



УДК 504.54.062.54.062.4:504.453

DOI: 10.18413/2075-4671-2018-42-2-231-245

**ОЦЕНКА МИГРАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ
АЛЕКСАНДРОВСКОГО РАЙОНА (ДОНЕЦКОЙ ОБЛАСТИ)****ESTIMATE OF THE MIGRATION POTENTIAL OF ECOLOGICAL NETWORK IN
ALEKSANDROVSKY DISTRICT (DONETSK REGION)****А.А. Блэкберн, О.Н. Калинихин
A.A. Blackburn, O.N. Kalinihin**

ГУ «Донецкий ботанический сад», 83059, г. Донецк, пр-кт Ильича, 110;
ГОУЗВПО «Донецкий национальный технический университет»,
83001, г. Донецк, ул. Артема, 58.

Donetsk Botanical Garden, 110 Ilyich Av. 83059, Donetsk;
Donetsk National Technical University, 58 Artem St., 83001, Donetsk

E-mail: blackburn.fox@mail.ru; kalinihin@gmail.com

Аннотация

Статья является логическим продолжением статьи, в которой была представлена комплексная оценка природных ядер локальных экосетей Александровского района (Донецкой области) с точки зрения их биологического и экосистемного разнообразия, а также биоцентрично-сетевой пространственной их структуры. В данной статье дается оценка потенциальным миграционным связям между локальными природными ядрами на основе гравитационной модели сходства составляющих эти ядра геотопов. По признаку степени сходства геотопической структуры природных ядер определен миграционный потенциал между ними, на основании чего выделены пространственные кластеры природных ядер 1-го, 2-го и 3-го порядков. Делается вывод о том, что природным ядрам, образующим кластеры с высоким уровнем миграционного потенциала, а также их объединениям (кластерам 2-го и выше порядков), следует уделять особое внимание с точки зрения природоохранных позиций. А с учетом концентрации этих кластеров в гидрологической сети района необходимо создавать ООПТ на каждом водотоке 1-го и/или 2-го порядков за счет составляющих их природных ядер с большой природоохранной значимостью и высокой степенью миграционного потенциала.

Abstract

The article is a logical continuation of the article, which presented a comprehensive assessment of the natural nuclei of local ecosomes of the Aleksandrovsky district (Donetsk region) in terms of their biological and ecosystem diversity, as well as their biocentric-network spatial structure. In this article, we estimate the potential migration links between local natural nuclei on the basis of the gravitational model of the similarity of the constituent geotopes of these nuclei. Based on the degree of similarity of the geotop structure of natural nuclei, the migration potential between them is determined, based on which spatial clusters of natural nuclei of the 1st, 2nd and 3rd orders are identified. It is concluded that natural nuclei forming clusters with a high level of migration potential, as well as their associations (clusters of the 2nd and higher order), should be given special attention in terms of environmental positions. And taking into account the concentration of these clusters in the hydrological network of the district, it is necessary to create PAs on each 1st and / or 2nd order watercourse at the expense of their natural nuclei with great environmental significance and a high degree of migration potential.

Ключевые слова: экологические сети, природные ядра, миграционный потенциал, экокоридоры.
Keywords: ecological networks, natural cores, migration potential, ecocorridors.



Введение

В предыдущей публикации [Блакберн, Калинихин, 2017a] была рассмотрена пространственная структура локальных экологических сетей двух водосборных территорий Александровского административного района Донецкой области. Цель работы заключалась в сравнительном анализе природных ядер локальных экосетей с позиций их «экосетевой значимости», то есть с точки зрения их биологического разнообразия и топологического положения в общей биоцентрично-сетевой их пространственной структуре. В результате была построена иерархическая пространственная схема локальных экосетей, где составляющие её природные ядра были определены в 1-й и 2-й ряды «значимости» по степени их природоохранной ценности, на основании которой рекомендовано создание новых объектов ООПТ (особо охраняемых природных территорий).

Однако выше приведенный анализ структуры локальных экологических сетей не учитывает самой главной характеристики любой экосети, а именно, ее способности обеспечивать миграцию видов (организмов) между ее природными ядрами. Биоцентрично-сетевая ее структура лишь отчасти отражает эту способность, но лишь на уровне наличия пространственного контакта ядер между собой, без учета расстояния между ними, общности их биотического состава, влияния размеров ядер на эту миграцию. Без учета всего этого оценка экосетевого потенциала территории является слишком формальной и до некоторой степени условной. Большинство исследований, связанных с экологическими сетями, посвящены трем основным тематическим направлениям: изучению влияния сложности ландшафтной структуры на биоразнообразие [Chape et al., 2005; Wagner, Fortin, 2005; Duro et al., 2007; Fahrig et al., 2011; González-Megías et al., 2011;], исследованиям миграционных возможностей экосетей [Coulon et al., 2008; George et al., 2012; Ziółkowska et al., 2016] и оценке сложности структуры ландшафтов как индикатора состояния экосистем [Samuel, Cushman, Huettmann, 2010; Sandra MacFadyen et al., 2016]. Менее значительный ряд публикаций посвящен более обширному спектру исследований – от влияния биоразнообразия на землепользование [Maile et al., 2004; Fischer, Lindenmayer, 2007] до взаимосвязи сложности ландшафтной структуры и процессов видообразования [Doebeli, Dieckmann, 2003]. Особый интерес представляют исследования, посвященные оценке миграций видов организмов между природными территориями на основе биотопического (геотопического) сходства этих территорий [Клюев, Ван дер Слуис, 2012], а также общему характеру фрагментации природных территорий (в данном случае степных экосистем) в Донбассе [Клюев, Аверин, 2014]. Однако первая из этих работ касается оценки миграционной возможности лишь пяти модельных видов фауны, а вторая являет собой пример компьютерного моделирования с целью дифференциации и оценки фрагментации территорий, выделенных по типу растительности.

В нашей работе предлагается новая оригинальная методика оценки пространственной связи ядер между собой и эффективности миграционной способности всей экосети в целом на основе определения **миграционного потенциала** ее ядер и, как результат, построения иерархической пространственной ее схемы в виде кластеров разного уровня составляющих ее природных ядер [Блакберн, Калинихин, 2017b; Blackburn et al., 2017].

