

### ОЦЕНКА МИГРАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ ГОРОДОВ СЛАВЯНСКА И КРАМАТОРСКА (ДОНЕЦКОЙ ОБЛАСТИ)

А. А. Блакберн, О. Н. Калинихин

*Донецкий ботанический сад, Украина  
Донецкий национальный технический университет, Украина*

*Поступила в редакцию 27 марта 2018 г.*

**Аннотация:** Статья является логическим продолжением предыдущей статьи этих авторов (Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология, 2017, № 3), в которой была представлена комплексная оценка пространственной структуры экологической сети городов Славянска и Краматорска (Донецкая область) с точки зрения биологического и экосистемного разнообразия составляющих их природных ядер и 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.

**Ключевые слова:** экологические сети, природные ядра, миграционный потенциал, экокоридоры.

**Abstract:** The article is a logical continuation of the previous article of these authors (Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology, 2017, № 3), which presented a comprehensive assessment of the spatial structure of the ecological network of the cities of Slavyansk and Kramatorsk (Donetsk region) in terms of the biological and ecosystem diversity of their natural nuclei and 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 NPA 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.

**Key words:** ecological networks, natural cores, migration potential, ecocorridors.

В предыдущей своей публикации нами была дана комплексная оценка пространственной структуры локальной экологической сети городов Славянска и Краматорска (экосети Славянско-Краматорского комплекса) [1]. Смысл ее заключался в

том, что на основе оценки в баллах природных ядер данной экосети по их основным характеристикам: занимаемой площади, видового (высших сосудистых растений) и фитоценологического (количество растительных ассоциаций) богатства, их раритетной составляющей и экосистемного разнообразия

составляющих их земельных угодий давалась комплексная оценка природоохранной значимости природных ядер. Одновременно оценивалась топологическая структура природных ядер на данном участке экологической сети, основанная на биоцентрично-сетевой связи ядер между собой. В результате методом ранжирования природных ядер по выше названным характеристикам была построена иерархическая пространственная схема данной экосети в виде выделения в ней природных ядер по их «экосетевому потенциалу» на 1-й, 2-й и т.д. уровни значимости. Таким образом, была оценена целесообразность отнесения данных ядер в природно-заповедный фонд (ПЗФ) региона.

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 экозетевого потенциала территории является слишком формальной и до некоторой степени условной. Большинство исследований, связанных с экологическими сетями, посвящено трем основным тематическим направлениям: изучению влияния сложности ландшафтной структуры на биоразнообразие [11, 16, 17, 19, 21]; исследованиям миграционных возможностей экосетей [15, 18, 23] и оценке сложности структуры ландшафтов как индикатора состояния экосистем [10, 21]. Менее значительный ряд публикаций относится к более обширному спектру исследований – от влияния биоразнообразия на землепользование [13, 20] до взаимосвязи сложности ландшафтной структуры и процессов видообразования [12]. Особый интерес представляют исследования, посвященные оценке миграций видов организмов между природными комплексами на основе биотопического (геотопического) сходства этих территорий [5], а также общему характеру фрагментации природных ландшафтов (в данном случае степных экосистем) в Донбассе [6]. Однако первая из этих работ касается оценки миграционной возможности лишь пяти модельных видов фауны, а вторая является пример компьютерного моделирования с целью дифференциации и оценки фрагментации территорий, выделенных по типу растительности.

В нашей статье предлагается новая оригинальная методика оценки пространственной связи природных 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 [2, 8].

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. [6]. Также эта модель может быть использована и при оценке интенсивности миграционных связей видов организмов между биоцентрами (или любыми другими природными территориями) [3, 4]. 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) [7, 19]. 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 [4, 16, 17]. 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 местобитаний (геотопов) между двумя участками территории, тем больше интенсивность миграции организмов между ними.

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

Основа – «гравитационная модель» взаимного влияния («притяжения») природных ядер через 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  $C_j$ ;  $d_{i,j}$  – 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 100 %-ая, то есть, их видовой состав почти что однороден на однотипных участках территорий (в одинаковых типах экосистем);

2) поэтому логично допустить, что степень взаимного влияния между природными ядрами опре-

деляется, 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 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».

