УДК 911.2:502.4

***Абдуганиев О.И., д.г.н., доцент***
***Ферганский государственный университет***
***Узбекистан, Фергана***

# ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРКАСА НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТРЕБОВАНИЙ РЕДКИХ И НУЖДАЮЩИХСЯ В ОХРАНЕ ВИДОВ

**Аннотация:** В статье оценены элементы экологического каркаса Ферганской области путём сопоставления требований видов Красной книги к местообитанию, расселению и перемещению с ландшафтными патчами. Проанализированы 123 регистрации 31 вида растений и 32 видов животных в 44 патчах. Установлено, что почти половина видов отмечена только в одном патче, площадь патча статистически не связана с числом видов ($\rho = 0{,}18$; $p = 0{,}23$), а функциональными для самих видов являются лишь 36,1–56,5 % потенциальных связей. На этой основе предложены типология элементов каркаса по классам расселения и меры оптимизации, привязанные к конкретным патчам.

**Ключевые слова:** экологический каркас, Красная книга, расселение, функциональная связность, микроядро, промежуточная опора, поверхность сопротивления, Ферганская область.

***Abduganiyev O.I.,***
***Doctor of Geographical Sciences, Associate Professor***
***Fergana State University***
***Uzbekistan, Fergana***

# OPTIMIZATION OF ECOLOGICAL FRAMEWORK ELEMENTS BASED ON FUNCTIONAL REQUIREMENTS OF RARE AND THREATENED SPECIES

**Abstract:** The article evaluates elements of the ecological framework of Fergana region by linking the dispersal, habitat and movement requirements of Red Data Book species to landscape patches. A total of 123 records of 31 plant and 32 animal species were analysed across 44 patches. Nearly half of the species occur in a single patch, patch area shows no significant relationship with species richness ($\rho = 0.18$; $p = 0.23$), and only 36.1–56.5% of the potential links are functional for the species concerned. A typology of framework elements by dispersal class and patch-specific optimization measures are proposed.

**Keywords:** ecological framework, Red Data Book, dispersal, functional connectivity, micro-core, stepping stone, resistance surface, Fergana region.

## Введение

Ядра, коридоры и буферные зоны экологического каркаса чаще всего выделяются в рамках модели «патч – коридор – матрица» [1] по морфометрическим показателям ландшафтной структуры: площади, форме, доле ядра патча и расстояниям между патчами. Однако при таком подходе остаётся неясным, для каких видов и в каком масштабе работает

каркас. В ландшафтной экологии связность определяется как степень, в которой структура ландшафта облегчает или затрудняет перемещение организмов [2]. Следовательно, одна и та же система патчей может быть фрагментированной для вида с малой дальностью перемещения и целостной для высокомобильного вида [3; 4].

Поэтому в современном систематическом природоохранном планировании функциональные требования видов – потребность в местообитании, дальность расселения и сопротивление ландшафтной матрицы – рассматриваются как основной критерий проектирования каркаса. Подход «фокусных видов» предполагает охрану всех видов через удовлетворение потребностей наиболее требовательных к ландшафту [5]. Концепция экологических сетей рассматривается как инструмент интеграции сохранения биоразнообразия в планирование многофункциональных ландшафтов [6]. Методы оценки поверхности сопротивления [7] и индексы связности, основанные на теории графов [8], позволяют выразить эти требования количественно.

В Ферганской области естественные ландшафты сохранились в виде отдельных «островов» внутри матрицы орошаемых агроландшафтов. Шестое издание Красной книги Республики Узбекистан [9; 10] обновило статус видов на основе критериев МСОП [11], однако эти данные ещё не связаны непосредственно с элементами каркаса. Куньминско-Монреальская глобальная рамочная программа по биоразнообразию требует обеспечить связность систем охраняемых территорий [12]. **Цель статьи** – сопоставить функциональные требования нуждающихся в охране видов с ландшафтными патчами, оценить соответствие элементов каркаса потребностям видов и обосновать направления его оптимизации.

## Материалы и методы

Использованы две базы данных, составленные автором по очеркам Красной книги [9; 10] и полевым материалам. База по растениям содержит

63 регистрации 32 видов, база по животным – 82 регистрации 52 видов. В анализ включены регистрации с указанием идентификатора и площади патча: 31 вид растений (61 регистрация) и 32 вида животных (62 регистрации). Они охватывают 44 патча общей площадью 61 506,33 га. Патчи выделены по ландшафтной карте Ферганской области масштаба 1:200 000 в трёх природно-географических районах: Восточный Алай (Ш), Западный Алай (Г) и Центральная равнина (М). 20 видов животных (в основном птицы и крупные млекопитающие) и 1 вид растений без данных о патчах в пространственный анализ не включены. Анализ выполнен в четыре этапа.