В основе данной методики лежит так называемая «гравитационная модель» взаимного влияния двух однотипных структур или систем при наличии определенной физической связи между ними. Взятая из классических законов физики («закон гравитации, или взаимного притяжения тел» Ньютона), данная модель сейчас используется достаточно широко и в других науках, например, в социально-экономической географии, где она применяется для оценки или прогноза миграционной активности или товаропотока между населенными пунктами и т. п. [Brunsdon C. et al., 2002]. Также эта модель может быть использована и при оценке интенсивности

миграционных связей видов организмов между биоцентрами (или любыми другими природными территориями) [Гродзинський, 1993; Гродзинський, 2005]. В последнем случае в качестве «масс» взаимодействующих участков территории принимаются количество видов (видовое богатство) каждого участка, а количество общих видов на них рассматривается через связывающий коэффициент k . В качестве расстояния между участками принимается либо наиболее короткий прямой отрезок между участками, если окружающий эти участки ландшафтный фон близок к ним по своему природному содержанию, либо длина связывающего их коридора – участка линейной конфигурации, сходного с ними по структуре растительности, если фон сильно отличается от этих участков.

Однако данный метод возможен при условии хорошей изученности биоты исследуемых территорий. В большинстве случаев при подобных исследованиях состав биоты изучен недостаточно (даже не для всех особо охраняемых природных территорий (ООПТ) проведена полная инвентаризация их биоты) [Chape et al., 2005; Spencer et al., 2015]. При отсутствии полных данных о составе биоты гораздо легче и быстрее (поскольку определяется часто визуально или, например, по аэро- и космическим фотоснимкам) определить сходство исследуемых участков по типу (типам) растительности, произрастающей на них. При этом, как правило, известен приблизительно фоновый состав их биоты и при условии небольшой удаленности этих территорий и, как следствие, расположения их в пределах одного биогеографического либо физико-географического района, с высокой степенью вероятности можно предположить, что степень общности их биоты весьма высокая.

В этом случае на первый план выходит не столько видовое богатство исследуемых территорий и даже не занимаемая ими площадь (а, как известно, обе эти характеристики находятся в функциональной связи), а разнообразие мест обитаний видов организмов, то есть опять-таки разнообразие типов растительности и связанных с ними геотопов [Gould, 2000; Гродзинський, 2005; González-Megías et al., 2011]. Тогда миграционные связи могут быть оценены через степень сходства (различия) отдельных видов геотопов и относительные значения площадей этих геотопов в пределах исследуемых территорий. Иначе говоря, чем больше относительная доля одинаковых типов местообитаний (геотопов) между двумя участками территории, тем больше интенсивность миграции организмов между ними.

Объекты и методы исследования

Описание района исследования и критериев выбора объектов исследования – природных ядер и экологических коридоров, а также картосхема их пространственного размещения были даны в предыдущей публикации [Блакберн, Калинихин, 2017а]. На основе земельного кадастра исследуемого района, а также экспертной оценки биологического разнообразия (видового богатства высших сосудистых растений и количества растительных формаций) природных ядер было оценено и эко(гео)системное разнообразие структурных компонентов локальных экосетей района, площади которых определялась через геотопические контуры земельных угодий, входящих в состав природных ядер и экокоридоров. В локальных экосетях Самарской и Торецкой водосборных территорий абсолютно преобладают геосистемы «природного содержания», то есть в которых сохранился естественный тип растительности. Как в природных ядрах, так и в экокоридорах обоих водосборов к таковым отнесены: пастбища, лесопокрываемые территории, сенокосы, каменистые земли и овраги, заболоченные участки, реки и пруды. В дальнейшем на основе анализа геотопического сходства земельных угодий природных ядер и экокоридоров определялся миграционный потенциал между ядрами локальной экосети каждого водосбора.

Метод оценки миграционного потенциала между природными ядрами экологической сети базируется на следующих положениях:



Основа – «гравитационная модель» взаимного влияния («притяжения») природных ядер чрез потенциальную миграцию населяющих их видов организмов (растений и животных):

$$P_{i,j} = \frac{k \cdot C_i \cdot C_j}{d_{i,j}^2}, \quad (1)$$

где, $P_{i,j}$ – степень (потенциал) взаимного влияния между природными ядрами C_i и C_j ;
 C_i и C_j – «масса» ядер – количество видов (видовой состав, биологическое разнообразие) соответственно ядер i и j ;
 k – коэффициент, показывающий относительную долю общих видов между C_i и C_j ;
 d_{ij} – расстояние (длина) связывающего их коридора.

Так как в абсолютном большинстве случаев неизвестно общее количество видов для соседних природных ядер, а часто и точное количество видов в каждом ядре, то *следует допустить*:

1) для близкорасположенных природных ядер в границах, как правило, одного физико-географического (геоботанического, флористического, зоогеографического) района общность видов практически стопроцентная, то есть их видовой состав почти однороден на однотипных участках территорий (в одинаковых типах экосистем);

2) поэтому логично допустить, что степень взаимного влияния между природными ядрами определяется, в первую очередь, *степенью сходства составляющих их типов участков территорий* (геотопов).

В этом случае, в первом приближении, весом («массой») каждого природного ядра выступает сумма площадей составляющих его типов участков территорий. Тогда k , например, между ядрами C_i и C_j будет определяться *степенью «площадного сходства»* составляющих их территорий в виде их отношений, где меньшее значение делится на соответствующее ему большее, так как коэффициент k должен быть в диапазоне от «0» до «1».

Например, доленое распределение типов территорий («с» – сенокосы, «п» – пастбища, «л» – леса, «р» – пашни, «я» – овраги, «кам» – каменистые пустоши).

$$C_i = 0.2с : 0.3п : 0.5л;$$

$$C_j = 0.1с : 0.4п : 0.2л : 0.3р;$$

$$\text{тогда } k_{ij} = (0.1с / 0.2с + 0.3п / 0.4п + 0.2л / 0.5л + 0р / 0.3р) / 4 = \\ = (0.5с + 0.75п + 0.4л + 0р) / 4 = 1.65 / 4 = 0.41$$

Аналогично можно вместо относительной доли площади типов территорий использовать их абсолютные площади (в га или км²);

3) кроме того, в формуле 1 желательнее использовать *дополнительный коэффициент* для связывающего эти ядра коридора, например, r_{ij} , который рассчитывается аналогично k , но где большее значение n -го типа территории делится на меньшее, так как данный коэффициент должен стоять в знаменателе (либо рассчитывается аналогично коэффициенту k_{ij} , но в этом случае коэффициент r_{ij} должен быть в числителе формулы):

$$P_{i,j} = \frac{k \cdot C_i \cdot C_j}{r_{i,j} \cdot d_{i,j}^2} \quad (2)$$

Однако для большей объективности оценки значимости природных ядер в качестве их веса («массы»), учитывающей их биологическое и экосистемное разнообразие (а не только площади составляющих их типов участков/территорий), предлагается использовать их *балльные оценки* по всем рассматриваемым характеристикам, то есть

$$C_i = \text{сумма всех набранных баллов ядра } i;$$

$$C_j = \text{сумма всех набранных баллов ядра } j.$$

Коэффициенты k и r (или k_{ij} и r_{ij}) рассчитываются только лишь через значения (абсолютные или относительные) площадей ядер.