3) кроме того, в формуле (1) желательно 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

$C_i$  = сумма всех набранных баллов ядра  $i$ ;

$C_j$  = 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 проведенных расчетов 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 ее коридоры – ее 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).

Миграционный потенциал между природными ядрами экосети Славянско-Краматорского комплекса 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 таблице 1 приведены данные по расстоянию (в км) между природными ядрами экосети Славянско-Краматорского комплекса. В таблице 2 приведены полученные нами данные по миграционному потенциалу между природными ядрами данного комплекса. Из таблицы 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 свя-

занными 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 таблице 2 эти значения 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. Кроме того, из матрицы (таблица 2) 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 между собой, образуют геотопическую структуру более высокого ранга, как правило, более сложно организованную [4].

В нашем случае иерархическая направленность создается не просто числом 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 Славянско-Краматорского комплекса имеет вид:

Кластеры 1-го порядка: включают ядра, миграционный потенциал между которыми существенно превышает фон. В качестве нижнего предела принимается значение потенциала = 10,00.

Таблица 1

Расстояние (км) между природными ядрами локальной экосети Славянско-Краматорского комплекса

	Я <sub>1</sub>	Я <sub>2</sub>	Я <sub>3</sub>	Я <sub>4</sub>	Я <sub>5</sub>	Я <sub>6</sub>	Я <sub>7</sub>	Я <sub>8</sub>	Я <sub>9</sub>	Я <sub>10</sub>	Я <sub>11</sub>	Я <sub>12</sub>	Я <sub>13</sub>	Я <sub>14</sub>	Я <sub>15</sub>	Я <sub>Сит</sub>
Я <sub>1</sub>	-	2,24	5,60	7,84	8,96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Я <sub>2</sub>	-	-	4,48	5,60	6,72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Я <sub>3</sub>	-	-	-	1,23	4,48	20,16	16,8	-	-	21,28	24,08	17,92	11,76	15,12	20,72	26,88
Я <sub>4</sub>	-	-	1,23	-	1,12	21,28	19,04	-	-	24,08	25,76	19,04	12,88	15,62	22,96	29,12
Я <sub>5</sub>	-	-	4,48	1,12	-	24,64	21,84	-	-	26,32	28,56	24,08	15,68	20,72	26,32	31,92
Я <sub>6</sub>	-	-	20,16	21,28	24,64	-	-	1,68	1,34	2,24	-	26,32	12,32	20,16	25,76	33,6
Я <sub>7</sub>	-	-	16,8	19,04	21,84	-	-	0,56	-	2,24	4,48	21,28	7,12	15,68	21,28	29,68
Я <sub>8</sub>	-	-	-	-	-	1,68	0,56	-	1,12	-	-	-	-	-	-	-
Я <sub>9</sub>	-	-	-	-	-	1,34	-	1,12	-	0,56	-	-	-	-	-	-
Я <sub>10</sub>	-	-	21,28	24,08	26,32	2,24	2,24	-	0,56	-	0,22	26,88	11,2	19,04	26,32	32,48
Я <sub>11</sub>	-	-	24,08	25,76	28,56	25,76	4,48	-	-	0,22	-	27,44	12,32	21,28	28,0	36,4
Я <sub>12</sub>	-	-	17,92	19,04	24,08	26,32	21,28	-	-	26,88	27,44	-	16,24	19,04	25,76	16,24
Я <sub>13</sub>	-	-	11,76	12,88	15,68	12,32	7,12	-	-	11,2	12,32	16,24	-	9,52	16,24	24,64
Я <sub>14</sub>	-	-	15,12	15,62	20,72	20,16	15,68	-	-	19,04	21,28	19,04	9,52	-	5,6	28,0
Я <sub>15</sub>	-	-	20,72	22,96	26,32	25,76	21,28	-	-	26,32	28,0	25,76	16,24	5,6	-	32,48
Я <sub>Сит</sub>	-	-	26,88	29,12	31,92	33,6	29,68	-	-	32,48	36,40	16,24	24,64	28,0	32,48	-

Таблица 2

Миграционный потенциал между природными ядрами экосети Славянско-Краматорского комплекса

