

УДК 502.5 (477.61)

## Экологическая сеть степных фрагментированных ландшафтов: модель LARCH для Луганской области

В. Ключев<sup>1</sup>, Т. Ван дер Слуйс<sup>2</sup><sup>1</sup>Донецкий национальный технический университет

E-mail: vitleo@ukr.net

<sup>2</sup>Университет и исследовательский центр Вагенинген, Альтерра, Королевство Нидерланды

Theo.vanderSluis@wur.nl@ukr.net

### Abstract

*Kliuiev V., Van der Sluis T. "Ecological network of steppe fragmented landscape: model LARCH in Lugansk region" The main aspects of the ecological network fragmented environment were presented. Methodology landscape design Econet – LARCH, was used. Combine and modeling scheme of econet for fragmented territory urbanized region was proposed.*

*Keywords: econet, fragmentation, Lugansk, Belovodsk, habitat, econet pattern*

### Введение

Экосеть в настоящее время рассматривается как единственный устойчивый системный механизм сохранения природных комплексов. Процессы сохранения и рационального использования природы дополняют друг друга при устойчивом развитии экологической сети [1]. Живые организмы населяют определенный тип местности, площадь которого различна. Это зависит от экологических составляющих, биологических характеристик видов и размеров индивидуальной территории, которую они заселяют. Исторически сложилось так, что природная среда из-за использования земли сельским хозяйством, промышленностью, а также в связи с ростом численности населения и все большим распространением инфраструктуры подвергается фрагментации происходит урбанизация природных территорий.

Большая часть территории Луганской области, рассмотренная авторами в качестве модельной, используется под сельское хозяйство, раньше относилась к степному биому. В наше время площадь степных участков в Луганской области составляет 4% [2]. В связи с потерей части природной среды и фрагментацией природных территорий существует угроза снижению биоразнообразия в ближайшем будущем [3].

### Цель и задачи исследования

Целью исследования стало создание схем экосети степных ландшафтов на примере Беловодского района Луганской области. Для достижения результата поставлены следующие задачи:

- изучить картографический материал исследуемой территории;
- составить ГИС-базы данных земель

сельскохозяйственного использования, природно-заповедного фонда;

- оцифровать данные дистанционного зондирования Земли;

- определить элементы экологической сети с помощью ландшафтного моделирования LARCH.

### Фрагментация природных экосистем

Фрагментация природных экосистем – это деление исходно больших территорий на относительно небольшие участки благоприятной для организмов среды обитания. Однако, как показывает практика, лишь небольшие популяции видов могут выживать в малых и изолированных средах [4, 5]. На рисунке 1 наглядно показан процесс фрагментации природной среды. Обширные природные территории (верхняя схема) постоянно уменьшаются в размерах в результате антропогенной деятельности, например, вследствие вырубki леса. Природная среда обитания уменьшается в размерах или делится на маленькие части (нижняя схема). Выживаемость видов в таких условиях определяет множество факторов. Например, аномальные климатические условия в течение нескольких лет подряд или эпидемия могут привести к полному исчезновению вида в определенной местности [6 – 9]. Эффект фрагментации территорий является причиной угасания популяций многих видов. Дороги, как инструмент фрагментации, могут создавать барьеры для миграций животных, приводить к сокращению площади индивидуальных видовых участков. Транспортные пути ограничивают поток генов между локальными популяциями многих видов [10 – 12].