Конечным же результатом такой кластеризации должна быть *общая картина «миграционного потенциала»* данной экосети (или ее фрагмента), аналогично



«потенциалу электромагнитного поля» или напряжению канала связи, так как основой любой экосети являются именно её коридоры – её скелет.

Таким образом, выстраивается общая картина пространственной иерархической структуры всего водосборного бассейна реки (или его части), где по потенциалу составляющих его ядер и коридоров методом пространственной кластеризации определяются соответствующие ранги (классы) всей экосети (локальные – местные – субрегиональные – региональные – надрегиональные – национальные).

Полученная схема пространственной иерархии экосети может, например, быть основой для экосетевого районирования всей территории страны (или крупного ее региона).

Результаты исследования и их обсуждение

Миграционный потенциал между природными ядрами локальных экосетей рассчитывался по выше приведенной методике. В качестве «веса» ядер использовалась ранее полученная их комплексная балльная оценка. Связывающие коэффициенты k_{ij} и r_{ij} определялись через отношение долей (в %) площадей типов геотопов (в нашем случае типов земельных угодий), где меньшие значения делились на большие. В результате формула миграционной связи имела вид:

$$P_{i,j} = \frac{k_{i,j} \cdot r_{i,j} \cdot C_i \cdot C_j}{d_{i,j}^2}, \quad (3)$$

где P_{ij} – миграционный потенциал между ядрами i и j ;

C_i и C_j – соответственно их комплексные балльные оценки (куда входят оценки в баллах по видовому и фитоценологическому богатству, включая и их раритетную составляющую, по занимаемым площадям каждого типа геосистем);

k_{ij} – коэффициент сходства их типов геосистем, определяемый отношением меньшего значения на большее для каждого типа геосистем, общего для обоих ядер;

r_{ij} – коэффициент сходства типов геосистем между ядрами и связывающего их коридора, рассчитывается аналогично k_{ij} , но площадь общих типов геосистем ядер берется как средняя арифметическая между ними и соотносится с таковой у экокоридора;

d_{ij} – расстояние (в км) между ядрами i и j по связывающему их фрагменту экокоридора (речной сети).

В таблицах 1, 2 и 3, 4 приведены данные по расстоянию и миграционному потенциалу между природными ядрами, соответственно, Самарского водосбора и трех фрагментов гидросети Торецкого водосбора. Данные миграционных потенциалов, по своему значению существенно превышающие остальные, выделены *жирным шрифтом*.

Из табл. 2 видно, что миграционный потенциал связей между ядрами имеет огромный разброс своих абсолютных значений и на первый взгляд здесь не прослеживается какой-либо закономерности, кроме того, что близко расположенные друг к другу ядра имеют в среднем более высокие значения миграционного потенциала между собой, чем с более удаленными. Тем не менее, даже среди рядом расположенных ядер наблюдается существенная разница в их миграционных потенциалах, объясняемая различной степенью сходства составляющих их типов геосистем как между собой, так и соединяющего их экокоридора. Кроме того, из матрицы миграционных потенциалов видно, что их высокие значения образуют в ней определенные компактные группы, группируясь по клеткам матрицы, непосредственно связанным между собой в горизонтальном, вертикальном направлении или по диагонали. Выделяясь на общем числовом фоне своими в несколько раз превышающими остальные значениями миграционного потенциала, такие группы ядер и образуют *первичные пространственные кластеры (кластеры 1-го порядка)* в экосети по миграционному потенциалу между ними (в таблицах 2 и 4 они выделены жирным шрифтом). Кроме общего факта наличия тесной связи между ядрами, эти кластеры показывают и наиболее значимые ядра по своему миграционному потенциалу в данном кластере, если эти ядра (или ядро) превышает



остальные по числу связей между всеми ядрами в кластере. Иначе говоря, в таком кластере можно выделить центральное (или центральное и субцентральное) ядро.

Таблица 1

Table 1

Расстояние (км) между природными ядрами экосети Александровского района:

Самарский водосбор

Distance (km) between natural cores of the econet of the Aleksandrovsky district: Samara catchment area

Ядра	Яс1	Яс2	Яс3	Яс4	Яс5	Яс6	Яс7	Яс8	Яс9
Яс1		0.85	1.70	3.40	11.90	18.70	26.35	29.75	34.00
Яс2	0.85		3.40	1.70	10.20	15.30	19.55	22.95	29.75
Яс3	1.70	3.40		0.85	19.55	26.35	31.45	32.30	40.80
Яс4	3.40	1.70	0.85		17.00	22.95	28.25	30.60	35.70
Яс5	11.90	10.20	19.55	17.00		5.10	9.35	11.90	17.00
Яс6	18.70	15.30	26.35	22.95	5.10		4.25	7.65	12.75
Яс7	26.35	19.55	31.45	21.25	9.35	4.25		8.50	12.75
Яс8	29.75	22.95	32.30	30.60	11.90	7.65	8.50		5.10
Яс9	34.00	29.75	40.80	35.70	17.00	12.75	12.75	5.10	
Яс10	34.85	30.60	41.65	37.40	18.70	13.60	14.45	5.95	0.85
Яс11	35.70	31.45	42.50	39.40	20.40	15.30	17.00	8.50	2.55
Яс12	39.10	34.00	44.20	43.35	23.80	19.55	19.55	11.90	6.80
Яс13	39.95	34.85	47.60	44.20	25.50	21.25	21.25	13.60	8.50
Яс14	39.95	35.70	45.90	43.35	22.95	20.40	20.40	12.75	7.65
Яс15	37.40	32.30	44.20	39.10	21.25	17.00	17.00	9.35	4.25
Яс16	15.30	11.05	22.10	18.70	2.55	5.10	10.20	11.90	17.00
<i>Ср (:15)</i>	<i>24.59</i>	<i>20.91</i>	<i>29.64</i>	<i>27.04</i>	<i>15.81</i>	<i>15.02</i>	<i>16.89</i>	<i>14.85</i>	<i>15.70</i>