	Я <sub>1</sub>	Я <sub>2</sub>	Я <sub>3</sub>	Я <sub>4</sub>	Я <sub>5</sub>	Я <sub>6</sub>	Я <sub>7</sub>	Я <sub>8</sub>	Я <sub>9</sub>	Я <sub>10</sub>	Я <sub>11</sub>	Я <sub>12</sub>	Я <sub>13</sub>	Я <sub>14</sub>	Я <sub>15</sub>	Я <sub>сум</sub>	Σ <sub>Я<sub>п</sub></sub>
Я <sub>1</sub>																	
Я <sub>2</sub>	63,3																
Я <sub>3</sub>	9,76	63,3															
Я <sub>4</sub>	9,20	17,29	9,76														
Я <sub>5</sub>	5,31	23,0	17,29	9,20													
Я <sub>6</sub>	–	–	–	0,04	0,10												
Я <sub>7</sub>	–	–	–	0,15	0,00												
Я <sub>8</sub>	–	–	–	0,15	0,10	0,00											
Я <sub>9</sub>	–	–	–	0,15	0,10	0,00	0,0	5,31	7,51	4,90	0,0	0,15	0,16	0,05	0,00	0,03	18,40
Я <sub>10</sub>	–	–	–	2,09	1,50	0,00	20,12	350,0	–	20,12	15,0	1,64	5,20	0,56	0,00	0,13	397,86
Я <sub>11</sub>	–	–	–	–	–	–	–	–	19,45	–	–	–	–	–	–	–	374,76
Я <sub>12</sub>	–	–	–	–	–	–	–	19,45	–	129,16	–	–	–	–	–	–	156,12
Я <sub>13</sub>	–	–	–	0,63	0,25	4,90	20,12	–	129,16	–	0,00	0,26	1,10	0,11	0,02	0,16	156,94
Я <sub>14</sub>	–	–	–	2,14	1,96	0,0	15,0	–	–	0,00	0,00	0,00	3,03	0,00	0,00	0,27	23,42
Я <sub>15</sub>	–	–	–	1,64	1,29	0,15	1,64	–	–	0,26	0,00	0,00	2,08	2,93	2,07	13,90	56,48
Я <sub>сум</sub>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Рср	21,83	29,54	175,27	396,16	230,31	1,42	33,16	124,92	52,04	13,08	2,13	5,14	3,26	0,92	0,33	1,66	

1.1. *Кл1*: ядра ( $Я_1 + Я_2 + Я_3 + Я_4 + Я_5$ );  
количество ядер  $N_i = 5$ ; число миграционных связей  $n = 8$ .

Значения их миграционного потенциала (по степени его убывания):

$$\begin{aligned} Я_4 \div Я_5 &= 2461,10; \\ Я_3 \div Я_4 &= 1865,40; \\ Я_1 \div Я_2 &= 63,30; \\ Я_3 \div Я_5 &= 46,10; \\ Я_2 \div Я_4 &= 23,00; \\ Я_2 \div Я_3 &= 17,29; \\ Я_2 \div Я_5 &= 14,58; \\ Я_1 \div Я_3 &= 9,76 (\approx 10,0). \end{aligned}$$

Среднее значение миграционного потенциала в кластере:

$$4500,53 : 8 = 562,57.$$

В данном кластере центральных ядер нет.

1.2. *Кл2*: ядра ( $Я_7 + Я_8 + Я_9 + Я_{10} + Я_{11}$ );  
количество ядер  $N_i = 5$ ; число миграционных связей  $n = 5$ .

Значения их миграционного потенциала:

$$\begin{aligned} Я_7 \div Я_8 &= 350,0; \\ Я_9 \div Я_{10} &= 129,16; \\ Я_7 \div Я_{10} &= 20,12; \\ Я_8 \div Я_9 &= 19,45; \\ Я_7 \div Я_{11} &= 15,0. \end{aligned}$$

Среднее значение миграционного потенциала в кластере:

$$533,73 : 5 = 106,75.$$

В данном кластере ядро  $Я_7$  является центральным (по количеству связей).

