А.А. Блэкберн, О.Н. Калинихин

Донецкий национальный технический университет

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ПРИРОДНЫХ ЯДЕР ЛОКАЛЬНОЙ ЭКОСЕТИ НА ОСНОВЕ ИХ МИГРАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА

Статья является логическим продолжением исследований авторов, в которых рассматривается пространственная структура локальной экологической сети (на примере Артемовского административного района Донецкой области) с точки зрения комплексной оценки в баллах составляющих ее природных ядер. Однако данный метод, дающий сравнительную характеристику структурных элементов экосети (природных ядер), не позволяет оценить главную функциональную характеристику экосети – ее миграционную способность. В этой статье предлагается оригинальная методика оценки пространственной иерархической структуры локальной экологической сети Бахмутской водосборной территории на основе определения миграционного потенциала между ее природными ядрами. Последний получен на основе гравитационной модели сходства составляющих их геотопов (типов земель) путем комплексной оценки в баллах их экосистемных характеристик. В результате получена пространственная иерархическая структура локальной экосети в виде кластеров природных ядер от 1-го до 4-го порядков. Делается вывод о дискретно-континуальном характере любой экологической сети в процессе перехода ее построения от локального (дискретного уровня ее организации) к региональному ее уровню (с континуальным характером ее структурной организации).

Ключевые слова: локальная экологическая сеть, природные ядра, миграционный потенциал, биоцентрично-сетевая структура экосети, пространственная кластеризация природных ядер.

Введение. Большинство исследований, связанных с экологическими сетями, посвящены трем основным тематическим направлениям: изучению влияния сложности ландшафтной структуры на биоразнообразие [1–5], исследованиям миграционных возможностей экосетей [6–8] и оценке сложности структуры ландшафтов как индикатора состояния экосистем [9, 10]. Менее значительный ряд публикаций посвящен более обширному спектру исследований – от влияния биоразнообразия на землепользование

Блэкберн А.А., Калинихин О.Н. Пространственная кластеризация природных ядер локальной экосети на основе их миграционного потенциала // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2017. – № 4. – С. 62–79. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.04.05

Blackburn A., Kalinihin O. Spatial clustering natural nuclear local econets based on their potential of migration. PNRPU. Applied ecology. Urban development. 2017. No. 4. Pp. 62-79. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.04.05

[11, 12] до взаимосвязи сложности ландшафтной структуры и процессов видообразования [13]. Тем не менее практически отсутствуют публикации, связанные с методическими и методологическими аспектами построения и оценки функционирования экологических сетей, особенно на разномасштабных уровнях их организации.

В предыдущей нашей публикации мы дали комплексную оценку природных ядер в общей структуре локальной экологической сети (на примере Артемовского района Донецкой области) с целью выявления их приоритетности с природоохранных позиций [14]. Картосхема экологической сети Артемовского района приведена на рис. 1.

В настоящей статье рассматривается только экосеть Бахмутского водосбора Артемовского района. Данные по совокупной балльной оценке его природных ядер приведены в табл. 1.

Тем не менее общий анализ структуры местной экологической сети на основе комплексной балльной оценки ее ядер [14, 15] 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.

В данной 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.

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. [16]. Эта модель может быть также использована и при оценке интенсивности миграционных связей видов организмов между биоцентрами (или любыми другими природными территориями) [17, 18]. В последнем случае в качестве «масс» взаимодействующих участков территории принимается количество видов (ви-

довое 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.

Рис. 1. Картограмма экосети Артемовского района

Таблица 1

Комплексная оценка природных ядер (в баллах)
Бахмутского водосбора (Артемовский район)

Ядро		Типы угодий и их оценка в баллах								Σ_{ij}
		л	к	б	с	п	я	р	в	
Я ₁	Σ_i	56,00	–	–	37,75	109,5	256,25	5,00	23,50	488,00
Я ₂	Σ_i	8,00	–	–	–	29,00	–	5,00	–	42,00
Я ₃	Σ_i	14,00	–	–	–	50,00	113,00	–	–	177,00
Я ₄	Σ_i	18,00	–	9,00	17,00	40,00	41,00	5,00	10,00	140,00
Я ₅	Σ_i	26,00	2,00	–	–	44,00	13,00	5,00	–	90,00
Я ₆	Σ_i	6,00	–	–	12,00	15,00	–	–	6,00	39,00
Я ₇	Σ_i	42,75	2,00	–	23,00	74,00	45,00	–	10,00	196,75
Я ₈	Σ_i	3,00	–	6,00	8,00	22,00	–	3,00	–	42,00
Я ₉	Σ_i	15,00	–	8,00	–	50,00	59,00	–	–	132,00
Я ₁₀	Σ_i	26,50	–	–	–	3,00	–	3,00	–	32,50
Я ₁₁	Σ_i	22,00	–	–	13,00	34,00	18,00	3,00	–	90,00
Я ₁₂	Σ_i	20,00	–	–	10,00	32,00	13,00	3,00	–	78,00
Я ₁₃	Σ_i	19,00	2,00	11,00	23,00	36,00	42,00	5,00	8,00	146,00
Я ₁₄	Σ_i	18,00	–	–	21,00	47,00	11,00	5,00	10,00	112,00
Я ₁₅	Σ_i	17,75	–	–	–	–	–	3,00	6,00	26,75
Я ₁₆	Σ_i	9,00	–	–	21,00	49,00	24,00	8,00	8,00	119,00
Я ₁₇	Σ_i	42,00	–	13,00	24,00	62,5	54,25	–	9,00	204,75
Я ₁₈	Σ_i	9,25	–	8,75	–	46,25	29,5	10,00	9,00	112,75
Я' ₁₈	Σ_i	–	–	9,00	–	31,5	–	–	5,00	45,50
Я'' ₁₈	Σ_i	8,00	–	8,00	15,00	47,00	19,25	4,00	–	101,25
Я ₁₉	Σ_i	12,00	–	–	19,00	44,00	8,00	8,00	10,00	101,00
Всего		392,25	6,0	72,75	243,75	865,75	746,25	75,0	114,5	2516,25
Сред. знач.		18,68	0,29	3,46	11,61	41,23	35,54	3,57	5,45	119,82
Относит. доля, %		15,6	0,24	2,9	9,7	34,4	29,7	3,0	4,6	100,0

