

УДК 502.4

АНАЛИЗ СТРУКТУРНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОСЕТИ (НА ПРИМЕРЕ ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ)

Е. В. Шушкова

*ГНПО «Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам»,
ул. Академическая, 27, 220072 Минск, Беларусь, email: lena-shushkova@yandex.by*

В современных исследованиях по развитию экологических сетей большое внимание уделяется вопросам их устойчивости. В работе проведена оценка структурной устойчивости существующей экологической сети на примере Витебской области. Для существующей схемы определены показатели связности и центральности экологической сети. Полученные результаты отражают диспропорции в наличии установленных связей между ядрами экосети в западной и восточной частях региона.

Ключевые слова: экологическая сеть; устойчивость экологической сети; индексы связности; индексы центральности.

ANALYSIS OF STRUCTURAL RESILIENCE OF THE NATIONAL ECOLOGICAL NETWORK (CASE OF THE VITEBSK REGION)

A. V. Shushkova

*Scientific and Practical Centre for Bioresources, NAS of Belarus
Akademicheskaya str., 27, 220072 Minsk, Belarus, email: lena-shushkova@yandex.by*

In today research on development of ecological networks much attention is paid to the issues of their resilience. In this work the structural resilience of the existing ecological network has been assessed using the indices of connectivity and indices of centrality for the case of Vitebsk region. The obtained results reveal disproportions in the established connections between the core areas in the western and eastern parts of the region.

Key words: ecological network; ecological resilience; connectivity indices; centrality indices.

Современные исследования в области экологических сетей большое внимание уделяют вопросам их устойчивости [1; 2]. Исследование устойчивости (англ. *resilience*) экологической сети, в том числе структурной устойчивости, определяет надежность сетевой структуры, а с точки зрения управления выявляет необходимость дополнительных мероприятий по формированию связей между элементами.

В Беларуси Национальная экологическая сеть была утверждена в 2018 г. [3]. В настоящее время проводятся мероприятия по реализации

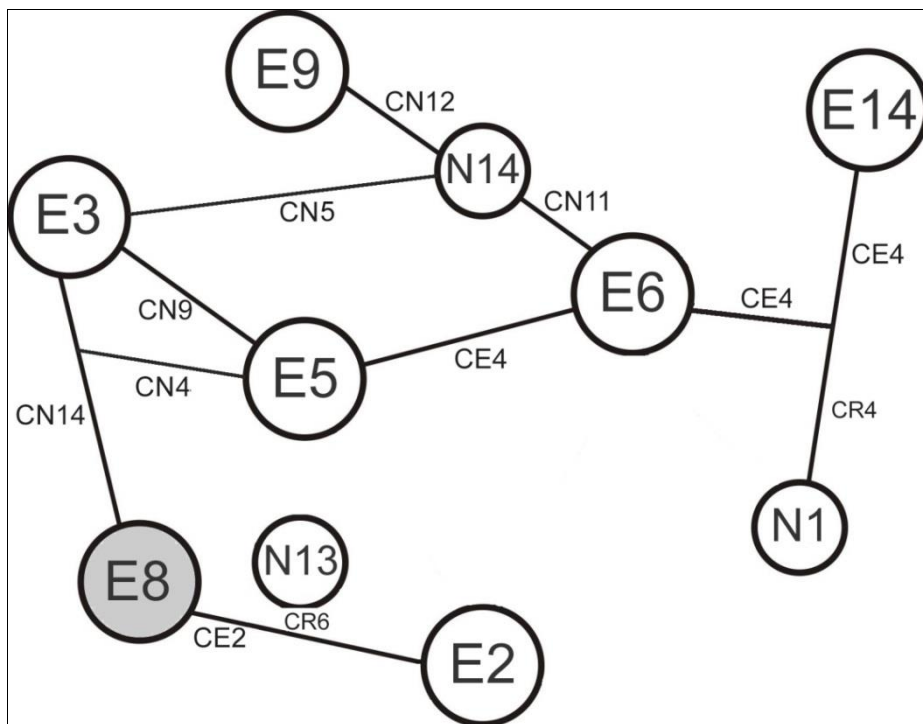
Схемы, однако эти мероприятия не включают исследование устойчивости утвержденной экосети.

Цель данной публикации — оценить структурную устойчивость существующей экологической сети на примере Витебской области, выявить наиболее сильные и наиболее слабые (неустойчивые) связи между ядрами экологической сети в регионе.

На территории Витебской области находится 16 ядер экологической сети (в т. ч. 7 — международного значения, 3 — национального значения, 6 — регионального значения), а также 14 экологических коридоров.

Для анализа структурной устойчивости экологических сетей часто применяются индексы связности [4, с. 344; 5, с. 4], с помощью которых определяется, насколько и как развита сеть связей между элементами.

Модель экологической сети Витебской области в виде плоского графа представлена на рисунке. Модель включает 10 вершин, каждая из которых соответствует определенному природному ядру экосети международного или национального значения, и 10 ребер, которые соответствуют отдельным участкам коридоров. Четыре экологических коридора (CE3 Днепровский, CN8 Обольский, CR3 Лиозненский, CR7 Усвяча) не рассматривались, поскольку не являются связями между ядрами. Ядра регионального значения не включались, поскольку они расположены вдоль коридоров и не являются местом их пересечения (рисунок).