1.3. *Кл3*: ядра ( $Я_4 + Я_5 + Я_{12}$ );  
количество ядер  $N_i = 3$ ; число миграционных связей  $n = 2$ .

Значения их миграционного потенциала:

$$\begin{aligned} Я_4 \div Я_{12} &= 14,77; \\ Я_5 \div Я_{12} &= 12,94 \end{aligned}$$

Среднее значение миграционного потенциала в кластере:

$$27,71 : 2 = 13,86.$$

В данном кластере ядро  $Я_{12}$  является центральным.

1.4. *Кл4*: ядра ( $Я_{12} + Я_{Сл1}$ );  
количество ядер  $N_i = 2$ ; число миграционных связей  $n = 1$ .

Значение миграционного потенциала между ними:

$$Я_{12} \div Я_{Сл1} = 13,90.$$

В данном кластере центральных ядер нет.

Кластеры 2-го порядка (получены объединением кластеров 1-го порядка через общие для них природные ядра):

$$2.1. [Кл1 + Кл3] = [(Я_1 + Я_2 + Я_3 + Я_4 + Я_5) + (Я_4 + Я_5 + Я_{12})]$$

Среднее значение миграционного потенциала в кластере:

$$(562,57 + 13,86) : 2 = 288,21.$$

Ядра  $Я_4$  и  $Я_5$  являются связывающими в данном кластере.

$$2.2. [Кл3 + Кл4] = [(Я_4 + Я_5 + Я_{12}) + (Я_{12} + Я_{Сл1})]$$

Среднее значение миграционного потенциала в кластере:

$$(13,86 + 13,90) : 2 = 13,88.$$

Ядро  $Я_{12}$  является связывающим в данном кластере.

Кластеры 3-го порядка:

$$3.1. [2.1 + 2.2] = [(Кл1 + Кл3) + (Кл3 + Кл4)] = [((Я_1 + Я_2 + Я_3 + Я_4 + Я_5) + (Я_4 + Я_5 + Я_{12})) + ((Я_4 + Я_5 + Я_{12}) + (Я_{12} + Я_{Сл1}))]$$

Весь кластер 1-го порядка *Кл3* является связывающим в данном кластере. Ядра  $Я_4$ ,  $Я_5$ ,  $Я_{12}$  являются центральными в данном кластере 3-го порядка.

Таким образом, в структуре миграционного потенциала Славянско-Краматорской экосети вырисовываются два мощных и независимых друг от друга кластера 1-го порядка – *Кл1* (ядра  $Я_1$ ,  $Я_2$ ,  $Я_3$ ,  $Я_4$ ,  $Я_5$ ) и *Кл2* (ядра  $Я_7$ ,  $Я_8$ ,  $Я_9$ ,  $Я_{10}$ ,  $Я_{11}$ ), расположенных на разных левых притоках р. Казенный Торец. Кластер *Кл2* больше не образует с другими кластерами кластеров более высокого порядка. Напротив, кластер *Кл1* через связывающие ядра  $Я_4$  и  $Я_5$  образует кластер 2-го порядка – 2.1, а посредством этих же ядер и ядра  $Я_{12}$  связывает оба кластера 2-го порядка 2.1 и 2.2 в единственный в данной экосети кластер 3-го порядка, охватывающий семь природных ядер. В результате образуется своего рода «суперкластер» в виде центрального треугольника в средней и нижней части Казенного Торца (картосхема на рис.) – с западной вершиной в виде ядра  $Я_5$  на левом его притоке, восточной вершиной в виде ядра  $Я_{12}$  на правом его притоке и северной вершиной в виде ядра  $Я_{Сл1}$  – единственного ядра города Славянска, расположенного чуть южнее впадения Казенного Торца в Северский Донец. Все остальные ядра этого «суперкластера» находятся внутри данного треугольника. Учитывая высокое значение миграционного потенциала ядра  $Я_{Сл1}$  с «суперкластером» Славянско-Краснолиманской экосети [2], можно с уверенностью констатировать, что данный треугольник (или кластер 3-го порядка Славянско-Краматорского участка экосети) также входит в общую структуру кластера 4-го порядка общей Славянско-