Условные обозначения: Я_i – природное ядро, Σ_i – сумма балльной оценки по рассматриваемым характеристикам (площадь, видовое богатство, фитоценоотическое богатство, экосистемное разнообразие (количество типов угодий)); земельные угодья: л – лесные участки, к – кустарники; б – заболоченные земли, с – сенокосы, п – пастбища, я – овраги, р – пашни и сады, в – участки, находящиеся под водой.

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) [4, 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, т.е. опять-таки разнообразие типов растительности и связанных с ними геотопов [3, 18, 20]. 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.

Методы исследования. 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_{ij} – расстояние (длина) связывающего их коридора.

Поскольку 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%-я, т.е. их видовой состав почти что однороден на однотипных участках территорий (в одинаковых типах экосистем);

2) степень взаимного влияния между природными ядрами определяется, в первую очередь, *степенью схождения 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 схождения»* 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, долевое распределение типов территорий (с – сенокосы, п – пастбища, л – леса, р – пашни, я – овраги, кам – каменистые пустоши).

$$C_i = 0,2с : 0,3п : 0,5л;$$

$$C_j = 0,1с : 0,4п : 0,2л : 0,3р;$$

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) в формуле (1) 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, т.е.

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 такой кластеризации должна быть *общая картина «миграционного потенциала»* данной экосети (или ее фрагмен-

та), 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).

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

Результаты исследования и их обсуждение. *Определение миграционного потенциала экосети Бахмутского водосбора.* Миграционный потенциал между природными ядрами водосборной территории р. Бахмутка Донецкой области рассчитывался по вышеприведенной методике. В качестве «веса» ядер использовалась ранее полученная их комплексная балльная оценка (см. табл.1). 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 фитоценоотическому 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).

Например: определение миграционного потенциала между ядрами $Я_1$ и $Я_3$: комплексная балльная оценка ядер $Я_1 = 488,0$ балла, $Я_3 = 177,0$ балла; длина связывающего их фрагмента речной сети – 15,36 км;

$$k_{1/3} = (14,7 / 50,6 (\text{л}) + 28,3 / 36,6 (\text{п}) + 0,2 / 8,2 (\text{я}) + \\ + 2,6 / 29,0 (\text{кам}) + 2,0 / 7,7 (\text{р})) / 5 = 0,28;$$

$$r_{1/3} = ((17,5 / 0,5 (14,7 + 50,6) (\text{л}) + 0,5 (28,3 + 36,6) (\text{п}) + \\ + 0,3 / 0,5 (0,2 + 8,2) (\text{я}) + 5,3 / 0,5 (2,6 + 29,0 (\text{кам}) + \\ + 4,7 / 0,5 (2,0 + 7,7) (\text{р})) / 5 = 0,49;$$

$$P_{1/3} = 0,28 \cdot 0,49 \cdot 488,0 \cdot 177,0 / 15,36^2 = 50,23.$$

Матрица миграционных потенциалов между ядрами Бахмутской водосборной территории приведена в табл. 2.

Из 21 природных ядер Бахмутского водосбора только ядро Я₂ не связано непосредственно с остальными через речную систему водосбора (отделено от ближайшего водотока карьером и населенным пунктом).

Все остальные ядра водосбора очень тесно привязаны к его речной системе, вследствие чего могут считаться непосредственно связанными между собой. Прохождение речных долин через населенные пункты в данном случае не рассматривалось как препятствие миграционной связи между ядрами, поскольку в большинстве случаев и в населенных пунктах речные долины покрыты растительностью, близкой к природной. Для упрощения расчета относительные площади экокори́доров (речных долин) между всеми ядрами брались усредненными для всего водосбора, а не для отдельного его фрагмента, непосредственно связывающего данную пару ядер.