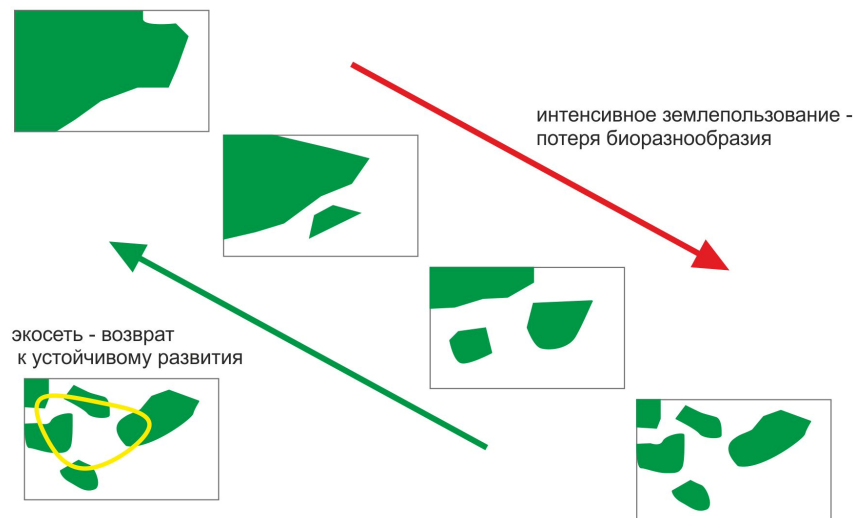


Рисунок 1. – Изображение фрагментации среды обитания: слева на начальной стадии, справа на финальной стадии исчезновения среды обитания

### **Основные методические принципы составления экосети**

Проектирование экосети включает в себя несколько этапов: изучение масштабов работы, формирование цели экологической сети, определение основных видов фауны, характерных для соответствующей территории, а также процесс расчетов и составления экосети. Для этого необходимо руководствоваться следующими методологическими аспектами:

- иерархический подход: от больших масштабов среды обитания к малым (определение основных структур на международном или континентальном уровне, на национальном уровне, на региональном или местном уровне, например: при строительстве сети дорог, в первую очередь строятся магистрали, а уже затем начинают присоединять второстепенные дороги и т.д.).

- определение целевой экосистемы (для эффективной работы экосетей каждый структурный элемент должен объединять конкретные типы биотопов). Нецелесообразно объединение экокоридоров различных типов местности. Большинство видов флоры и фауны предпочитают один тип среды обитания, одну экосистему. Выделяют целевые экосистемы и затем уже для каждой экосистемы определенное распределение и потенциал сети. В восточной Украине, и, в частности, в Луганской области, существуют три основных типа среды обитания: степи, леса, а также реки и водно-болотные угодья. На рисунке 2 изображена схема с основными типами экосистем Луганской области (Van der Sluis, 2009). Это не исключает

сочетания различных типов сред обитания и экосистем. Очень часто болота встречаются вблизи рек, а леса вблизи крупных речных долин. Развитие экологических сетей для этой экосистемы может привести к комбинации типов сфер обитания.

- отбор ключевых видов (экосеть должна обслуживать спектр видов, типичных для определенной экосистемы). Экосеть должна обеспечивать стабильность популяций тех видов, которые являются типичными для степей, как крупных, так и мелких видов, из различных групп позвоночных и беспозвоночных. Индикаторные виды могут варьироваться от жуелиц, характерных рептилий, до жаворонка, дрофы, суслика, шакала или волка. Ключевые виды должны отбираться на территориях, на которых ведется работа по исследованию биоразнообразия с учетом ареалов местообитания видов на этих территориях.

- составление схем типов сред обитания фауны и землепользования изучаемой территории играет важную роль для правильного планирования и развития экологической сети. Эти мероприятия позволяют сделать первичный анализ территорий, для которых планируется разработка экосети. Схемы позволяют получить первичную информацию о том, являются ли условия данной среды обитания приемлемыми для жизни ключевых видов. В нашем исследовании первично выделены степные природные системы, которые служат основой для экосети региона.



Рисунок 2. – Главные экоструктурные экокоридоры экосети Луганской области

### **Ландшафтное экологическое моделирование – модель LARCH**

Для оценки и анализа функционирования экосети использована модель ландшафтно-экологической среды обитания – модель LARCH. Данная модель разработана как экспертная система, используемая для анализа и оценки биопотенциала природных территорий. Модель описана в разных источниках [13 – 17].

Принцип LARCH прост: размер отдельного элемента среды обитания определяет потенциальное число особей конкретного вида, которое он может содержать. Расстояние между соседними элементами определяет принадлежность этих участков к сети. Площадь территории экосети определяет, может ли она содержать жизнеспособную популяцию. Если да, то потенциал сети предоставляет стабильность для существования данного вида. Оценка стабильности экологической сети основана на общей площади сети, качестве среды обитания и на пространственной сплоченности элементов среды обитания. LARCH содержит информацию о структуре метапопуляций и жизнеспособности популяций в отношении распространения среды обитания и ее вмещающей способности.