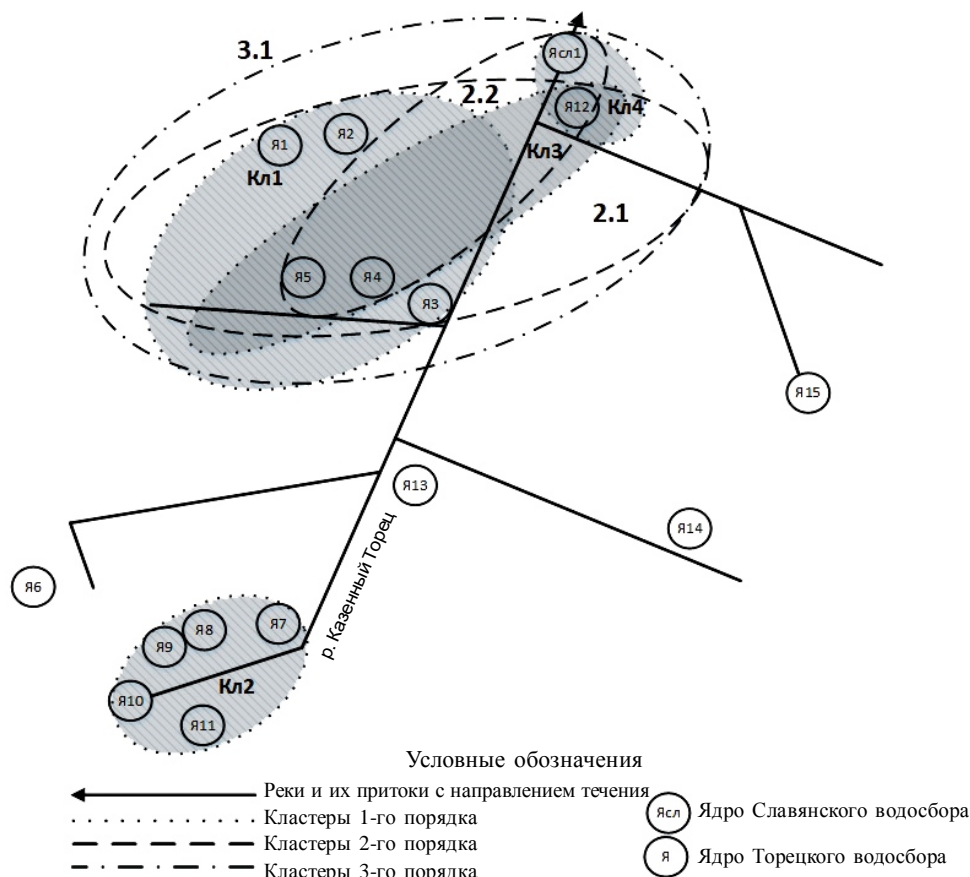


Рис. Картограмма пространственной связи миграционного потенциала экосети Славянско-Краматорского комплекса

Краснолиманской экологической сети, образуя Придонцовско-нижнеторецкий участок региональной экологической сети. В свою очередь этот участок является ключевым в миграционной связи между природными ядрами Северскодонецкого меридионального коридора и западными отрогами Донецкого кряжа, представляющего центральное ядро восточной части степного зонального коридора национальной экологической сети Украины.

Что касается собственно треугольника-суперкластера Славянско-Краматорского участка экосети, то здесь, несомненно, как с точки зрения миграционной связи, так с позиции природоохранной ценности, ведущая роль принадлежит ядру Я<sub>12</sub>. Именно наивысшие показатели по всем рассматриваемым характеристикам и, как результат, по совокупной балльной оценке [1] определили, в свою очередь, и высокий миграционный потенциал с достаточно удаленными от него ядрами Я<sub>5</sub> и Я<sub>4</sub> на западной вершине «центрального треугольника» и ядром Я<sub>Сл1</sub> на северной его вершине. Занимает ядро Я<sub>12</sub> одно из центральных положений

в биоцентрично-сетевой структуре Славянско-Краматорского участка экосети [1].

