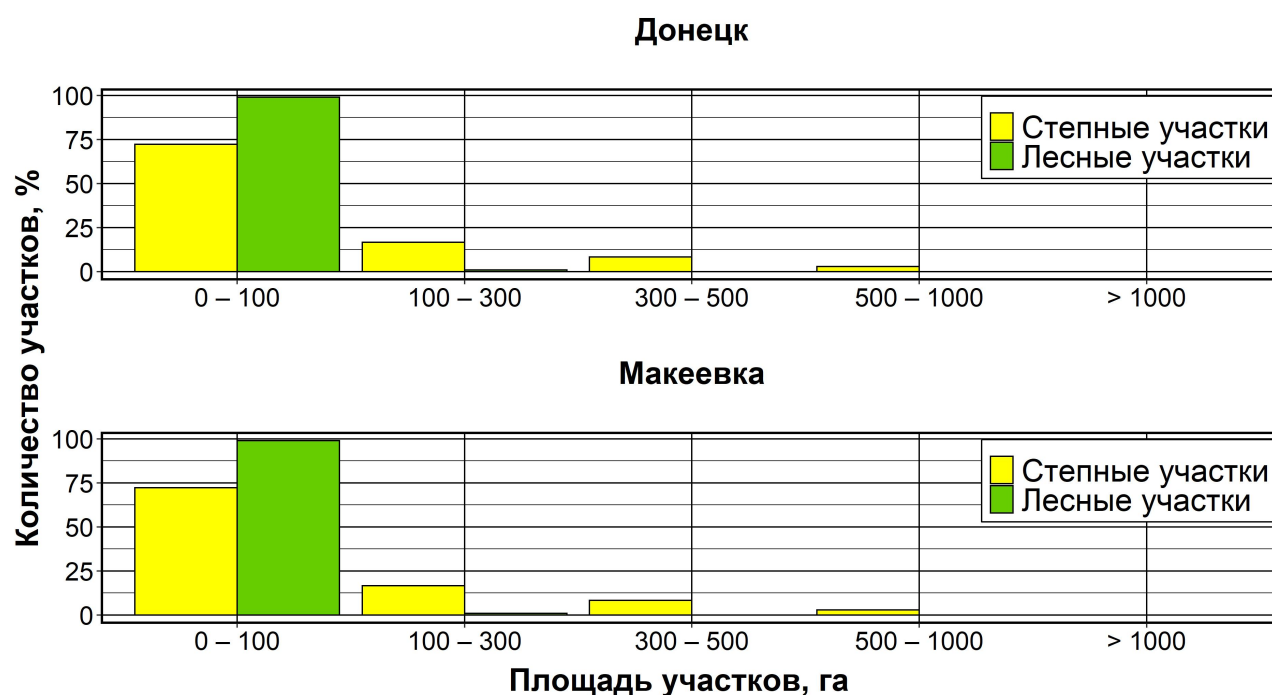


Рис. 2. Количественное распределение (в %) степных и лесных участков в Донецке и Макеевке
Fig. 2. Quantitative distribution (in %) of steppe and forest sites in Donetsk and Makeyevka