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, 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 экокори́дора ($\text{Бп}_i - \text{Бп}'_i$). 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 табл. 2 они выделены жирным

Таблица 2

Матрица миграционного потенциала экосети Артемовского района (Бахмутский водосбор)

	Я ₁	Я ₂	Я ₃	Я ₄	Я ₅	Я ₆	Я ₇	Я ₈	Я ₉	Я ₁₀	Я ₁₁	Я ₁₂	Я ₁₃	Я ₁₄	Я ₁₅	Я ₁₆	Я ₁₇	Я ₁₈	Я ₁₈ '	Я ₁₈ ''	Я ₁₉	Σ _{ij}
Я ₁		–	503	4633	5544	8,25	3125	4,60	16,38	0,91	4,58	4,29	10,26	8,41	0,98	3,45	10,41	2,92	4,32	3,49	3,49	26999
Я ₂	–		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Я ₃	50,23	–		6444	69813	2115	2551	3,47	7,72	0,28	2,31	3,35	4,35	4,89	0,24	2,30	5,08	1,23	1,57	1,48	1,15	89888
Я ₄	46,33	–	64,44		2035	1041	1120	1,79	5,62	0,20	1,79	2,08	5,24	3,93	0,23	1,29	1,75	1,30	1,07	0,91	1,37	1813
Я ₅	55,44	–	698,13	20,35		1,52	15116,16	1,1	3,21	0,14	1,01	1,61	2,55	2,47	0,24	0,87	4,95	0,56	0,68	0,62	0,68	1591229
Я ₆	8,25	–	21,15	10,41	1,52		3,05	0,54	1,45	0,007	0,47	0,32	0,56	0,56	0,016	0,47	0,75	0,30	0,15	0,19	0,28	5044
Я ₇	31,25	–	25,51	11,20	15116,16	3,05		2661	3752	0,44	120	1465	1546	2570	0,52	1073	1015	8,19	3,72	2,92	4,04	1535982
Я ₈	4,60	–	3,47	1,79	1,10	0,54	26,61		6630	0,18	1,25	0,86	1,96	1,28	0,14	1,02	0,94	0,22	0,61	0,68	0,34	11389
Я ₉	16,38	–	7,72	5,62	3,21	1,45	37,52	66,30		0,19	4,44	3,04	7,20	7,30	0,14	2,85	2,15	1,80	0,64	1,39	1,68	17102
Я ₁₀	0,91	–	0,28	0,20	0,14	0,007	0,44	0,18	0,19		17139	8,05	30946	0,34	2,64	0,084	7,12	0,16	0,00	0,32	0,22	50213
Я ₁₁	4,58	–	2,31	1,79	1,01	0,47	12,00	1,25	4,44	171,39		19881	30289	4,53	3,07	3,02	2324	1,23	2,08	2,12	1,21	74144
Я ₁₂	4,29	–	3,35	2,08	1,61	0,32	14,65	0,86	3,04	8,05	198,81		2222,05	4,88	3,64	3,40	2437	5,00	1,97	7,07	2,66	2512,10
Я ₁₃	10,26	–	4,35	5,24	2,55	0,56	15,46	1,96	7,20	309,46	302,89	2222,05		9,48	33,08	3,56	81,09	11,86	7,45	6,78	5,26	3040,54
Я ₁₄	8,41	–	4,89	3,93	2,47	0,56	25,70	1,28	7,30	0,34	4,53	4,88	9,48		0,35	12,85	4,07	4,37	3,06	1,77	2,36	102,6
Я ₁₅	0,98	–	0,24	0,23	0,24	0,016	0,52	0,14	0,14	2,64	3,07	3,64	33,08	0,35		0,08	634,54	0,15	0,20	0,13	0,15	680,54
Я ₁₆	3,45	–	2,30	1,29	0,87	0,47	10,73	1,02	2,85	0,084	3,02	3,40	3,56	12,85	0,08		4,85	0,86	1,27	1,48	1,09	55,52
Я ₁₇	10,41	–	5,08	1,75	4,95	0,75	10,15	0,94	2,15	7,12	23,24	24,37	81,09	4,07	634,54	4,85		31,29	10,24	5,81	15,66	878,46
Я ₁₈	2,92	–	1,23	1,30	0,56	0,30	8,19	0,22	1,80	0,16	1,23	5,00	11,86	4,37	0,15	0,86	31,29		1846,85	1255,75	106,40	3280,44
Я ₁₈ '	4,32	–	1,57	1,07	0,68	0,15	3,72	0,61	0,64	0,00	2,08	1,97	7,45	3,06	0,20	1,27	10,24	1846,85		94,48	39,17	2019,53
Я ₁₈ ''	3,49	–	1,48	0,91	0,62	0,19	2,92	0,68	1,39	0,32	2,12	7,07	6,78	1,77	0,13	1,48	5,81	1255,75	94,48		99,87	1487,26

шрифтом). Кроме общего факта наличия тесной связи между ядрами, эти кластеры показывают и наиболее значимые ядра по своему миграционному потенциалу в данном кластере, если у этих ядер (или ядра) больше, чем у остальных *число связей* между всеми ядрами в кластере. Иначе говоря, в таком кластере можно выделить центральное (или центральное и субцентрального) ядро.

Кроме того, из матрицы (см. табл. 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, т.е. 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 [18].

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.

Таким образом, схема пространственной кластеризации ядер экосети Бахмутского водосбора имеет следующий 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 (Я₁ + Я₃ + Я₄ + Я₅ + Я₆ + Я₇); $N_i = 6$.

Значения их миграционного потенциала (по степени его убывания):

$Я_5 \div Я_7 = 15116,16$	$Я_3 \div Я_5 = 698,13$	$Я_3 \div Я_4 = 64,44$
$Я_1 \div Я_5 = 55,44$	$Я_1 \div Я_3 = 50,23$	$Я_1 \div Я_4 = 46,33$
$Я_1 \div Я_7 = 31,25$	$Я_3 \div Я_7 = 25,51$	$Я_3 \div Я_6 = 21,25$
$Я_4 \div Я_5 = 20,35$	$Я_4 \div Я_7 = 11,20$	$Я_4 \div Я_6 = 10,41$

Количество связей между ядрами $n_i = 12$.