Продолжение таблицы 1

Continuation of table 1

Ядра	Яс10	Яс11	Яс12	Яс13	Яс14	Яс15	Яс16	Σi
Яс1	34.85	35.70	39.10	39.95	39.95	37.40	15.30	368.90
Яс2	30.60	31.45	34.00	34.85	35.70	32.30	11.05	313.65
Яс3	41.65	42.50	44.20	47.60	45.90	44.20	22.10	444.55
Яс4	37.40	39.10	43.35	44.20	43.35	39.10	18.70	405.65
Яс5	18.70	20.40	23.80	25.50	22.95	21.25	2.55	237.15
Яс6	13.60	15.30	19.55	21.25	20.40	17.00	5.10	225.25
Яс7	14.45	17.00	19.55	21.25	20.40	17.00	10.20	253.30
Яс8	5.95	8.50	11.90	13.60	12.75	9.35	11.90	222.70
Яс9	0.85	2.55	6.80	8.50	7.65	4.25	17.00	235.45
Яс10		0.85	5.95	6.80	6.80	3.40	18.70	240.55
Яс11	0.85		5.95	7.65	6.80	3.40	20.40	257.85
Яс12	5.95	5.95		1.70	0.85	0.50	22.95	280.15
Яс13	6.80	7.65	1.70		1.70	2.55	25.50	302.60
Яс14	6.80	6.80	0.85	1.70		1.70	23.80	290.70
Яс15	3.40	3.40	0.50	2.55	1.70		20.40	253.80
Яс16	18.70	20.40	22.95	25.50	23.80	20.40		245.65
<i>Ср (:15)</i>	<i>16.04</i>	<i>17.19</i>	<i>18.68</i>	<i>20.17</i>	<i>19.38</i>	<i>16.92</i>	<i>16.38</i>	



Таблица 2
Table 2

Миграционный потенциал между природными ядрами экосети Александровского района:
Самарский водосбор
The migratory potential between the natural cores of the econet of the Aleksandrovsky district: Samara
catchment area

Ядра	Яс1	Яс2	Яс3	Яс4	Яс5	Яс6	Яс7	Яс8
Яс1		2915.17	243.79	45.83	5.92	2.61	0.73	0.96
Яс2	2915.17		90.85	223.59	7.94	6.54	1.89	1.12
Яс3	243.79	90.85		1433.40	2.79	0.39	0.36	0.09
Яс4	45.83	223.59	1433.40		7.66	0.99	0.97	0.31
Яс5	5.92	7.94	2.79	7.66		15.50	9.78	1.55
Яс6	2.61	6.54	0.39	0.99	15.5		21.49	5.05
Яс7	0.73	1.89	0.36	0.97	9.78	21.49		1.90
Яс8	0.96	1.12	0.09	0.31	1.55	5.05	1.90	
Яс9	0.09	0.22	0.18	0.30	1.44	0.75	0.97	1.49
Яс10	0.03	0.09	0.07	0.10	0.47	0.34	0.45	0.45
Яс11	0.31	0.60	0.14	0.57	1.32	2.61	1.34	1.02
Яс12	0.34	0.63	0.14	0.21	0.88	1.09	0.62	0.89
Яс13	0.31	0.50	0.06	0.15	0.68	0.89	0.44	1.44
Яс14	0.29	0.53	0.15	0.30	1.69	1.46	0.48	2.58
Яс15	0.55	0.81	0.10	0.30	1.11	1.89	1.29	2.80
Яс16	2.64	5.88	0.33	1.15	68.46	17.69	3.12	1.45
Сред. (:15)	<i>214.64</i>	<i>217.09</i>	<i>118.19</i>	<i>114.39</i>	<i>8.48</i>	<i>5.29</i>	<i>3.06</i>	<i>1.54</i>

Продолжение таблицы 2
Continuation of table 2

Ядра	Яс9	Яс10	Яс11	Яс12	Яс13	Яс14	Яс15	Яс16	\sum_i
Яс1	0.09	0.03	0.31	0.34	0.31	0.29	0.55	2.64	3219.57
Яс2	0.22	0.09	0.60	0.63	0.50	0.53	0.81	5.88	3256.36
Яс3	0.18	0.07	0.14	0.14	0.06	0.15	0.10	0.33	1772.84
Яс4	0.30	0.10	0.57	0.21	0.15	0.30	0.30	1.15	1715.83
Яс5	1.44	0.47	1.32	0.88	0.68	1.69	1.11	68.46	127.19
Яс6	0.75	0.34	2.61	1.09	0.89	1.46	1.89	17.69	79.29
Яс7	0.97	0.45	1.34	0.62	0.44	0.48	1.29	3.12	45.83
Яс8	1.49	0.45	1.02	0.89	1.44	2.58	2.80	1.45	23.10
Яс9		78.90	17.52	2.39	0.76	2.34	4.10	0.24	111.69
Яс10	78.90		95.80	1.29	0.70	1.12	2.46	0.07	182.34
Яс11	17.52	95.80		6.42	3.64	9.22	21.67	0.51	162.69
Яс12	2.39	1.29	6.42		49.41	311.67	1048.80	0.41	1425.19
Яс13	0.76	0.70	3.64	49.41		60.00	44.51	0.38	163.87
Яс14	2.34	1.12	9.22	311.67	60.00		100.01	0.44	492.28
Яс15	4.10	2.46	21.67	1048.8	44.51	100.01		0.35	1230.75
Яс16	0.24	0.07	0.51	0.41	0.38	0.44	0.35		103.12
Сред. (:15)	<i>7.45</i>	<i>12.16</i>	<i>10.85</i>	<i>95.01</i>	<i>10.92</i>	<i>32.82</i>	<i>82.05</i>	<i>6.88</i>	

Кроме того, из матрицы (табл. 2 и табл. 4) видно, что некоторые ядра, имеющие существенные значения своего миграционного потенциала, могут одновременно находиться в разных кластерах. Такие ядра являются связывающими эти кластеры между собой, образуя, таким образом, *кластеры 2-го порядка*. Группируя кластеры 1-го порядка



через связывающие их ядра в кластеры 2-го порядка, можно увидеть дальше, что есть ядра, которые связывают между собой и кластеры 2-го порядка, то есть образуют *кластеры 3-го порядка* (либо целые кластеры нижнего порядка одновременно могут входить в два разных кластера более высокого порядка). Иначе говоря, имеет место *вид пятнистой иерархической конфигурации структуры ландшафта*, когда две или несколько геотопических конфигураций, полностью или частично перекрываясь, образуют геотопическую структуру более высокого ранга, как правило, более сложно организованную [Гродзинский, 2005].