Эта модель оценивает пространственную сплоченность потенциальных мест обитания и содержит информацию о возможности построения эталонных экологических ландшафтных экокорридоров.

Модель LARCH использует карты землепользования и растительности, на которые хорошо отображают типы экосистем исследуемой территории. База данных LARCH содержит пространственные характеристики многих видов (например, территорию распространения, обитания, плотность, пространственные требования к стабильному существованию), что позволяет использовать ее для изучения различных типов сред обитания. База данных с пространственными характеристиками основывается на исследованиях, и на разработках моделирования динамики популяций. Полученные результаты проходят проверку местными специалистами (в нашем исследовании проверку проводил эксперт И. Загороднюк и Лаборатория биогеографии ЛНУ имени Тараса Шевченко). Модель LARCH представляет собой набор правил, основанных на теории метапопуляций [13, 14]. Результатом работы модели LARCH является схематическое отображение, на котором показаны элементы экологической сети, а также пространственная сплоченность среды обитания. В нее также могут быть включены эффекты барьеров (например, дороги, городские территории).

### **Ключевые виды фауны степных ландшафтов Луганской области**

Существуют требования к подбору индикаторных видов для процесса моделирования экосети. Информация о них должна быть привязана к среде обитания (типу биотопа), т.е. к территории, которую они населяют. Виды не должны быть редкими, но и не должны являться распространенными или исчезающими. Отобранные виды должны удовлетворять различным пространственным требованиям к территории, где они обитают, и диапазону их распространения. Выбор видов из различных групп (птицы, млекопитающие, рептилии и т.д.) является гарантией корректности результатов. Информация о видах была взята из литературных источников [3, 18 – 22]. Акцент выбора был сделан на степных видах, населяющих основную и в то же время критическую и фрагментированную среду обитания на данной территории [23, 24]. Кроме видовых территориальных характеристик учитывалась площадь территории их распространения. Основываясь на всех выше перечисленных требованиях, был определен перечень ключевых видов для исследования (табл. 1).

Таблица 1. – Ключевые виды фауны, определенные моделью LARCH для степной зоны Луганской области

Ключевые виды	
Bubo bubo	Saga pedo
Canis lupus	Sicista ex gr.
Circus macrourus	Spermophilus ex gr.
Emberiza hortulana	Vipera ex gr.
Marmota bobak	Vormela peregusna
Oenanthe isabellina	

Для этого исследования отобрано 4 вида птиц, с диапазоном индивидуального перемещения от 10 – 50 км, 5 видов млекопитающих – от 1 – 200 км, один вид рептилий и один насекомых с дальностью перемещения до 2 км. Некоторые из этих видов занесены в Красную книгу Украины, а также в списки международных конвенций и в директивы ЕС [25 – 27].

В таблице 2 приведены ключевые виды с различными площадями индивидуальных участков и длинами суточного перемещения по этим территориям. Данные видовые характеристики указывают на чувствительность вида к пространственным изменениям вследствие фрагментации ландшафта. Эти данные являются ключевыми для определения биологической емкости фрагментированных территорий, они позволяют дать оценку размерности проектируемого участка экосети.



Таблиця 2. – Требования к среде обитания (км<sup>2</sup>) по отношению к дальности перемещения (км) отдельных ключевых видов\*

Основная площадь обитания, км <sup>2</sup>	Расстояние, км					
	<1	1-3	3-7	7-15	15-35	>35
0-0,1	Sc					
0,1-1	Sc				Oi	
1-5		Mb Vu				
5-10		Sp Vp				
10-50				Eh		
50-150						
150-1000					Bb	
>1000					Cl Cm	

\* Oi – *Oenanthe isabellina*, Eh – *Emberiza hortulana*, Bb – *Bubo bubo*, Cm – *Circus macrourus*, Sc – *Spermophilus ex gr.*, Sicista – *Sicista ex gr.*, Mb – *Marmota bobak*, Vb – *Vormela peregusna*, Cl – *Canis lupus*, Vu – *Vipera ex gr.*, Sp – *Saga pedo*.