**На первом этапе** виды животных разделены на четыре класса по максимальной дальности расселения: D-I (≤ 0,5 км), D-II (1–3 км), D-III (5–15 км) и D-IV (≥ 30 км). Для растений сохранена качественная оценка способности к расселению (от очень низкой до высокой), без перевода в расстояние, так как механизмы перемещения двух групп различны.

**На втором этапе** связь площади патча с числом видов оценена коэффициентом ранговой корреляции Спирмена.

**На третьем этапе** для каждой регистрации рассчитан индикатор функциональной связи L: L = 1, если в списке потенциально связанных патчей есть хотя бы один патч, где отмечен тот же вид; в противном случае L = 0. Индикатор отражает потенциальную связь и не учитывает расстояние и сопротивление. По спискам связей построен граф патчей: узел – патч, ребро – указанная связь.

**На четвёртом этапе** проверена связь коэффициентов сопротивления с дальностью расселения и для каждого класса расселения определён соответствующий тип элемента каркаса.

## Результаты и обсуждение

**Требования видов к расселению.** Максимальная дальность расселения животных изменяется от 0,3 до 100 км (рис. 1, а). Поведение

при расселении – ключевой фактор функциональной связности ландшафта для вида [13]. К классу D-I относятся 7 видов, в том числе родниковые моллюски и кокандская беззубка. Больше всего видов (16) в классе D-II: это мелкие позвоночные – гекконы, круглоголовки, песчаные ящерицы. В классе D-III 2 вида (серый варан и малый подковонос), в классе D-IV – 7 видов (рыбы Сырдарьи, туркестанский белый аист и другие мигрирующие птицы). По типу перемещения 24 вида являются резидентными, 4 – потамодромными и 4 – мигрирующими.

51,6 % видов растений (16) обладают низкой и очень низкой способностью к расселению (рис. 1, б); они распространяются преимущественно барохорией, то есть опадением семян рядом с материнским растением. Для таких видов надёжнее сохранить конкретный локалитет и охранять популяцию in situ, чем создавать непрерывный коридор. Следовательно, применение единого критерия расстояния или площади ко всем видам не обосновано: для вида с дальностью 0,3 км решающим является сам локалитет, а для вида, перемещающегося на 50–100 км, – непрерывность сети.

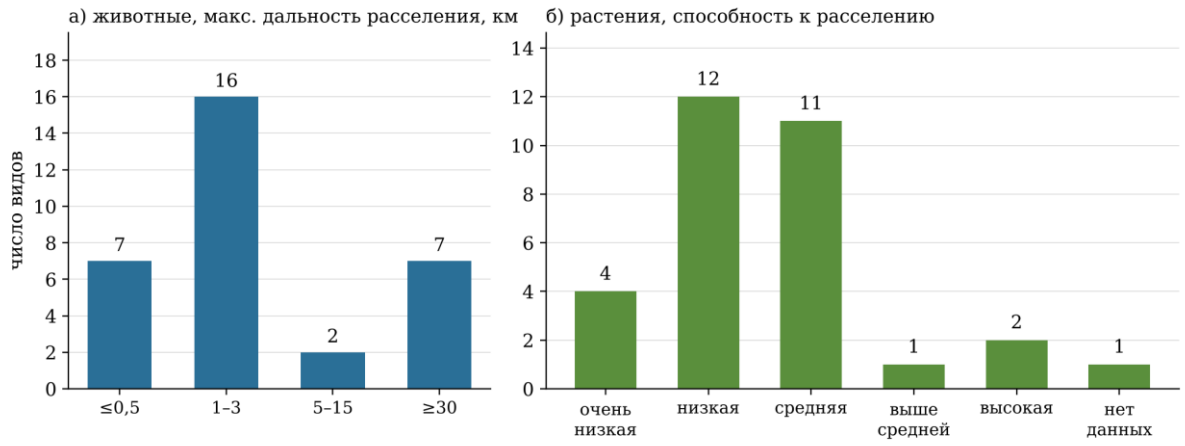



**Рис. 1. Особенности расселения нуждающихся в охране видов: а) распределение животных по максимальной дальности расселения; б) распределение растений по способности к расселению (расчёт автора)**

**Площадь патча и потребности вида.** Площадь 44 патчей изменяется от 10,41 до 11 012,67 га (медиана 450,61 га): 10 патчей меньше

100 га, 15 – от 100 до 1 000 га, 18 – от 1 000 до 10 000 га и 1 (Г-7.7) – больше 10 000 га. В 22 патчах отмечен только 1 вид, а в 7 патчах сосредоточено 5 и более видов.