Таблица 3

Table 3

Расстояние (км) между природными ядрами Александровского района: Торецкий водосбор
Distance (km) between natural cores of the econet of the Aleksandrovsky district: Torec catchment area

Ядра	Ят1	Ят2	Ят3	Ят4	Ят5	Ят6	Ят7	Ят8	Ят9	Ят10	Ят11	Ят12	Ят13
Ят1	-	0.78	2.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ят2	0.78	-	1.34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ят3	2.02	1.34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ят4	-	-	-	-	2.8	4.12	-	5.6	11.2	11.2	-	-	-
Ят5	-	-	-	2.8	-	2.8	-	5.6	11.2	11.2	-	-	-
Ят6	-	-	-	4.12	2.8	-	-	3.92	9.52	9.52	-	-	-
Ят7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ят8	-	-	-	5.6	5.6	3.92	-	-	0.67	1.12	-	-	-
Ят9	-	-	-	11.2	11.2	9.52	-	0.67	-	1.12	-	-	-
Ят10	-	-	-	11.2	11.2	9.52	-	1.12	1.12	-	-	-	-
Ят11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.92	5.6
Ят12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.92	-	2.8
Ят13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.6	2.8	-

Таблица 4

Table 4

Миграционный потенциал между природными ядрами Александровского района:
Торецкий водосбор
The migratory potential between the natural cores of the econet of the Aleksandrovsky district:
Torec catchment area

Ядра	Ят1	Ят2	Ят3	Ят4	Ят5	Ят6
Ят1	-	982.7	506.00	-	-	-
Ят2	982.7	-	156.31	-	-	-
Ят3	506.0	156.31	-	-	-	-
Ят4	-	-	-	-	62.84	52.67
Ят5	-	-	-	62.84	-	93.93
Ят6	-	-	-	52.67	93.93	-
Ят7	-	-	-	-	-	-
Ят8	-	-	-	63.94	40.07	99.0
Ят9	-	-	-	0.51	0.93	0.75
Ят10	-	-	-	15.20	9.50	15.95
Ят11	-	-	-	-	-	-
Ят12	-	-	-	-	-	-
Ят13	-	-	-	-	-	-
Сред.	744.35	569.5	331.16	39.03	41.45	52.46



Продолжение таблицы 4
Continuation of table 4

Ядра	Ят7	Ят8	Ят9	Ят10	Ят11	Ят12	Ят13	$\sum i$
Ят1	-	-	-	-	-	-	-	1488.7
Ят2	-	-	-	-	-	-	-	1139.01
Ят3	-	-	-	-	-	-	-	662.31
Ят4	-	63.94	0.51	15.20	-	-	-	195.16
Ят5	-	40.07	0.93	9.50	-	-	-	207.27
Ят6	-	99.0	0.75	15.95	-	-	-	262.3
Ят7	-	-	-	-	-	-	-	-
Ят8	-	-	205.33	1398.01	-	-	-	1806.35
Ят9	-	205.33	-	85.44	-	-	-	292.96
Ят10	-	1398.01	85.44	-	-	-	-	1524.1
Ят11	-	-	-	-	-	0.97	0.32	1.29
Ят12	-	-	-	-	0.97	-	1.30	2.27
Ят13	-	-	-	-	0.32	1.30	-	1.62
Сред.	-	361.27	58.59	304.82	0.65	1.14	0.81	-

В нашем случае иерархическая направленность создается не просто ростом числа ядер, входящих в кластер последующего порядка, но и увеличением охватываемой кластерами площади, ростом структурного (экосистемного и биологического) разнообразия всей территории, что собственно и может быть отражено в совокупной балльной оценке составляющих их ядер.

Схема пространственной кластеризации ядер экосети Самарского водосбора имеет вид:

Кластеры 1-го порядка: включают ядра, миграционный потенциал между которыми существенно превышает фон. В качестве нижнего предела принимается значение потенциала = 10.00.

1.1. Кл1: ядра (Яс1 + Яс2 + Яс3 + Яс4);

Количество ядер $N_i = 4$; число миграционных связей $n = 6$

Значения их миграционного потенциала (по степени его убывания):

$$Яс1 \div Яс2 = 2915.17;$$

$$Яс3 \div Яс4 = 1433.4;$$

$$Яс1 \div Яс3 = 243.79;$$

$$Яс2 \div Яс4 = 223.59;$$

$$Яс2 \div Яс3 = 90.85;$$

$$Яс1 \div Яс4 = 45.83$$

Среднее значение миграционного потенциала в кластере:

$$4.952.63 : 6 = 825.44$$

В данном кластере центральных ядер нет.

1.2. Кл2: ядра (Яс5 + Яс6 + Яс7);

Количество ядер $N_i = 3$; число миграционных связей $n = 3$

Значения их миграционного потенциала (по степени его убывания):

$$Яс6 \div Яс7 = 21.49$$

$$Яс5 \div Яс6 = 15.50$$

$$Яс5 \div Яс7 = 9.78$$

Среднее значение миграционного потенциала в кластере:

$$46.77 : 3 = 15.59$$

В данном кластере центральных ядер нет.



1.3. Кл3: ядра (Яс9 + Яс10 + Яс11);

Количество ядер $N_i = 3$; число миграционных связей $n = 3$

Значения их миграционного потенциала (по степени его убывания):

$$\text{Яс10} \div \text{Яс11} = 95.80$$

$$\text{Яс9} \div \text{Яс10} = 78.90$$

$$\text{Яс9} \div \text{Яс11} = 17.52$$

Среднее значение миграционного потенциала в кластере:

$$192.22 : 3 = 64.07$$

В данном кластере центральных ядер нет.

1.4. Кл4: ядра (Яс11 + Яс12 + Яс13 + Яс14 + Яс15);

Количество ядер $N_i = 5$; число миграционных связей $n = 7$

Значения их миграционного потенциала (по степени его убывания):

$$\text{Яс12} \div \text{Яс15} = 1.048.80;$$

$$\text{Яс12} \div \text{Яс14} = 311.67;$$

$$\text{Яс14} \div \text{Яс15} = 100.01;$$

$$\text{Яс13} \div \text{Яс14} = 60.00;$$

$$\text{Яс12} \div \text{Яс13} = 49.41;$$

$$\text{Яс13} \div \text{Яс15} = 44.51;$$

$$\text{Яс11} \div \text{Яс15} = 21.67$$

Среднее значение миграционного потенциала в кластере:

$$1636.07 : 7 = 233.72$$

В данном кластере центральных ядер нет.

1.5. Кл5: ядра (Яс5 + Яс6 + Яс16);

Количество ядер $N_i = 3$; число миграционных связей $n = 2$

Значения их миграционного потенциала:

$$\text{Яс5} \div \text{Яс16} = 68.46$$

$$\text{Яс6} \div \text{Яс16} = 17.69$$

Среднее значение миграционного потенциала в кластере:

$$86.15 : 2 = 43.08$$

Ядро **Яс16** является центральным в данном кластере (связывается с двумя другими ядрами).