Среднее значение миграционного потенциала в кластере: $16150,6/12 = 1345,90$.

Центрального ядра нет, но количество связей в ядрах $Я_3$ и $Я_4$ равно 5, в ядрах $Я_1$, $Я_5$ и $Я_7$ по 4 и у ядра $Я_6$ равно 3.

1.2. Кл₂: ядра ($Я_7 + Я_8 + Я_9$); $Ni = 3$.

$$Я_8 \div Я_9 = 66,30, \quad Я_7 \div Я_9 = 37,52, \quad Я_7 \div Я_8 = 26,61.$$

Количество связей $n_i = 3$; среднее значение миграционного потенциала в кластере: 43,48.

Центрального ядра нет, все ядра равнозначны по количеству связей.

1.3. Кл₃: ядра ($Я_7 + Я_{11} + Я_{12} + Я_{13} + Я_{14}$); $Ni = 5$.

$$Я_7 \div Я_{14} = 25,70, \quad Я_7 \div Я_{13} = 15,46, \quad Я_7 \div Я_{12} = 14,65, \quad Я_7 \div Я_{11} = 12,00.$$

Количество связей $n_i = 4$; среднее значение миграционного потенциала в кластере: 16,95.

Ядро $Я_7$, имеющее четыре связи, является центральным в кластере, тогда как все остальные ядра имеют по одной связи.

1.4. Кл₄: ядра ($Я_7 + Я_{16} + Я_{17}$); $Ni = 3$.

$$Я_7 \div Я_{16} = 10,73, \quad Я_7 \div Я_{17} = 10,15.$$

Количество связей $n_i = 2$; среднее значение миграционного потенциала в кластере: 10,44.

Ядро $Я_7$ является центральным в кластере.

1.5. Кл₅: ядра ($Я_{10} + Я_{11} + Я_{12} + Я_{13}$); $Ni = 4$.

$$Я_{12} \div Я_{13} = 2222,054, \quad Я_{10} \div Я_{13} = 309,46, \quad Я_{11} \div Я_{13} = 302,89, \\ Я_{11} \div Я_{12} = 1998,81.$$

$$Я_{10} \div Я_{11} = 171,39.$$

Количество связей $n_i = 5$; среднее значение миграционного потенциала в кластере: 640,92.

Центрального ядра нет, ядра $Я_{11}$ и $Я_{13}$ имеют по три связи, остальные ядра по две.

1.6. Кл₆: ядра ($Я_{11} + Я_{12} + Я_{13} + Я_{14} + Я_{15} + Я_{16} + Я_{17} + Я_{18}$); $Ni = 8$.

$$Я_{15} \div Я_{17} = 634,54, \quad Я_{13} \div Я_{17} = 81,09, \quad Я_{13} \div Я_{15} = 33,08, \quad Я_{12} \div Я_{17} = 24,37.$$

$$Я_{11} \div Я_{17} = 23,24, \quad Я_{14} \div Я_{16} = 12,85, \quad Я_{13} \div Я_{18} = 11,86.$$

Количество связей $n_i = 7$; среднее значение миграционного потенциала в кластере: 117,29.

$Я_{17}$, имеющее четыре связи в кластере, является центральным, $Я_{13}$ имеет три связи и является субцентральной. $Я_{15}$ имеет две связи в кластере, остальные ядра по одной связи.

1.7. Кл₇: ($Я_{17} + Я_{18} + Я'_{18} + Я''_{18} + Я_{19}$); $Ni = 5$.

$$Я_{18} \div Я'_{18} = 1846,85, \quad Я_{18} \div Я''_{18} = 1255,75, \quad Я_{18} \div Я_{19} = 106,40, \\ Я''_{18} \div Я_{19} = 99,87.$$

$$Я'_{18} \div Я''_{18} = 94,48, \quad Я'_{18} \div Я_{19} = 39,7, \quad Я_{17} \div Я_{18} = 31,29, \quad Я_{17} \div Я_{19} = 15,66, \quad Я_{17} \div Я'_{18} = 10,24.$$

Количество связей $n_i = 9$; среднее значение миграционного потенциала в кластере: 388,86.

Центрального ядра нет.

Кластеры 2-го порядка: образуются путем группировки кластеров 1-го порядка за счет общих ядер между ними.

$$2.1. [Кл_1 + Кл_2 + Кл_3 + Кл_4] = [(Я_1 + Я_3 + Я_4 + Я_5 + Я_6 + Я_7) + (Я_7 + Я_8 + Я_9) + (Я_7 + Я_{11} + Я_{12} + Я_{13} + Я_{14}) + (Я_7 + Я_{16} + Я_{17})].$$

Средний миграционный потенциал данного кластера 2-го порядка получаем простой арифметической суммой аналогичных значений составляющих его кластеров 1-го порядка, деленной на их число: $(1345,9 + 43,48 + 16,95 + 10,44) / 4 = 354,19$.

Ядро **Я₇** здесь является связывающим (кластеры 1-го порядка в один общий кластер) и центральным (по количеству связей).

$$2.2. [Кл_3 + Кл_5] = [(Я_7 + Я_{11} + Я_{12} + Я_{13} + Я_{14}) + (Я_{10} + Я_{11} + Я_{12} + Я_{13})].$$

Средний миграционный потенциал кластера: $(16,95 + 640,92) / 2 = 328,94$.