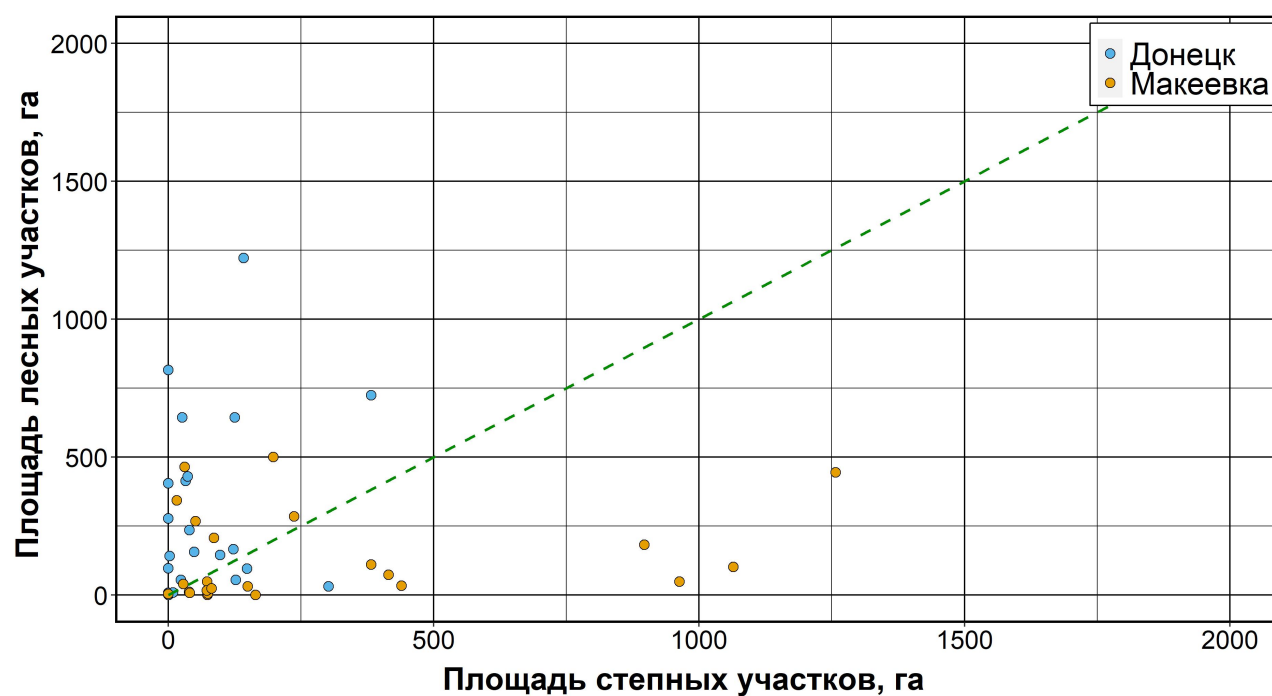


Рис. 3. Диаграммы рассеяния значений квадратов по площадям степных и лесных участков в городах Донецк и Макеевка
Fig. 3. Scatter diagrams of the values of the squares over the areas of steppe and forest sites in the cities of Donetsk and Makeyevka

Видно, что абсолютное большинство участков обоих типов экосистем в этих городах по занимаемым площадям находится в самом нижнем размерном классе 0–100 га. В Донецке лишь небольшое количество как степных, так и лесопокрываемых участков находится во втором размерном классе – 100–300 га. В Макеевке количество степных участков плавно убывает в следующих размерных классах – 100–300, 300–500 и 500–1000 га. Лесопокрываемых территорий в этих размерных классах нет вообще.

Пространственную характеристику распределения степных и лесопокрываемых территорий наглядно демонстрирует диаграмма рассеяния значений квадратов (7×7 км) по соотношению в них площадей данных типов экосистем, представленная на рисунке 3.

Из рис. 3 видно, что в Донецке в абсолютном большинстве квадратов преобладают по занимаемым площадям лесопокрываемые территории. Напротив, в Макеевке примерно вдвое больше квадратов с преобладанием степных (остепненных) территорий. Это еще раз подтверждает преимущественно «степной» характер природного ландшафта Макеевки.

Выводы

Сравнительная оценка пространственной структуры квазиприродных экосистем, представляющих два основных типа растительности региона – степную и лесную, показала, что при общей схожести в пространственной дифференциации степных и лесных участков городов Донецк и Макеевка существенно различаются между собой по ряду количественных параметров, характеризующих пространственную структуру этих участков, и как следствие, географическому характеру их распределения, а именно:

1. При существенном преобладании количества лесных участков над степными в обоих городах, в Донецке площадь лесопокрываемых территорий в несколько раз превышает таковую степных (остепненных) участков. Напротив, в Макеевке, площадь степных участков вдвое превышает площадь лесопокрываемых территорий.