Кластеры 2-го порядка: образуются путем группировки кластеров 1-го порядка за счет общих ядер между ними (выделены жирным шрифтом):

$$2.1. [\text{Кл2} + \text{Кл5}] = [(\text{Яс5} + \text{Яс6} + \text{Яс7}) + (\text{Яс5} + \text{Яс6} + \text{Яс16})]$$

Среднее значение миграционного потенциала в кластере:

$$(15.59 + 43.08) : 2 = 29.34$$

Ядра **Яс5** и **Яс6** являются связывающими в данном кластере (присутствуют одновременно в двух кластерах).

$$2.2. [\text{Кл3} + \text{Кл4}] = [(\text{Яс9} + \text{Яс10} + \text{Яс11}) + (\text{Яс11} + \text{Яс12} + \text{Яс13} + \text{Яс14} + \text{Яс15})]$$

Среднее значение миграционного потенциала в кластере:

$$(64.07 + 233.72) : 2 = 148.9$$

Ядро **Яс11** является связывающим в данном кластере.

Кластеров 3-го и выше порядков на Самарском участке экосети не образуется. В целом пространственная структура экосети Самарского водосбора, оцененная по



миграционному потенциалу составляющих ее природных ядер, довольно проста. Из относительно большого количества входящих в нее природных ядер (16 ядер) образуется всего пять кластеров 1-го порядка и только два 2-го порядка (рис.).

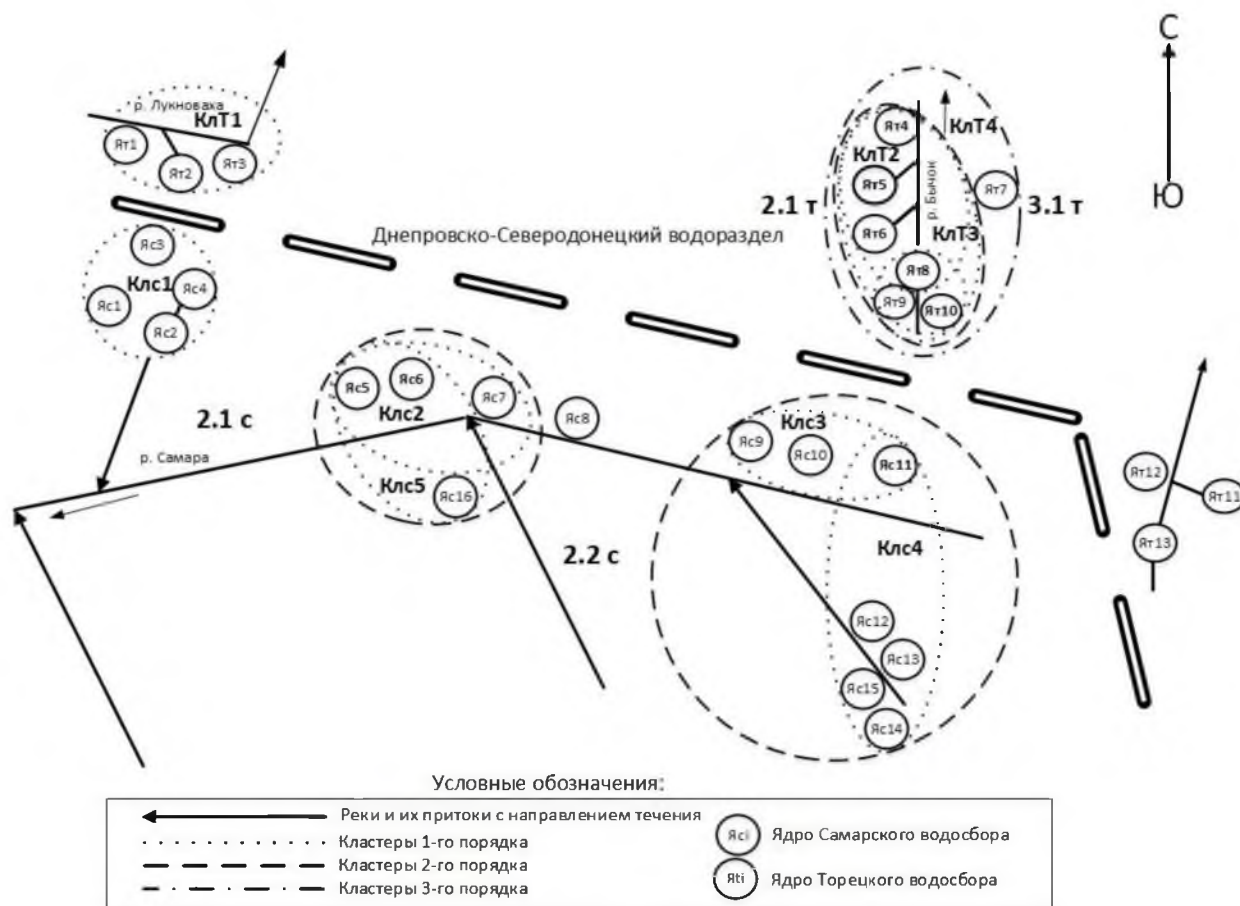


Рис. Картограмма пространственной связи миграционного потенциала экологической сети Александровского района

Fig. Map of the spatial connection of the migration potential of the ecological network of the Aleksandrovsky district

Это объясняется, в основном, пространственной разобщенностью природных ядер Самарского водосбора и, как следствие, небольшой степенью связности их между собой. Как и ожидалось, наивысшие значения миграционного потенциала имеют кластеры, представленные компактно и близко расположенными относительно друг друга природными ядрами (Кл1 и Кл4). Роль отдельных природных ядер в миграционной функции всего Самарского участка экосети не прослеживается. Тем не менее, учитывая результаты оценки природных ядер по основным характеристикам [Блакберн, Калининин, 2017а], следует отметить относительно большую роль природных ядер всего кластера Кл1 (ядра **Яс1, Яс2, Яс3, Яс4**) (а внутри него роль ядра **Яс2**), и ядер кластера Кл2 – **Яс5** и **Яс6**. Последние два ядра являются также связывающими в образовании кластера 2-го порядка – 2.1. Примечателен и тот факт, что во всех природных ядрах кластера Кл1 имеются объекты ПЗФ (ООПТ), а также в ядре Яс5 – крупнейшая ООПТ во всем Александровском районе – заказник местного значения «Верхнесамарский», площадью 168.3 га.