Ядра **Я₁₁, Я₁₂, Я₁₃** являются связывающими.

$$2.3. [Кл_5 + Кл_6] = [(Я_{10} + Я_{11} + Я_{12} + Я_{13}) + (Я_{11} + Я_{12} + Я_{13} + Я_{14} + Я_{15} + Я_{16} + Я_{17} + Я_{18})].$$

Средний миграционный потенциал кластера: $(640,92 + 117,29) / 2 = 379,11$.

Ядра **Я₁₁, Я₁₂, Я₁₃** являются связывающими.

$$2.4. [Кл_6 + Кл_7] = [(Я_{11} + Я_{12} + Я_{13} + Я_{14} + Я_{15} + Я_{16} + Я_{17} + Я_{18}) + (Я_{17} + Я_{18} + Я'_{18} + Я''_{18} + Я_{19})].$$

Средний миграционный потенциал кластера: $(117,29 + 388,86) / 2 = 253,08$.

Ядра **Я₁₇ и Я₁₈** являются связывающими, а ядро **Я₁₇** по количеству связей является еще и центральным.

Кластеры 3-го порядка: образуются аналогично кластерам 2-го порядка путем объединения их через общие (связывающие) ядра или кластеры 1-го порядка.

$$3.1. (2,1 + 2,2) = ([Кл_1 + Кл_2 + Кл_3 + Кл_4] + [Кл_3 + Кл_5]).$$

Связывающим является весь кластер 1-го порядка **Кл₃**, т.е. ядра **Я₇, Я₁₁, Я₁₂, Я₁₃** являются связывающими, а ядро **Я₇** также является и центральным.

Средний миграционный потенциал кластера: $(354,19 + 328,94) / 2 = 341,57$.

$$3.2. (2,2 + 2,3) = ([Кл_3 + Кл_5] + [Кл_5 + Кл_6]).$$

Связывающим является кластер **Кл₅**, т.е. ядра **Я₁₁, Я₁₂, Я₁₃**.

Средний миграционный потенциал кластера: $(328,94 + 379,11) / 2 = 354,03$.

3.3. $(2,3 + 2,4) = ([\text{Кл}_5 + \text{Кл}_6] + [\text{Кл}_6 + \text{Кл}_7])$.

Связывающим является кластер **Кл₆**, а в нем ядра **Я₁₁**, **Я₁₂**, **Я₁₃** и **Я₁₇**, **Я₁₈**.

Средний миграционный потенциал кластера: $(379,11 + 253,08) / 2 = 316,1$.

Кластеры 4-го порядка: образуются путем слияния всех кластеров 3-го порядка во всем водосборе:

4.1. $(3,1 + 3,2 + 3,3) = \{(2,1 + 2,2) + (2,2 + 2,3) + (2,3 + 2,4)\} = \{[(\text{Я}_1 + \text{Я}_3 + \text{Я}_4 + \text{Я}_5 + \text{Я}_6 + \text{Я}_7) + (\text{Я}_7 + \text{Я}_8 + \text{Я}_9) + (\text{Я}_7 + \text{Я}_{11} + \text{Я}_{12} + \text{Я}_{13} + \text{Я}_{14}) + (\text{Я}_7 + \text{Я}_{16} + \text{Я}_{17})] + [(\text{Я}_7 + \text{Я}_{11} + \text{Я}_{12} + \text{Я}_{13} + \text{Я}_{14}) + (\text{Я}_{10} + \text{Я}_{11} + \text{Я}_{12} + \text{Я}_{13})] + [(\text{Я}_7 + \text{Я}_{11} + \text{Я}_{12} + \text{Я}_{13} + \text{Я}_{14}) + (\text{Я}_{10} + \text{Я}_{11} + \text{Я}_{12} + \text{Я}_{13})] + [(\text{Я}_{10} + \text{Я}_{11} + \text{Я}_{12} + \text{Я}_{13}) + (\text{Я}_{11} + \text{Я}_{12} + \text{Я}_{13} + \text{Я}_{14} + \text{Я}_{15} + \text{Я}_{16} + \text{Я}_{17} + \text{Я}_{18})] + [(\text{Я}_{10} + \text{Я}_{11} + \text{Я}_{12} + \text{Я}_{13}) + (\text{Я}_{11} + \text{Я}_{12} + \text{Я}_{13} + \text{Я}_{14} + \text{Я}_{15} + \text{Я}_{16} + \text{Я}_{17} + \text{Я}_{18})] + [(\text{Я}_{11} + \text{Я}_{12} + \text{Я}_{13} + \text{Я}_{14} + \text{Я}_{15} + \text{Я}_{16} + \text{Я}_{17} + \text{Я}_{18}) + (\text{Я}_{17} + \text{Я}_{18} + \text{Я}'_{18} + \text{Я}''_{18} + \text{Я}_{19})]\}$.

В этом совокупном кластере ядро **Я₇** встречается шесть раз, ядро **Я₁₇** – пять раз, сочетание ядер **(Я₁₁ + Я₁₂ + Я₁₃)** встречается 10 раз и сочетание ядер **(Я₁₇ + Я₁₈)** – четыре раза.