Национальная экологическая сеть на территории Витебской области
(в виде графа связности)

Обозначения соответствуют схеме национальной экологической сети:

Ядра: **E2** – Березинское (частично), **E3** – Браславское, **E5** – Ельня, **E6** – Козьянское, **E8** – Нарочанское (частично), **E9** – Поозерское; **E14** – Суражское: **N1** – Бабиновичское, **N13** – Сервечь, **N14** – Синьша.

Коридоры: **CE2** – Вилейский, **CE4** – Западная Двина, **CN4** – Дисна, **CN5** – Дрисса, **CN9** – Обстерновский, **CN11** – Синьша – Козьянский, **CN12** – Синьша – Поозерский, **CN14** – Споричский, **CR4** – Лучоса, **CR6** – Сервечь.

Основными и наиболее часто используемыми оценками связности графа являются α -, β - и γ -индексы. Поскольку данные индексы сильно коррелируют друг с другом, в данном исследовании используется только γ -индекс, отражающий связность сети.

Гамма-индекс представляет собой отношение существующего (либо проектируемого) числа коридоров к их максимально возможному (для данного V) числу. Он характеризует степень альтернативности выбора путей из одного ядра в другие.

$$\gamma - \text{индекс} = \frac{E}{3(V-2)},$$

где: E – число ребер графа (коридоров), V – число вершин графа (природных ядер в пределах заданной территории).

Для национальной экологической сети на территории Витебской области $V=10$, $E= 10$, $\gamma= 0,41$. Таким образом, территориальная структура экологической сети региона имеет простую кольцевую либо линейную конфигурацию. Это свидетельствует о том, что соседние ядра находятся под угрозой разрыва связей / коридоров, а устойчивость сети низкая.

Кроме оценки связности, при оценке эффективности экосетей используются показатели центральности, с помощью которых можно определить узлы сетевой структуры, занимающие в ней центральное место и имеющие наиболее короткий путь ко всем остальным ядрам экосети. Дополнительно можно учитывать длину связей между ядрами. В качестве показателей центральности рассчитаны абсолютный индекс доступности ядра S_i , число Кенига K , индекс Бичема R_i . Проведенная оценка линейных корреляций между рассчитанными индексами показывает, что они сильно коррелируют друг с другом, поэтому в данном исследовании используется только индекс S_i .

Показатели центральности отражены в матрице соседства вершин графа (таблица). Элементы a_{ij} этой матрицы равны числу коридоров между ядрами i и j [5, с. 342].

Матрица соседства для экологической сети на территории Витебской области

	E2	E3	E5	E6	E8	E9	E14	N1	N13	N14	Si	K	Ri
E2	0	2	3	4	1	4	6	6	2	3	31	6	0,29
E3	2	0	1	2	1	2	4	4	3	1	20	4	0,45
E5	3	1	0	1	2	3	3	3	4	2	22	4	0,4
E6	4	2	1	0	3	2	2	2	5	1	22	5	0,4
E8	1	1	2	3	0	3	5	5	2	2	24	5	0,37
E9	4	2	3	2	3	0	4	4	5	1	28	5	0,32
E14	6	4	3	2	5	4	0	3	7	3	37	7	0,24
N1	6	4	3	2	5	4	3	0	7	3	37	7	0,24
N13	2	3	4	5	2	5	7	7	0	4	39	7	0,23
N14	3	1	2	1	2	1	3	3	4	0	20	4	0,45

Примечание. ядра экологической сети: E2 – Березинское (частично), E3 – Браславское, E5 – Ельня, E6 – Козьянское, E8 – Нарочанское (частично), E9 – Поозерское; E14 – Суражское; N1 – Бабиновичское, N13 – Сервечь, N14 – Синьша

Полученные результаты отражают ряд недостатков существующей экологической сети. Центральное место в экологической сети региона занимают Браславское ядро (E3) и ядро «Синьша» (N14). Вокруг этих ядер формируется экологическая сеть региона. То есть, в пространственном отношении центральная ось экосети региона смещается в ее северо-западную часть.

Максимальные показатели индексов центральности имеет ядро Сервечь (N13), а также Суражское (E14) и Бабиновичское (N1) ядра в восточной части региона. Это показывает неустойчивость их связи с другими элементами экосети в регионе.

В целом, модель экосети имеет линейную конфигурацию, то есть каждое отдельное ядро связано с остальными ядрами лишь через одно или несколько ребер (коридоров), что отражает уязвимость существующей экосети в регионе.

Библиографические ссылки:

1. Wang T., Li H., Huang Y. The complex ecological network's resilience of the Wuhan metropolitan area // Ecological Indicators. Vol. 130. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108101>
2. Voghera A., Giudice B. Evaluating and Planning Green Infrastructure: A Strategic Perspective for Sustainability and Resilience // Sustainability. 2019. Vol. 11 (10). <https://doi.org/10.3390/su11102726>
3. Об экологической сети. Указ Президента Республики Беларусь от 13.03. 2018 г. № 108. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 16.03.2018, 1/17595.

4. Гродзинський, М. Д. Пізнання ландшафту: місце і простір: Монографія. У 2-х т. / М.Д. Гродзинський. К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2005. Т. 2. 503 с.

5. Wang S., Wu M., Hu M., Fan C., Wang T., Xia B. Promoting landscape connectivity of highly urbanized area: An ecological network approach // Ecological Indicators. Vol. 125. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107487>