### Результаты моделирования

В результате моделирования получены схемы территорий распространения ключевых видов фауны в настоящее время и вследствие развития экологической сети на территории Беловодского района Луганской области (рис. 3 а-в). Стоит отметить, что моделирование дает возможность вычисления «среднего качества» среды обитания. Результаты моделирования показывают уровень пригодности территорий для сохранения биоразнообразия путем развития экосети [15].

Оценка распространения популяций исследуемых видов показала, что потенциально более многочисленные группы *Sicista betulina* встречаются на обширных известковых склонах. Меньше всего их на севере от Беловодска и на западе от реки Евсуг, что соответствует минимальной жизнеспособной популяций (MVP).

Дороги и населенные пункты являются барьером для распространения многих видов фауны на исследуемой территории. Чувствительными к барьерам видами являются: *Vormela peregusna*, *Marmota bobak*, *Spermophilus citellus*, *Sicista betulina*, *Vipera ursinii* и *Saga pedo*. На птиц не влияют такого типа барьеры, как дороги и городская инфраструктура, но несмотря на это, некоторые виды, такие как *Emberiza hortulana*, менее приспособлены к антропогенноизмененным ландшафтам. Они привязаны территориально к открытой местности.

Следующим этапом было определение для ключевых видов постоянной среды

обитания на отдельных участках экосети. Не все территории, где мы наблюдали потенциальные популяции (темные области на рис. 3 а-в, схемы слева) являются постоянными для обитания: некоторые слишком малы, чтобы популяции могли выжить. Участки исследуемой территории нуждаются в укрупнении с помощью экологической сети для объединения популяций и как следствие повышения их биоемкости. Если объединение площадей не возможно или в наши дни не выполнено, то населенная индикаторными видами территория не является для них постоянной, и они находятся под угрозой исчезновения (области, выделенные светло-серым на рис. 3 а-в схемы слева).

Потенциально легко адаптирующимися и легко изменяющими свои индивидуальные участки видами являются *Emberiza hortulana* и *Oenanthe isabellina*. Это виды, индивидуальные участки которых очень пластичны по площади и не имеют стабильных размеров. *Sicista ex gr. betulina* имеет несколько очень жизнеспособных популяций, но также есть и нежизнеспособные (рис. 3 а схема слева). Тоже самое и с *Vipera ex gr. ursinii* и *Saga pedo*. *Vormela peregusna* является устойчивым видом, но в центральной части Беловодского района есть территории, которые слишком малы и изолированы, они не являются потенциальными для планирования экосети района.

Нежизнеспособными видами являются *Marmota bobak*, *Bubo bubo*, *Circus macrourus* и *Canis lupus*. Исследуемые территории имеют малые площади для этих видов. Актуальным для этих видов будет исследование больших по площади территорий, которые будут охватывать индивидуальные участки этих видов и территории потенциальные к заселению ими.

Результат планирования экологической сети по сценарию LARCH (рис. 3 а-в, схемы справа) показывает возможное изменение численности ключевых видов [15, 28].

В результате построения и функционирования экосети почти все виды увеличатся в численности популяций (насыщение серого цвета на схемах распространения видов).

Виды с очень низкой плотностью популяций и большой территорией распространения не изменяют свои ареалы. Это связано с тем, что исследуемые территории малы для анализа их индивидуальных участков. В действительности, эти виды (*Canis lupus*, *Bubo bubo*) имеют жизнеспособные популяции. Менее подвижные виды, такие как *Marmota bobak*, *Sicista betulina* и *Vipera ursinii* покажут увеличение ареалов в рамках экологической сети.