Что касается последних трех ядер данного участка экосети, не образовавших в своей миграционной связи ни одного кластера – ядер Я<sub>13</sub>, Я<sub>14</sub> и Я<sub>15</sub>, то, несмотря на их центральные положения в биоцентрично-сетевой структуре экосети (ядро Я<sub>13</sub> имеет максимальное в ней значение индекса Бичема), они и по остальным рассматриваемым характеристикам не получили высоких оценок. Тем не менее, почти все природные ядра Славянско-Краматорского участка экосети входят в систему ООПТ региона (ядро Я<sub>Сл1</sub> включает в себя региональный ландшафтный парк (РЛП) «Славянский», остальные ядра являются участками РЛП «Краматорский»), что свидетельствует о своевременности принятия решения о внесении их в структуру ПЗФ региона.

Таким образом, характеризуя экосеть всего Славянско-Краматорского комплекса, 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 [1], 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 внимание следует обращать 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 особо охраняемые природные территории (ООПТ) для максимального сохранения биологического и экосистемного разнообразия своих районов.

Все выше сказанное 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

1. Блэкберн А. А. Оценка пространственной структуры локальной экологической сети городов Славянска и Краматорска / А. А. Блэкберн, О. Н. Калинихин // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. – 2017. – № 3. – С. 72-80.
2. Блэкберн А. А. Пространственная кластеризация природных ядер локальной экосети на основе их миграционного потенциала / А. А. Блэкберн, О. Н. Калинихин // Вестник Пермского Национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2017. – № 4. – С. 62-79.
3. Гродзинський М. Д. Основи ландшафтної екології / М. Д. Гродзинський. – Київ: Либідь, 1993. – 224 с.
4. Гродзинський М. Д. Пізнання ландшафту: місце і простір / М. Д. Гродзинський. – Київ: Издательский центр «Київський університет», 2005. – Т. 2. – 503 с.
5. Ключев В. Экологическая сеть степных фрагментированных ландшафтов: модель LARCH для Луганской области / В. Ключев, Т. Ван дер Слуис // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе / Донецкий национальный технический университет. – 2012. – № 1(6)-2(7). – С. 118-127.
6. Ключев В. Е. Оценка фрагментации экологической сети Луганской области / В. Е. Ключев, Г. В. Аверин // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе / Донецкий национальный технический университет. – 2014. – № 1(6)-2(7). – С. 84-90.
7. An analysis of spatio-temporal landscape patterns for protected areas in northern New England: 1900-2010 / S. R. Meyer [et al.] // Landscape Ecology. – 2015. – Iss. 30. – P. 1291-1305.
8. Blackburn A. Estimate of the migration capacity for the ecological network / A. Blackburn, V. Bakharev, O. Kalinichin // Екологічна безпека / Кременчугский национальный университет им. Михаила Остроградского. – 2017. – Вип. 1 (23). – С. 46-53.
9. Brunson C. Geographically weighted summary statistics a framework for localised exploratory data analysis / C. Brunson, A. Fotheringham, M. Charlton // Computers, Environment and Urban Systems. – 2002. – Vol. 26, Iss. 6. – P. 501-524.
10. Cushman S. A. Spatial complexity, informatics, and wildlife conservation / S. A. Cushman, F. Huettmann. – Tokyo: Springer Japan, 2010. – 452 p.
11. Development of a large area biodiversity monitoring system driven by remote sensing / D. C. Duro [et al.] // Progress in Physical Geography. – 2007. – No. 31. – P. 235-260.
12. Doebeli M. Speciation along environmental gradients / M. Doebeli, U. Dieckmann // Nature. – 2003. – No. 421. – P. 259-264.
13. Fischer J. Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis / J. Fischer, D. B. Lindenmayer // Global Ecology and Biogeography. – 2007. – Vol. 16, Iss. 3. – P. 265-280.
14. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes / L. Fahrig [et al.] // Ecology Letters. – 2011. – No. 14. – P. 101-112.
15. George G. J. Chirima Changing distributions of larger ungulates in the Kruger National Park from ecological aerial survey data / G. J. Chirima, N. Owen-Smith, F. N. Barend // Koedoe. – 2012. – Vol. 54, No.1. – P. 24-35.
16. Gonzalez-Megias A. Spatio-temporal change in the relationship between habitat heterogeneity and species diversity / A. Gonzalez-Megias, J. M. Gomez, F. Sanchez-Pinero // Acta Oecologica. – 2011. – No. 37. – P. 179-186.
17. Gould W. Remote sensing of vegetation, plant species richness, and regional biodiversity hotspots / W. Gould // Ecological Applications. – 2000. – Vol. 10, No. 6. – P. 1861-1870.
18. Inferring the effects of landscape structure on roe deer (*Capreolus capreolus*) movements using a step selection function / A. Coulon [et al.] // Landscape Ecology. – 2008. – No. 23. – P. 603-614.
19. Measuring the extent and effectiveness of protected areas as an indicator for meeting global biodiversity targets