Схема пространственной кластеризации ядер экосети Торейского водосбора имеет вид:
Кластеры 1-го порядка:

1.1. Кл1: ядра (Ят1 + Ят2 + Ят3);



Количество ядер $N_i = 3$; число миграционных связей $n = 3$

Значения их миграционного потенциала:

$$Я_{т1} \div Я_{т2} = 982.70$$

$$Я_{т1} \div Я_{т3} = 506.00$$

$$Я_{т2} \div Я_{т3} = 156.31$$

Среднее значение миграционного потенциала в кластере:

$$1645.02 : 3 = 548.34$$

В данном кластере центральных ядер нет.

1.2. Кл2: ядра ($Я_{т4} + Я_{т5} + Я_{т6} + Я_{т8}$);

Количество ядер $N_i = 4$; число миграционных связей $n = 6$

Значения их миграционного потенциала:

$$Я_{т6} \div Я_{т8} = 99.00;$$

$$Я_{т4} \div Я_{т5} = 62.84;$$

$$Я_{т5} \div Я_{т6} = 93.93;$$

$$Я_{т4} \div Я_{т6} = 52.67;$$

$$Я_{т4} \div Я_{т8} = 63.94;$$

$$Я_{т5} \div Я_{т8} = 40.07$$

Среднее значение миграционного потенциала в кластере:

$$412.45 : 6 = 68.74$$

В данном кластере центральных ядер нет.

1.3. Кл3: ядра ($Я_{т8} + Я_{т9} + Я_{т10}$);

Количество ядер $N_i = 3$; число миграционных связей $n = 3$

Значения их миграционного потенциала:

$$Я_{т8} \div Я_{т10} = 1398.01$$

$$Я_{т8} \div Я_{т9} = 205.33$$

$$Я_{т9} \div Я_{т10} = 85.44$$

Среднее значение миграционного потенциала в кластере:

$$1688.78 : 3 = 562.93$$

В данном кластере центральных ядер нет.

1.4. Кл4: ядра ($Я_{т4} + Я_{т5} + Я_{т6} + Я_{т10}$);

Количество ядер $N_i = 4$; число миграционных связей $n = 3$

Значения их миграционного потенциала:

$$Я_{т6} \div Я_{т10} = 15.95$$

$$Я_{т4} \div Я_{т10} = 15.20$$

$$Я_{т5} \div Я_{т10} = 9.50$$

Среднее значение миграционного потенциала в кластере:

$$40.65 : 3 = 13.55$$

Ядро **Я_{т10}** является центральным в данном кластере (связано с тремя остальными ядрами).

Кластеры 2-го порядка:

$$2.1. [Кл2 + Кл3] = [(Я_{т4} + Я_{т5} + Я_{т6} + Я_{т8}) + (Я_{т8} + Я_{т9} + Я_{т10})]$$

Среднее значение миграционного потенциала в кластере:

$$(68.74 + 562.93) : 2 = 315.84$$

Ядро **Я_{т8}** является связывающим в данном кластере.

$$2.2. [Кл2 + Кл4] = [(Я_{т4} + Я_{т5} + Я_{т6} + Я_{т8}) + (Я_{т4} + Я_{т5} + Я_{т6} + Я_{т10})]$$

Среднее значение миграционного потенциала в кластере:

$$(68.74 + 13.55) : 2 = 41.15$$

Ядра **Я_{т4}, Я_{т5}, Я_{т6}** являются связывающими в данном кластере.



$$2.3. [Кл3 + Кл4] = [(Ят8 + Ят9 + \mathbf{Ят10}) + (Ят4 + Ят5 + Ят6 + \mathbf{Ят10})]$$

Среднее значение миграционного потенциала в кластере:

$$(562.93 + 13.55) : 2 = 288.44$$

Ядро **Ят10** является связывающим в данном кластере.

Кластеры 3-го порядка:

$$3.1. [2.1 + 2.2 + 2.3] = [(Кл2 + Кл3) + (Кл2 + Кл4) + (Кл3 + Кл4)]$$

Все кластеры предыдущего 2-го порядка в равной степени составляют единственный кластер 3-го порядка в экосети Торецкого водосбора Александровского админрайона. В нем нет единого центра, а все природные ядра этих кластеров в равной степени участвуют в потенциальной миграции организмов на данном участке водосбора, образуя единое поле сгущения миграционного потенциала.

Таким образом, как и на Самарском участке экосети, здесь наблюдаются наибольшие значения миграционного потенциала между близко и компактно расположенными относительно друг друга природными ядрами. Единственное исключение составляет условный кластер ядер Ят12, Ят13 и Ят14, в котором, несмотря на территориальную близость ядер между собой и нахождение их в пределах одного водотока, значения миграционного потенциала между ними оказались весьма незначительными. Данное обстоятельство объясняется очень малой степенью топического сходства между природными ядрами (преобладают лесопокрываемые участки) и соединяющими их участками экокоридора (где таковые практически отсутствуют).

Заключение

В целом, характеризуя экосеть всего Александровского района, следует отметить, что степень миграционного потенциала между природными ядрами мало связана с расположением последних относительно биоцентрично-сетевой структурой экосети. Ядра, имеющие высокие значения индекса Бичема [Блакберн, Калинихин, 2017а], напротив, показывают невысокий миграционный потенциал, и наоборот. Значения последнего, прежде всего, зависят от степени топического сходства между собой и соединяющего их коридора, а также территориальной близости и компактного размещения ядер в пределах одного водотока.

Данный факт свидетельствует в пользу того, что в процессе создания экологической сети локального (районного, субрайонного) уровня в первую очередь следует обращать внимание именно на ядра и их кластеры с высокими значениями миграционного потенциала, а внутри таких кластеров – выбирать ядра с высокой степенью природного разнообразия (и крупные по занимаемой площади), то есть с высокой совокупной балльной оценкой, в которых необходимо создавать ООПТ для максимального сохранения биологического и экосистемного разнообразия своих районов.

На примере Александровского района к таковым можно отнести кластер 1-го порядка Самарского водосбора **Кл1** (ядра Яс1, Яс2, Яс3, Яс4), все четыре ядра которого имеют уже объекты ПЗФ в своем составе, а также ядро **Яс5**, также имеющее в своем составе ООПТ.

В участках экосети Торецкого водосбора к таковым следует отнести кластер 1-го порядка **Кл1** (ядра Ят1, Ят2, Ят3), первые два из которых также имеют ООПТ в своем составе, а ядро **Ят1** занимает ведущие позиции по фитоценоотическому богатству и совокупной балльной оценке, и, конечно же, весь кластер 3-го порядка, в котором отсутствуют какие-либо объекты ПЗФ.