Средний миграционный потенциал кластера, т.е. всего водосбора: $(341,57 + 354,03 + 316,1) / 3 = 337,23$.

Таким образом, в общей пространственной структуре экосети Бахмутского водосбора все составляющие его природные ядра группируются в четырехуровневую иерархическую структуру кластеров, в которой можно выделить по степени связывающей их функции центральные и субцентральные ядра. Это, прежде всего, ядра **Я₇**, **Я₁₇** и **Я₁₃**, имеющие во всей сети наибольшее количество связей с высоким миграционным потенциалом, среди которых центральным является **Я₇** (количество значимых миграционных связей равно 12), и субцентральными – ядра **Я₁₇** и **Я₁₃** (количество значимых миграционных связей равно соответственно 8 и 7).

В схеме пространственной кластеризации природных ядер эти ядра также играют центральную роль, встречаясь чаще всего в областях «перекрывания» кластеров. Обращаясь к картосхеме пространственной структуры экосети Бахмутского водосбора, можно сказать о двух «полях сгущения» ее миграционного потенциала: это так называемое *малое центральное поле* повышенной концентрации миграционных связей – в треугольнике ядер **(Я₁₁ + Я₁₂ + Я₁₃)**, куда из-за территориальной близости можно включить и ядро **Я₁₀**, и *большое центральное поле* повышенной концентрации миграционных связей – в треугольнике, углами которого являются ядра **Я₇**, **Я₁₇** и **Я₁₈** (+ **Я'₁₈**, **Я''₁₈**). Причем первое малое поле находится внутри пространства большого (рис. 2).

Рис. 2. Картограмма пространственной структуры экосети Бахмутского водосбора

Сравнивая полученные данные по миграционному потенциалу природных ядер экосети Бахмутского водосбора с данными этих ядер по их оценкам в баллах по вышеперечисленным характеристикам [14], можно с уверенностью говорить об особом значении в экосети водосбора ядер Я₇ и Я₁₇. Получив наивысшие оценки практически по всем своим характеристикам и, как следствие, по совокупной балльной оценке, они также занимают ведущее положение и в потенциальных миграционных связях водосбора. Это заставляет обратить на них особое внимание при проектировании экологической сети в данном районе.

Было бы очень желательно после более детального их обследования внести наиболее ценные участки их территории в природно-заповедный фонд (ПЗФ) региона. Возможно и внесение в ПЗФ целого кластера между «треугольником» ядер (Я₁₁ + Я₁₂ + Я₁₃) и ядром Я₁₇ в качестве регионального ландшафтного парка (РЛП) с функциональным зонированием его территории.

Выводы. Таким образом, метод пространственной кластеризации природных ядер на основе их миграционного потенциала показывает неизбежность перехода от дискретного принципа построения экологической сети на локальном (топическом) уровне ее исследования, когда можно выделить и оценить элементарные структурные ее единицы – природные ядра (биоцентры), к континуальному подходу на хорическом и региональном уровнях, при которых на первое место выступает определенная функциональная ее характеристика (в данном случае ее миграционный потенциал). А сам метод пространственной кластеризации позволяет выявить дискретно-континуальную сущность любой экологической сети в процессе изменения масштаба ее построения.

В целом, анализируя биоцентрично-сетевую структуру экосети Бахмутского водосбора, можно констатировать достаточно высокую степень связности практически всех составляющих ее природных ядер, а следовательно, и миграционного потенциала всей локальной экосети. Это связано с тем, что река Бахмутка имеет вид классической речной системы, где все притоки и связываемые ими ядра равномерно распределены по всей территории водосбора. Тем не менее выделение на основе анализа степени геотопического сходства природных ядер и связывающих их экокоридоров особых «полей сгущения» миграционного потенциала всей локальной экосети позволяет четко выделить конкретные территории в водосборе, которым следует уделить особое внимание с точки зрения создания на них новых ООПТ.

Библиографический список

1. Development of a large area biodiversity monitoring system driven by remote sensing / D.C. Duro, N.C. Coops, M.A. Wulder, T. Han // Progress in Physical Geography. – 2007. – No. 31. – P. 235–260.
2. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes / L. Fahrig, J. Baudry, L. Brotons, F.G. Burel, T.O. Crist, R.J. Fuller, C. Sirami, G.M. Siriwardena, J. Martin // Ecology Letters. – 2011. – No. 14. – P. 101–112.
3. González-Megías A., Gómez J.M., Sánchez-Piñero F. Spatio-temporal change in the relationship between habitat heterogeneity and species diversity // Acta Oecologica. – 2011. – No. 37. – P. 179–186.
4. Measuring the extent and effectiveness of protected areas as an indicator for meeting global biodiversity targets / S. Chape, J. Harrison, M. Spalding, I. Lysenko // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological. – 2005. – No. 360. – P. 443–455. DOI: 10.1098/rstb.2004.1592
5. Wagner H.H., Fortin M.J. Spatial analysis of landscapes: concepts and statistics // Ecology. – 2005. – No. 86. – P. 1975–1987. DOI: 10.1890/04-0914
6. Chirima G.J., Owen-Smith N., Erasmus B.F.N. Changing distributions of larger ungulates in the Kruger National Park from ecological aerial survey data // Koedoe. – 2012. – Vol. 54, no. 1. – P. 24–35.
7. Ziolkowska E., Ostapowicz K., Radeloff V. Assessing differences in connectivity based on habitat versus movement models for brown bears in the Carpathians // Landscape Ecology. – 2016. – No. 31. – P. 1863–1882. DOI: 10.1007/s10980-016-0368-8
8. Inferring the effects of landscape structure on roe deer (*Capreolus capreolus*) movements using a step selection function / A. Coulon, N. Morellet, M. Goulard, B. Cargnelutti, J-M. Angibault, A.J.M. Hewison // Landscape Ecology. – 2008. – No. 23. – P. 603–614.