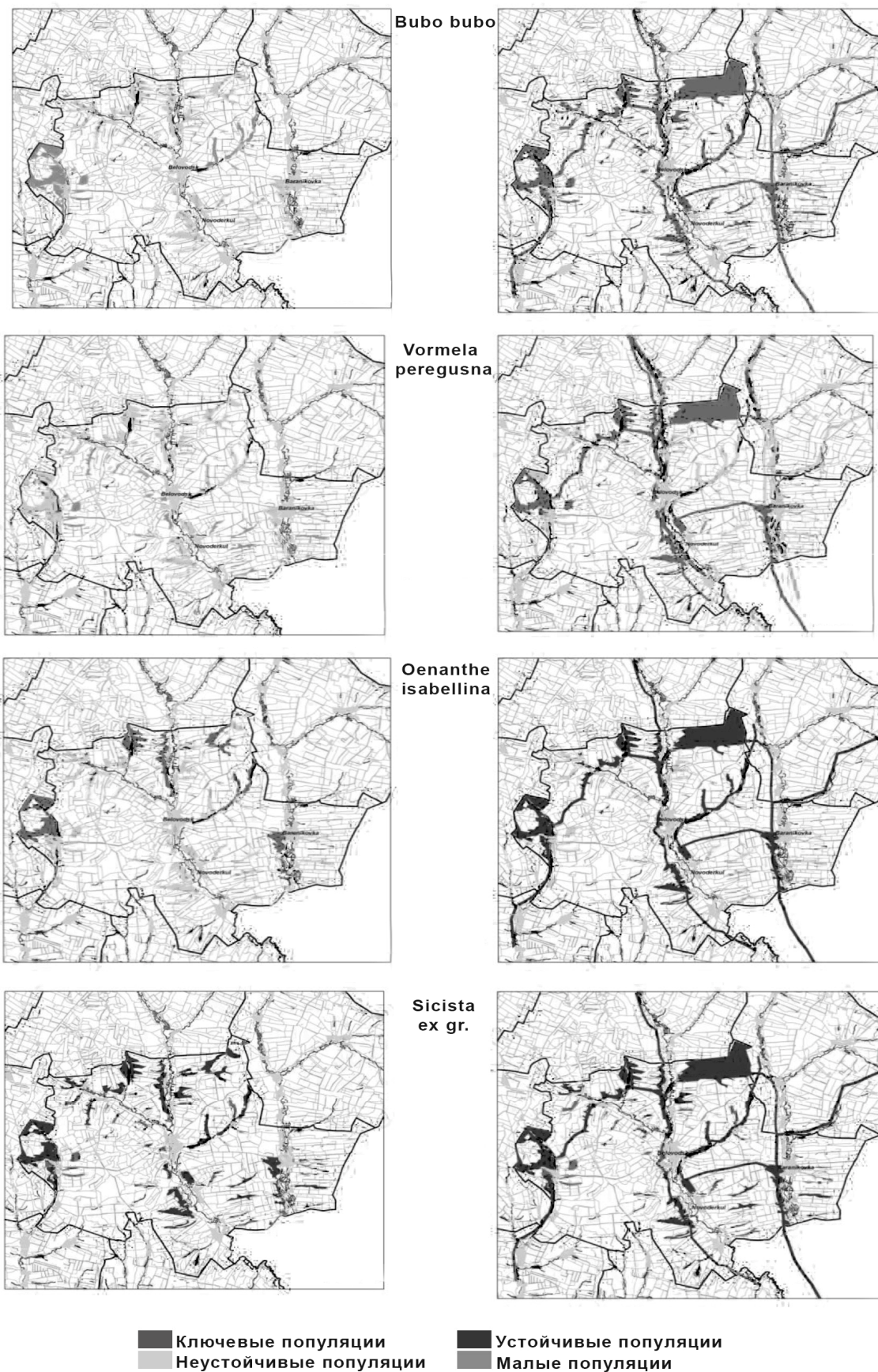


Рисунок 3 а. – Результати моделювання LARCH – території найбільш біоекмі для ключових видів, зліва до функціонування екосети, а справа – після





Рисунок 3 б. – Результати моделювання LARCH – території найбільш біоемкіе для ключевих видів, слева до функціонування екосети, а справа – після