2. Количественное распределение степных и лесных участков по диапазону занимаемых площадей показывает, что в обоих городах абсолютное большинство участков этих типов находится

в самом малом размерном классе (0–100 га). В Донецке лишь очень незначительное количество степных и лесопокрываемых территорий находится во втором по возрастанию размерном классе (100–300 га). В Макеевке степные участки имеются во втором (100–300 га), третьем (300–500 га) и четвертом (500–1000 га) размерных классах в убывающей численности. Лесопокрываемые территории (кроме нескольких участков во втором размерном классе) в этих размерных классах в Макеевке отсутствуют.

3. Характер географического распределения степных и лесных участков на всей исследуемой территории показал, что лесопокрываемые участки сосредоточены как в периферийной части обоих городов (в основном крупные лесопосадки), так и в центральной их части (для Макеевки и в западной ее части, пограничной с Донецком). Напротив, степные участки, характерные в большей степени для Макеевки, концентрируются в основном на дальней ее периферии в районах с преобладанием аграрного типа ландшафта.

4. В целом, города Донецк и Макеевка существенно различаются между собой по пространственной структуре своих квазиприродных территорий. Если Донецк с многочисленными лесопокрываемыми участками представляет собой типичный мегаполис с развитой лесопарковой и рекреационной «зеленой зоной», то Макеевка является просто крупным промышленным центром, где урбанизированная зона с относительно многочисленными лесопокрываемыми участками находится в западной и центральной ее части, в то время как вся остальная периферия города расположена в типичном аграрном секторе, что сближает ее с сельскохозяйственными районами региона.

1. *Блакберн А.А., Золотой А.Л. Количественная оценка состава природных территорий (степных и лесных участков) Шахтерского района Донецкой Народной Республики // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2019. Вып. 43, № 3. С. 276–285.*
2. *Блакберн А.А., Остапко В.М., Золотой А.Л. Количественное распределение степных и лесных участков в Амвросиевском районе (Донецкая Народная Республика) // Промышленная ботаника. 2019. Вып. 19, № 4. С. 32–37.*

3. Блэкберн А.А., Золотой А.Л. Сравнительная оценка пространственной структуры лесных и степных экосистем Шахтерского и Амвросиевского районов ДНР // Биологическое разнообразие и устойчивость лесных и урбоэкосистем: Первые международные чтения памяти Г.Ф. Морозова (Ялта, 12–15 сентября 2019 г.). Симферополь, АРИАЛ, 2019. С. 17–20.
4. Захаров К.В. Оценка степени фрагментации местообитаний диких животных искусственными рубежами на примере Московского региона // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2015. Т. 120, Вып. 2. С. 3–10.
5. Шитиков В.К., Зинченко Т.Д. Многомерный статистический анализ экологических сообществ (обзор) // Теоретические проблемы экологии. 2019. N 1. С. 5–11.
6. Jaeger J. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation // Landscape Ecology. 2000. N 15. P. 115–130.
7. Jongman R., Braak C., Tongeren O. Data Analysis in Community and Landscape Ecology. Cambridge: Cambridge University Press., 1995, 299 p.
8. QGIS Development Team. 2019. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. URL: <http://qgis.osgeo.org>

Поступила в редакцию: 21.11.2020

UDC 502.7(2):581.526.53(477.62)

COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE SPATIAL STRUCTURE OF THE QUASI-NATURAL ECOSYSTEMS OF DONETSK AND MAKEYEVKA CITIES (DONETSK PEOPLE'S REPUBLIC)

A.A. Blackburn, A.L. Zolotoi

Public Institution «Donetsk Botanical Garden»

A comparative assessment was focused on the spatial structure of quasi-natural ecosystems (steppe and forest sites) of Donetsk and Makeyevka cities. Based on the study of Sentinel-2A satellite images using QGIS 3.4.1 computer program, we studied quantitative indicators of the fragmentation of these ecosystem types in these cities and obtained their general geographic characteristics. The study has shown significant distinctions in the spatial structure of quasi-natural ecosystems between the cities of Donetsk and Makeyevka.

Key words: quasi-natural ecosystem, steppe area and forest area, fragmentation indicators, range of occupied areas, Donetsk city, Makeyevka city