/ S. Chape [et al.] // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological*. – 2005. – No. 360. – P. 443-455.

20. Neel M. C. Behavior of class-level landscape metrics across gradients of class aggregation and area / M. C. Neel, K. McGarigal, S. A. Cushman // *Landscape Ecology*. – 2004. – No. 19. – P. 435-455.

21. Quantifying spatiotemporal drivers of environmental heterogeneity in Kruger National Park, South Africa / S. MacFadyen [et al.] // *Landscape Ecology*. – 2016. – No. 31. – P. 2013-2029.

22. Wagner H. H. Spatial analysis of landscapes: concepts and statistics / H. H. Wagner, M. J. Fortin // *Ecology*. – 2005. – No. 86. – P. 1975-1987.

23. Ziolkowska E. Assessing differences in connectivity based on habitat versus movement models for brown bears in the Carpathians / E. Ziolkowska, K. Ostapowicz, V. Radeloff // *Landscape Ecology*. – 2016. – No. 31. – P. 1863-1882.

## REFERENCES

1. Blakbern A. A. Otsenka prostranstvennoy struktury lokal'noy ekologicheskoy seti gorodov Slavyanska i Kramatorska / A. A. Blakbern, O. N. Kalinikhin // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geografiya. Geoekologiya*. – 2017. – № 3. – S. 72-80.

2. Blakbern A. A. Prostranstvennaya klasterizatsiya prirodnykh yader lokal'noy ekoseti na osnove ikh migratsionnogo potentsiala / A. A. Blakbern, O. N. Kalinikhin // *Vestnik Permskogo Natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika*. – 2017. – № 4. – S. 62-79.

3. Grodzins'kiy M. D. Osnovi landshaftnoy ekologii / M. D. Grodzins'kiy. – Kiiv: Libid', 1993. – 224 s.

4. Grodzins'kiy M. D. Piznannya landshaftu: mistse i prostir / M. D. Grodzins'kiy. – Kiiv : Izdatel'skiy tsentr «Kiiv's'kiy universitet», 2005. – T. 2. – 503 s.

5. Klyuyev V. Ekologicheskaya set' stepnykh fragmentirovannykh landshaftov: model' LARCH dlya Luganskoy oblasti / V. Klyuyev, T. Van der Sluis // *Sistemnyy analiz i informatsionnyye tekhnologii v nauках o prirode i obshchestve / Donetskii natsional'nyy tekhnicheskii universitet*. – 2012. – № 1(6)-2(7). – S. 118-127.

6. Klyuyev V. E Otsenka fragmentatsii ekologicheskoy seti Luganskoy oblasti / V. E. Klyuyev, G. V. Averin // *Sistemnyy analiz i informatsionnyye tekhnologii v nauках o prirode i obshchestve / Donetskii natsional'nyy tekhnicheskii universitet*. – 2014. – № 1(6)-2(7). – S. 84-90.

7. An analysis of spatio-temporal landscape patterns for protected areas in northern New England: 1900-2010 / S. R. Meyer [et al.] // *Landscape Ecology*. – 2015. – Iss. 30. – P. 1291-1305.

8. Blackburn A. Estimate of the migration capacity for the ecological network / A. Blackburn, V. Bakharev, O. Kalinichin // *Ekologichna bezpeka / Kremenuchugskii*

natsional'nyy universitet im. Mikhaila Ostrogradskogo. – 2017. – Vip. 1 (23). – S. 46-53.