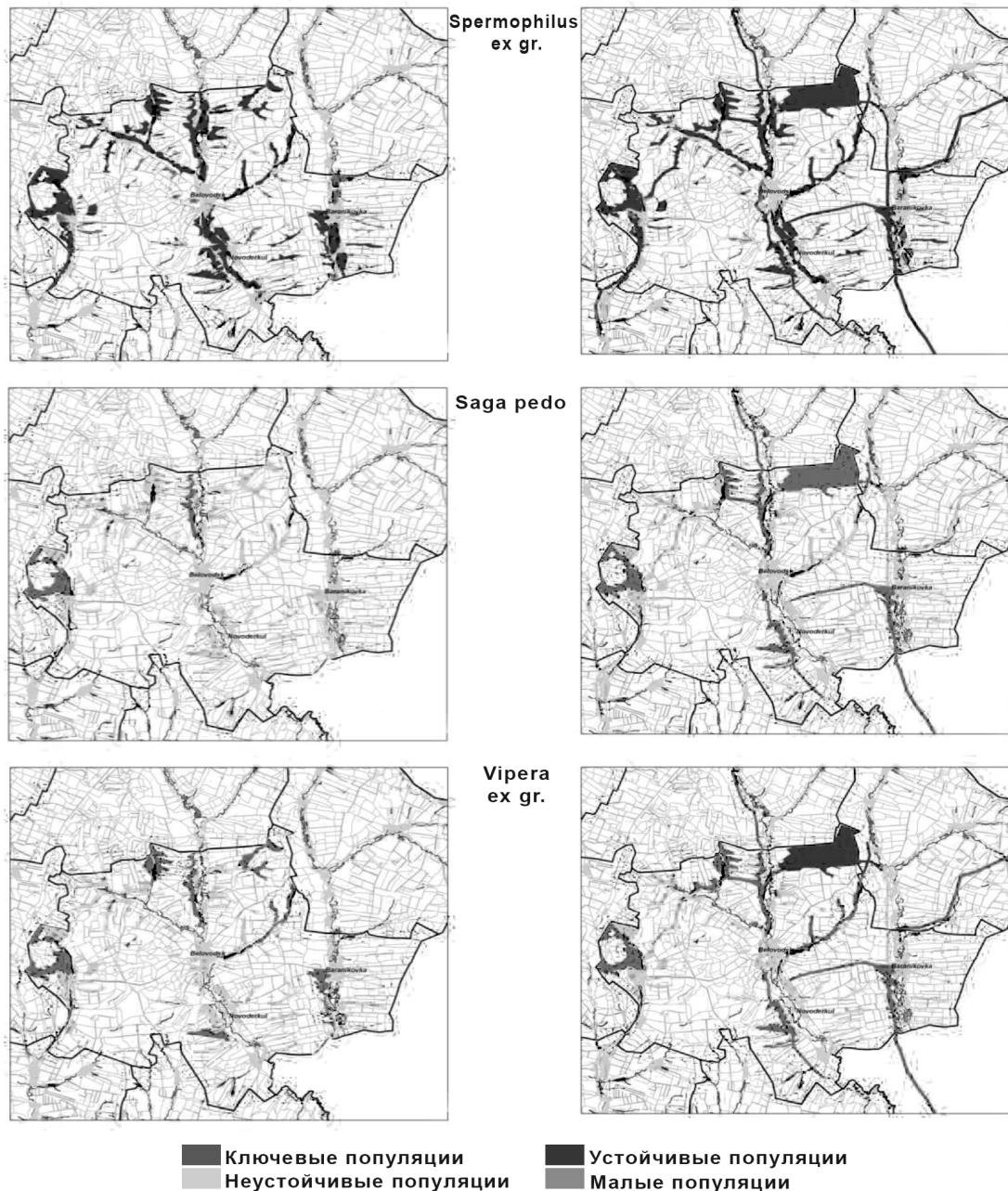


Рисунок 3 в. – Результаты моделирования LARCH – территории наиболее биоёмкие для ключевых видов, слева до функционирования экосети, а справа – после

#### **Экосеть фрагментированных территорий и рекомендации по землепользованию**

Дизайн экосети Беловодского района представлен на рисунке 4. Основная площадь экологической сети располагается в северной части района и представляет собой два объекта природно-заповедного фонда (Новолиमारевский и Кононовский заказники местного значения). Сейчас эта территория активно используется под выпас скота. Предлагаемые степные экокоридоры объединят эту основную степную территорию с территорией Луганского

природного заповедника (отделение Стрельцовская степь), а южные экокоридоры объединят со степной экосетью России.

Лесные коридоры объединяют несколько лесных районов, которые находятся не далеко друг от друга. Водно-болотные коридоры следуют прямо по долинам рек Деркул и Камышная, которые соединяются южнее с водно-прибрежным экокоридором по течению р. Северский Донец. Река Евсуг может быть важным водным коридором, однако она в основном протекает за пределами района (Старобельский, Новоайдарский, Славяно-сербский, Новопсковский районы) и в границах

Беловодского района ее значение снижено, но в масштабах Луганской области это один из важных экокоридоров.