9. Quantifying spatiotemporal drivers of environmental heterogeneity in Kruger National Park, South Africa / S. MacFadyen, C. Hui, P.H. Verburg, A.J.A. Van Teeffelen // *Landscape Ecology*. – 2016. – No. 31. – P. 2013–2029. DOI: 10.1007/s10980-016-0378-6
10. Samuel A. Cushman, Falk Huettmann Spatial complexity, informatics, and wildlife conservation. – Springer, 2010. – 452 p. DOI: 10.1007/978-4-431-87771-4
11. M.C. Neel, K. McGarigal, S.A. Cushman. Behavior of class-level landscape metrics across gradients of class aggregation and area // *Landscape Ecology*. – 2004. – No.19. – P. 435–455. DOI: 10.1023/B:LAND.0000030521.19856.cb
12. Fischer J., Lindenmayer D.B. Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis // *Global Ecology and Biogeography*. – 2007. – Vol. 16, iss. 3. – P. 265–280. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2007.00287.x
13. Doebeli M., Dieckmann U. Speciation along environmental gradients // *Nature*. – No. 421. – P. 259–264. DOI: 10.1038/nature01274
14. Блэкберн А.А., Калинихин О.Н. Оценка пространственной структуры локальной экологической сети // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика*. – 2016. – № 2 (22) – С. 206–219. DOI: 10.15593/240985125/2016.02.13
15. Формирование районных экологических сетей на примере Славянского и Краснолиманского районов Донецкой области / А.А. Блэкберн, А.В. Дербенцева, Е.Г. Муленкова, В.М. Остапко, А.Я. Эндебера // *Заповідна справа в Україні*. – 2010. – Т. 16, вип. 2. – С. 1–8.
16. Brunson C., Fotheringham A., Charlton M. Geographically weighted summary statistics a framework for localised exploratory data analysis. // *Computers, Environment and Urban Systems*. – 2002. – Vol. 26, iss. 6. – P. 501–524. DOI: 10.1016/S0198-9715(01)00009-6
17. Гродзинський М.Д. Основи ландшафтної екології. – Київ: Либідь, 1993. – 224 с.
18. Гродзинський М.Д. Пізнання ландшафту: місце і простір: моногр.: у 2 т. – Т.1. – Київ: Вид. центр «Київський університет», 2005. – 431 с.
19. An analysis of spatio-temporal landscape patterns for protected areas in northern New England: 1900–2010 / S.R. Meyer, K. Beard, C.S. Cronan, R.J. Lilieholm // *Landscape Ecology*. – 2015. – Iss. 30. – P. 1291–1305. DOI: 10.1007/s10980-015-0184-6
20. Gould W. Remote sensing of vegetation, plant species richness, and regional biodiversity hotspots // *Ecological Applications*. – 2000. – Vol. 10, no. 6. – P. 1861–1870. DOI: 10.2307/2641244

References

1. Duro D.C., Coops N.C., Wulder M.A., Han T. Development of a large area biodiversity monitoring system driven by remote sensing. *Progress in Physical Geography*, 2007, no. 31, pp. 235–260.
2. Fahrig L., Baudry J., Brotons L., Burel F.G., Crist T.O., Fuller R.J., Sirami C., Siriwardena G.M., Martin J. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecology Letters*, 2011, no. 14, pp. 101–112.
3. González-Megías A., Gómez J.M., Sánchez-Piñero F. Spatio-temporal change in the relationship between habitat heterogeneity and species diversity. *Acta Oecologica*, 2011, no. 37, pp.179–186.
4. Chape S., Harrison J., Spalding M., Lysenko I. Measuring the extent and effectiveness of protected areas as an indicator for meeting global biodiversity targets. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological*, 2005, no. 360, pp. 443–455. DOI: 10.1098/rstb.2004.1592
5. Wagner H.H., Fortin M.J. Spatial analysis of landscapes: concepts and statistics. *Ecology*, 2005, no. 86, pp. 1975–1987. DOI: 10.1890/04-0914
6. George J. Chirima, Norman Owen-Smith, Barend F.N. Erasmus. Changing distributions of larger ungulates in the Kruger National Park from ecological aerial survey data. *Koedoe*, 2012, vol. 54, no. 1, pp. 24–35.
7. Ziolkowska E., Ostapowicz K., Radeloff V. Assessing differences in connectivity based on habitat versus movement models for brown bears in the Carpathians. *Landscape Ecology*, 2016, no. 31, pp. 1863–1882. DOI: 10.1007/s10980-016-0368-8
8. Coulon A., Morellet N., Goulard M., Cargnelutti B., Angibault J.-M., Hewison A.J.M. Inferring the effects of landscape structure on roe deer (*Capreolus capreolus*) movements using a step selection function. *Landscape Ecology*, 2008, no. 23, pp. 603–614.