9. Brunsdon C. Geographically weighted summary statistics a framework for localised exploratory data analysis / C. Brunsdon, A. Fotheringham, M. Charlton // *Computers, Environment and Urban Systems*. – 2002. – Vol. 26, Iss. 6. – P. 501-524.

10. Cushman S. A. Spatial complexity, informatics, and wildlife conservation / S. A. Cushman, F. Huettmann. – Tokyo : Springer Japan, 2010. – 452 p.

11. Development of a large area biodiversity monitoring system driven by remote sensing / D. C. Duro [et al.] // *Progress in Physical Geography*. – 2007. – No. 31. – P. 235-260.

12. Doebeli M. Speciation along environmental gradients / M. Doebeli, U. Dieckmann // *Nature*. – 2003. – No. 421. – P. 259-264.

13. Fischer J. Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis / J. Fischer, D. B. Lindenmayer // *Global Ecology and Biogeography*. – 2007. – Vol. 16, Iss. 3. – P. 265-280.

14. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes / L. Fahrig [et al.] // *Ecology Letters*. – 2011. – No. 14. – P. 101-112.

15. George G. J. Chirima Changing distributions of larger ungulates in the Kruger National Park from ecological aerial survey data / G. J. Chirima, N. Owen-Smith, F. N. Barend // *Koedoe*. – 2012. – Vol. 54, No.1. – P. 24-35.

16. Gonzalez-Megias A. Spatio-temporal change in the relationship between habitat heterogeneity and species diversity / A. Gonzalez-Megias, J. M. Gomez, F. Sanchez-Pinero // *Acta Oecologica*. – 2011. – No. 37. – P. 179-186.

17. Gould W. Remote sensing of vegetation, plant species richness, and regional biodiversity hotspots / W. Gould // *Ecological Applications*. – 2000. – Vol. 10, No. 6. – P. 1861-1870.

18. Inferring the effects of landscape structure on roe deer (*Capreolus capreolus*) movements using a step selection function / A. Coulon [et al.] // *Landscape Ecology*. – 2008. – No. 23. – P. 603-614.

19. Measuring the extent and effectiveness of protected areas as an indicator for meeting global biodiversity targets / S. Chape [et al.] // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological*. – 2005. – No. 360. – P. 443-455.

20. Neel M. C. Behavior of class-level landscape metrics across gradients of class aggregation and area / M. C. Neel, K. McGarigal, S. A. Cushman // *Landscape Ecology*. – 2004. – No. 19. – P. 435-455.

21. Quantifying spatiotemporal drivers of environmental heterogeneity in Kruger National Park, South Africa / S. MacFadyen [et al.] // *Landscape Ecology*. – 2016. – No. 31. – P. 2013-2029.

22. Wagner H. H. Spatial analysis of landscapes: concepts and statistics / H. H. Wagner, M. J. Fortin // *Ecology*. – 2005. – No. 86. – P. 1975-1987.

23. Ziolkowska E. Assessing differences in connectivity based on habitat versus movement models for brown bears in the Carpathians / E. Ziolkowska, K. Ostapowicz,

V. Radeloff // Landscape Ecology. – 2016. – No. 31. – P. 1863-1882.

Блэкберн Андрей Альфредович  
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела природной флоры и заповедного дела Донецкого ботанического сада, т. + 38071-334-91-94; E-mail: [blackburn.fox@mail.ru](mailto:blackburn.fox@mail.ru)

Blackburn Andrey Alfredovitch  
Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Department of Natural Flora and Preservation of the Donetsk Botanical Garden, tel. + 38071-334-91-94; E-mail: [blackburn.fox@mail.ru](mailto:blackburn.fox@mail.ru)

Калининихин Олег Николаевич  
кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной экологии и охраны окружающей среды Донецкого национального технического университета, т. +38071-334-91-96; E-mail: [kalinihin@gmail.com](mailto:kalinihin@gmail.com)

Kalinikhin Oleg Nikolyaevitch  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Chair of Applied Ecology and Environment Protected, Donetsk National Technical University, Donetsk, tel. + 38071-334-91-96; E-mail: [kalinihin@gmail.com](mailto:kalinihin@gmail.com)