Рекомендовано построение степных экокоридоров с оптимальной шириной до 500 м и состоять без древесно-кустарниковой растительности. Водно-прибрежные экокоридоры оптимальны до 700 м в ширину и должны состоять из заливных лугов, ремизов, открытых вод, стариц и прибрежных лесов, лесные – шире, чем 100 м.

Придорожные экокоридоры согласно результатам моделирования должны быть шириной более 30 м.

Оптимальным видом землепользования на территории Беловодского района для степных территорий должны быть выпас скота и др. формы шадящего землепользования. Необходимо также избегать или свести к минимуму пожары.



Рисунок 4. – Экологическая сеть Беловодского района по результатам моделирования (базовые линии экокоридоров 300 – 500 м)

### Выводы

Основываясь на полученных данных можно говорить о целесообразности развития экосети Беловодского района с целью сохранения биоразнообразия.

В результате проведенного моделирования LARCH составлена схема экологической сети фрагментированных ландшафтов степи на примере Беловодского района Луганской области.

Основная территория предлагаемой авторами схемы экологической сети располагается в северной части района и будет представлена двумя объектами природно-заповедного фонда – Новолимаревским и Кононовским заказниками местного значения.

Определены биотопы «среднего качества» для ключевых видов фауны Беловодского района и уровень пригодности этих территорий для сохранения биоразнообразия путем развития экосети.

В результате построения и функционирования экосети почти все индикаторные виды

увеличатся в численности популяций. Виды с очень низкой плотностью популяций и большой территорией распространения не изменят свои ареалы, поскольку исследуемые территории малы для анализа их индивидуальных участков.

### Литература

1. Розбудова екомережі України / наук. ред. Ю. Р. Шеляг-Сосонко ; Програма розвитку ООН (UNDP). Проект „Екомережі”. – К.: [Б. в.], 1999. – 128 с.
2. Restoration of degraded steppe lands - opportunities for Lugansk Oblast, Eastern Ukraine / Sluis T. van der, Gosselink J. M. J., Slim P. A., Verhagen J., Keulen H. van. – Wageningen: Alterra, 2009. – 62 p.
3. Раритетна теріофауна та її охорона / упоряд. і наук. ред. І.В. Загороднюк; Нац. наук.-природн. музей НАН України, Укр. теріологічне т-во НАН України. – Луганськ: [Б. в.], 2008. – 311 с.
4. Fahrig L. Habitat patch connectivity and population survival / Lenore Fahrig and Gray

Merriam // Ecology. – Vol. 66, no. 6. – 1985. – P. 1762 – 1768.

5. Wilcox B.A. Conservation Strategy: Effects of fragmentation on extinction / Bruce A. Wilcox, Dennis D. Murphy // American Naturalist. – 1985. – Vol. 125, no. 6. – P. 879 – 887.

6. Andren H. Population responses to habitat fragmentation: statistical power and the random sample hypothesis / H. Andren // Oikos : a journal of ecology. – 1996. – Vol. 76, no. 2. – P. 235 – 242.

7. Forman R. T. T. Land mosaics : the ecology of landscapes and regions / Richard T.T. Forman. – Cambridge; New York: Cambridge University Press, 1995. – XX, 632 p.: ill., maps.

8. Levins R. Extinction / R. Levins // Some mathematical problems in biology / Gerstenhaber M. (ed.); American mathematical society. – Providence, 1970. – P. 77 – 107.

9. Opdam P. Assessing the conservation potential of habitat networks / P. Opdam // Concepts and application of landscape ecology in biological conservation / Gutzwiller K.J. (Ed). – New York, 2001. – P. 381 – 404.

10. Решетило О. Проблема смертності земноводних на автошляхах і способи її вирішення / О. Решетило, Е. Різун, В. Різун // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біологічна. – Л., 2006. – Вип. 42. – С. 70 – 78.

11. Seiler A. Ecological Effects of Roads A review Introductory Research Essay Department of Conservation Biology SLU / A. Seiler. – Uppsala, Sweden, 2001. – No. 9. – 42 p.