9. Sandra MacFadyen, Cang Hui, Peter H. Verburg, Astrid J. A. Van Teeffelen Quantifying spatiotemporal drivers of environmental heterogeneity in Kruger National Park, South Africa. *Landscape Ecology*, 2016, no.31, pp. 2013-2029. DOI: 10.1007/s10980-016-0378-6
10. Samuel A. Cushman, Falk Huettmann Spatial complexity, informatics, and wildlife conservation. *Springer Tokyo Berlin Heidelberg New York*, 2010, 452 p. DOI: 10.1007/978-4-431-87771-4
11. Maile C. Neel, Kevin McGarigal, Samuel A. Cushman Behavior of class-level landscape metrics across gradients of class aggregation and area. *Landscape Ecology*, 2004, no.19, pp. 435-455. DOI: 10.1023/B:LAND.0000030521.19856.cb
12. Fischer J., Lindenmayer D.B. Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis. *Global Ecology and Biogeography*, 2007, vol. 16, Issue 3, pp. 265-280. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2007.00287.x
13. Doebeli M., Dieckmann U. Speciation along environmental gradients. *Nature*, no. 421, pp. 259-264. DOI: 10.1038/nature01274
14. Blakbern A., Kalinihin O. Otsenka prostranstvennoy struktury lokal'noy ekologicheskoy seti [Assessment of spatial structure local environmental network] *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika*, 2016, no. 2 (22), pp. 206-219. DOI: 10.15593/240985125/2016.02.13
15. Blackburn A.A., Derbentseva A.V., Mulenkova E.G., Ostapko V.M., Endebery A.Y. Formirovaniye rayonnykh ekologicheskikh setey na primere Slavyanskogo i Krasnoli-manskogo rayonov Donetskoy oblasti [Formation of regional ecological networks as an example of the Slavic and Krasnolimanskiy Donetsk region]. *Zapovidna sprava v Ukrainy*, 2010, vol. 16, no. 2, pp. 1-8.
16. Brunsdon C., Fotheringham A., Charlton M. Geographically weighted summary statistics a framework for localised exploratory data analysis. // *Computers, Environment and Urban Systems*, 2002, Vol. 26, Issue 6, pp. 501-524. DOI: 10.1016/S0198-9715(01)00009-6
17. Grodzinsky M.D. Osnovy landshaftnoy ekologii [Basics of landscape ecology]. Kyiv: Lybid, 1993, 224 p.
18. Grodzinsky M.D. Piznannya landshaftu: mistse i prostir [Knowledge of the land-landscape: the place and space]. Kyiv: Print. center «Kyiv University», 2005, vol. 1, 431 p.
19. Spencer R. Meyer, Kate Beard, Christopher S. Cronan, Robert J. Lilieholm. An analysis of spatio-temporal landscape patterns for protected areas in northern New England: 1900–2010. *Landscape Ecology*, 2015, Issue 30, pp. 1291-1305. DOI: 10.1007/s10980-015-0184-6
20. Gould W. Remote sensing of vegetation, plant species richness, and regional biodiversity hotspots. *Ecological Applications*, 2000, vol. 10, no. 6, pp. 1861-1870. DOI: 10.2307/2641244

Получено 2.03.2017

A. Blackburn, O. Kalinihin

SPATIAL CLUSTERING OF NATURAL NUCLEI OF A LOCAL ECONET BASED ON THEIR MIGRATION POTENTIAL

This paper is a logical continuation of an article written by the same authors, where the spatial structure of a local ecological network (by the example of Artemovsk administrative district of Donetsk region) in terms of a comprehensive assessment in points of its natural nuclei has been examined. However, this method which gives a comparative description of structural elements of an ecological network (natural nuclei), does not allow to evaluate the main functional characteristic of ecological network, namely its migration capacity. In this paper an original method of evaluating spatial hierarchical structure of the local ecological network of Bakhmut water-collecting area on the basis of the determination of the migration potential between its natural nuclei is presented. The latter was obtained on the basis of the gravity model of similarity of their constituent geotopes (land types) by

means of integrated assessment in points of their ecosystem characteristics. The result is a spatial hierarchical structure of the local ecological network in the form of clusters of natural nuclei of 1st to 4th order. The conclusion of the discrete-continuous nature of any ecological network in the transition process of its construction from the local (discrete level of its organization) to its regional level (with the continual nature of its structural organization) is drawn.

Keywords: local ecological network, natural nuclei, migration potential, biocentric-network structure of ecological network, spatial clustering of natural nuclei.

Блакберн Андрей Альфредович (Донецк, Украина) – канд. биол. наук, доцент кафедры прикладной экологии и охраны окружающей среды, Донецкий национальный технический университет (83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, e-mail: blackburn.fox@mail.ru).

Калинин Олег Николаевич (Донецк, Украина) – канд. техн. наук, доцент кафедры прикладной экологии и охраны окружающей среды, Донецкий национальный технический университет (83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, e-mail: kalinihin@gmail.com).

Blackburn Andrej (Donetsk, Ukraine) – Ph.D. in Biological Sciences, Associate Professor, Department of Applied Ecology and Environment Protection, Donetsk National Technical University (83001, Donetsk, Artema str.,58, e-mail: blackburn.fox@mail.ru).

Kalinihin Oleg (Donetsk, Ukraine) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Applied Ecology and Environment Protection, Donetsk National Technical University (83001, Donetsk, Artema str.,58, e-mail: kalinihin@gmail.com).