Все вышесказанное говорит в пользу того, что для долговременного сохранения биологического и экосистемного разнообразия регионального и субрегионального уровней экологической сети (как и всей охватываемой ею территории) *необходимо*



создавать ООПТ на каждом водотоке 1-го и/или 2-го порядков за счет прилегающих к ним природных ядер с большой природоохранной значимостью и высокой степенью миграционного потенциала.

Список литературы References

1. Блэкберн А.А., Калинихин О.Н. 2017а. Комплексная оценка пространственной структуры локальных экологических сетей (на примере Александровского района Донецкой области). Научные ведомости Белгородского государственного университета. Естественные науки, 18 (267): 44–60.
Blackburn A.A., Kalinichin O.N. 2017a. Complex estimate of spatial structure local ecological networks (for example alexandrovsky district in Donetsk region). Scientific Bulletin of Belgorod State University. Natural Sciences, 18 (267): 44–60. (in Russian)
2. Блэкберн А.А., Калинихин О.Н. 2017б. Пространственная кластеризация природных ядер локальной экосети на основе их миграционного потенциала. Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика, 4 (28): 62–79.
Blackburn A.A., Kalinichin O.N. 2017b. Spatial clustering natural nuclear local econets based on their potential of migration. PNRPU Bulletin. Applied ecology. Urban development, 4. Perm: 62–79. (in Russian)
3. Гродзинський М.Д. 1993. Основи ландшафтної екології. Київ, 224.
Grodzinsky M.D. 1993. Osnovi landshaftnoi ekologii [Basics of landscape ecology]. Kyiv, 224. (in Ukrainian)
4. Гродзинський М.Д. 2005. Пізнання ландшафту: місце і простір: монографія, у 2-х томах. Т.2. Київ: 503.
Grodzinsky M.D. 2005. Piznannja landshaftu: misce i prostir [Knowledge of the landscape: the place and space]. Kiev, 503. (in Ukrainian)
5. Ключев В., Ван дер Слуйс Т. 2012. Экологическая сеть степных фрагментированных ландшафтов: модель LARCH для Луганской области. ДонНТУ. Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, 1(6)-2(7): 118–127.
Klyuev V., Van der Sluis T. 2012. Ecological network of steppe fragmented landscapes: LARCH model for Lugansk region. DonNTU. System analysis and information technology in the sciences of nature and society, 1(6)–2(7): 118–127. (in Russian)
6. Ключев В.Е., Аверин Г.В. 2014. Оценка фрагментации экологической сети Луганской области. ДонНТУ. Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, 1(6)-2(7). Донецк: 84–90.
Klyuev V.E., Averin G.V. 2014. Assessment of fragmentation of the ecological network in Lugansk region. DonNTU: System analysis and information technology in the sciences of nature and society, No 1(6)-2(7). Donetsk: 84-90. (in Russian)
7. Blackburn A., Bakharev V., Kalinichin O. 2017. Estimate of the migration capacity for the ecological network. Екологічна безпека [Environmental security], 1 (23): 46-53. (in English)
8. Brunson C., Fotheringham A., Charlton M. 2002. Geographically weighted summary statistics a framework for localised exploratory data analysis. Computers, Environment and Urban Systems, 26 (6): 501–524.
9. Chape S., Harrison J., Spalding M., Lysenko I. 2005. Measuring the extent and effectiveness of protected areas as an indicator for meeting global biodiversity targets. Philosophical Transactions of the Royal Society B. Biological, 360: 443–455.
10. Coulon A., Morellet N., Goulard M., Cargnelutti B., Angibault J-M., Hewison A.J.M. 2008. Inferring the effects of landscape structure on roe deer (*Capreolus capreolus*) movements using a step selection function. Landscape Ecology, 23: 603-614.
11. Doebeli M., Dieckmann U. 2003. Speciation along environmental gradients. Nature, 421: 259–264.
12. Duro D.C., Coops N.C., Wulder M.A., Han T. 2007. Development of a large area biodiversity monitoring system driven by remote sensing. Progress in Physical Geography, 31: 235–260.
13. Fahrig L., Baudry J., Brotons L., Burel F.G., Crist T.O., Fuller R.J., Sirami C., Siriwardena G.M., Martin J. 2011. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. Ecology Letters, 14: 101–112.



14. George J. Chirima, Norman Owen-Smith, Barend F.N. Erasmus. 2012. Changing distributions of larger ungulates in the Kruger National Park from ecological aerial survey data. *Koedoe*, 54 (1): 24–35.
15. González-Megías A., Gómez J.M., Sánchez-Piñero F. 2011. Spatio-temporal change in the relationship between habitat heterogeneity and species diversity. *Acta Oecologica*, 37: 179–186.
16. Gould W. 2000. Remote sensing of vegetation, plant species richness, and regional biodiversity hotspots. *Ecological Applications*, 10 (6): 1861–1870.
17. Fischer Joern, Lindenmayer David B. 2007. Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis. *Global Ecology and Biogeography*, 16 (3): 265–280.
18. Maile C. Neel, Kevin McGarigal, Samuel A. 2004. Cushman Behavior of class-level landscape metrics across gradients of class aggregation and area. *Landscape Ecology*, 19: 435–455.
19. Samuel A. Cushman, Falk Huettmann. 2010. *Spatial complexity, informatics, and wildlife conservation*. Springer, Tokyo, Berlin, Heidelberg, New York, 452 p.
20. Sandra MacFadyen, Cang Hui, Peter H. Verburg, Astrid J. A. Van Teeffelen. 2016. Quantifying spatiotemporal drivers of environmental heterogeneity in Kruger National Park, South Africa. *Landscape Ecology*, 31: 2013–2029.
21. Spencer R. Meyer, Kate Beard, Christopher S. Cronan, Robert J. Lillholm. 2015. An analysis of spatio-temporal landscape patterns for protected areas in northern New England: 1900–2010. *Landscape Ecology*, 30: 1291–1305.
22. Wagner H.H., Fortin M.J. 2005. Spatial analysis of landscapes: concepts and statistics. *Ecology*, 86: 1975–1987.
23. Ziolkowska E., Ostapowicz K., Radeloff V. 2016. Assessing differences in connectivity based on habitat versus movement models for brown bears in the Carpathians. *Landscape Ecology*, 31: 1863–1882.

Ссылка для цитирования статьи

Блакберн А.А., Калинин О.Н. Оценка миграционного потенциала экологической сети Александровского района (Донецкой области) // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2018. Т. 42, № 2. С. 231–245. doi: 10.18413/2075-4671-2018-42-2-231-245

Blackburn A.A., Kalinihin O.N. Estimate of the migration potential of ecological network Aleksandrovsky district (Donetsk region) // Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences series. 2018. V. 42, № 2. P. 231–245. doi: 10.18413/2075-4671-2018-42-2-231-245