12. Seiler A. Road mortality in Swedish mammals: results of a drivers' questionnaire / Seiler A., Helldin J-O., Seiler C. // Wildl. Biol. – 2004. – Vol. 10. – P. 225 – 233.

13. Designing a coherent ecological network for large mammals in northwestern Europe / Theo Van Der Sluis, Dennis Lammertsma, Paul Opdam, Rogier Pouwels // Conservation Biology. – 2003. – Vol. 17, no. 2. – P. 549 – 557.

14. How to define European ecological networks / van der Sluis T., Chardon P., Uso J-L., Villacampa Esteve Y., Brebbia C. A. // Advances in ecological sciences: international conference on ecosystems and sustainable development. – Alicante, Spain, 2001. – P. 119 – 128.

15. Comparison of scenarios for the Vistula River, Poland / T. Van Der Sluis, J. Romanowski, J. Matuszkiewicz, I. Bouwma // Landscape Ecological Applications in Man-Influenced Areas. – Dordrecht, 2007. – P. 417 – 433.

16. Introducing the key patch approach for habitat networks with persistent populations: an example for marshland birds / Verboom J., Foppen R., Chardon P., Opdam P., Luttikhuisen P. // Biological conservation. – 2001. – Vol. 100, no. 1. – P. 89 – 101.

17. Verboom J. Ecological functioning of ecological networks: a species perspective / J. Verboom, R. Pouwels // Ecological networks and greenways: concept, design, implementation / Jongman R., Pungetti G. (eds). – Cambridge, 2004. – P. 56 – 72.

18. Загороднюк І. В. Степове фауністичне ядро Східної Європи: його структура та перспективи збереження / І.В. Загороднюк // Доп. НАН України. – 1999. – № 5. – С. 203 – 210.

19. Загороднюк І. Рідкісні види тварин / І. Загороднюк // Розбудова екомережі України під ред. Ю. Р. Шеляг-Сосонко. – К., 1999. – С. 71 – 75.

20. Ссавці України під охороною Бернської Конвенції / за ред. І. Загороднюка. – К.: [Б. в.], 1999. – 222 с. – (Праці Теріологічної школи, Вип. 2).

21. Колесников А.М. Новые находки хоря-перевязки, *Vormela peregusna*, и лисицы-корсака, *Vulpes corsac*, в Луганской обл. / А.М. Колесников, А.В. Кондратенко // Вестн. зоологии. – 2004. – Т. 38, № 5. – С. 46.

22. Сахно И. И. Краткий обзор фауны млекопитающих Луганской области / И.И. Сахно // Тез. докл. и сообщ. на науч. сессии за 1962 г. / Физико-математ. и естественно-геогр. фак. Луган. пед. ин-та. – Луганск, 1963. – С. 49 – 54.

23. Поліщук В. Біогеографічне районування України / В. Поліщук, В. Багнюк // Розбудова екомережі України. – К., 1999. – С. 37 – 41.

24. Фисуненко О. П. Природа Луганской области / Фисуненко О.П., Жадан В.И. ; Луган. гос. пед. ин-т им. Т.Г. Шевченко. – Луганск: Б. и., 1994. – 233 с.

25. Фауна Украины: охранные категории : справочник / И.Ю. Парникоза [и др.] ; ред. И.В. Загороднюк ; Киев. эколого-культур. центр. – Киев: [Б. и.], 2005. – 60 с.

26. Список позвоночных Ворошиловградской области: в помощь студентам-заочникам естественно-географического факультета и учителям биологии средних школ / сост. С.Г. Панченко. – Ворошиловград: [Б. и.], 1973. – 30 с.

27. Панченко С.Г. Современное состояние фауны позвоночных Луганской области / С.Г. Панченко, Н.Д. Самчук, В.А. Денщик // Вісн. Луган. держ. пед. ун-ту ім. Тараса Шевченко. – Луганськ, 2000. – № 3 (23): Біол. науки. С. 161 – 179.

28. Ecological networks, a challenge for territorial planning – the case of Region Abruzzo, Italy / Van der Sluis T., B. Pedroli, H. Baveco & G. Corridore // Proceedings Ecosystems and Sustainable Development ECOSUD / (Ed.) E. Tiezzi, C.A. Brebbia, J-L. Usy. – Siena, Italy, 2003. – Vol. I. – P. 69 – 79.