Статистически значимой связи между площадью патча и числом видов не выявлено (ρ Спирмена = 0,18; p = 0,23). Так, в патче Ш-5.1 (Шахимардан) площадью всего 19,57 га отмечено 16 видов растений, 10 из которых не встречаются ни в одном другом патче. В патче Г-7.7 площадью 11 012,67 га отмечено 12 видов, но доля его ядра (CAR) составляет лишь 0,27. Виды, приуроченные к одному патчу, составляют 48,4 % у растений (15 видов) и 50,0 % у животных (16 видов). Следовательно, оптимальность патча нужно оценивать не только по площади, но и по численности популяции и требованиям вида к местообитанию.

Для этого предлагается критерий $N_i = D_s \cdot A_i$, где $D_s$ – плотность вида (особей/га), $A_i$ – площадь местообитания (га). $N_i$ сравнивается с минимальной (n_min) и желательной (n_des) численностью популяции, и патч относится к категории «оптимальный», «условно оптимальный» или «недостаточный». Пока $D_s$ известна лишь для нескольких видов: в Красной книге для ферганского геккончика указано 5,25 особей/га, для круглоголовки Штрауха – 3–4 особи/га [10]. Значения n_min и n_des не приводятся, поэтому категоризация требует полевых исследований.

**Функциональная связь.** Лишь в части потенциально связанных патчей отмечен тот же вид (табл. 1): у растений – 36,1 %, у животных – 56,5 %. В остальных случаях указанные связующие патчи либо не содержат регистраций вида, либо не изучены, то есть отражают не современную сеть вида, а потенциал восстановления. Так, для 14 из 16 видов патча Ш-5.1 единственным связующим указан патч Ш-6.2, однако ни один из них (кроме одного вида астрагала) там не отмечен.

Граф, построенный по спискам связей, состоит из 60 узлов (44 патча с данными о видах и 16 патчей, указанных только как связующие) и 65

рёбер. Он распадается на 16 несвязанных компонентов, 8 из которых включают лишь 2 патча. Наиболее крупные компоненты насчитывают по 8 узлов: песчаные патчи Центральной равнины (М-2.1, 2.3, 2.4, 2.6, 2.15, 2.35, 2.43), адыры Западного Алая (Г-7.1–7.8) и шахимарданское ядро. Это свидетельствует о фрагментированности сети: большинство патчей связаны только с ближайшими соседями.

*Таблица 1*

**Распределение регистраций по наличию того же вида в потенциально связанных патчах**

| Группа | Число регистраций | Связь есть (L = 1) | Доля, % |
|---|---|---|---|
| Растения | 61 | 22 | 36,1 |
| Животные – всего | 62 | 35 | 56,5 |
| в т.ч.: D-I (≤ 0,5 км) | 12 | 8 | 66,7 |
| D-II (1–3 км) | 33 | 16 | 48,5 |
| D-IV (≥ 30 км) | 12 | 8 | 66,7 |

*Источник: расчёт автора. Класс D-III не приведён отдельно из-за малого числа регистраций.*

Во всех регистрациях тип матрицы указан одинаково – сельскохозяйственные земли. Коэффициенты сопротивления практически функционально связаны с дальностью расселения (для животных $\rho = -0{,}95$; $p < 0{,}001$; $n = 60$). Следовательно, они отражают не сопротивление типов земного покрова, а подвижность вида, и поэтому приняты как индикатор подвижности, а не как поверхность сопротивления. Видоспецифичную поверхность сопротивления необходимо строить по классам земного покрова (естественные местообитания, пастбища, пашня, населённые пункты, дороги, каналы, карьеры) и калибровать по полевым наблюдениям [7].

**Типология элементов каркаса и оптимизация.** На основе результатов для каждого класса расселения определён соответствующий элемент каркаса (рис. 2). Для видов класса D-I и растений с низкой способностью к расселению основной элемент – **точечное микроядро**, то есть сохранение конкретного локалитета in situ. Для класса D-II необходимы **системы близких патчей и промежуточные опоры** (stepping

stones), для D-III – **естественные коридоры и переходы**, для D-IV – **ландшафтные и гидрографические коридоры**.




**Рис. 2. Типология элементов экологического каркаса по классам расселения видов (разработка автора)**

Основной принцип – прежде чем создавать искусственные коридоры, сохранить и восстановить существующие местообитания, связать малые патчи с ядрами через промежуточные опоры и восстанавливать разрывы исходя из возможностей расселения видов. Этот принцип соответствует руководству МСОП по сохранению связности [14]. Приоритетные меры, привязанные к конкретным патчам, приведены в таблице 2.

*Таблица 2*

**Приоритетные меры оптимизации на основе функциональных требований видов**

| Патч(и) | Требования видов | Функция в каркасе | Приоритетная мера |
|---|---|---|---|
| Ш-5.1 (19,57 га) | 16 видов растений, 10 из них только здесь; 9 – с низкой способностью к расселению | Точечное микроядро | Инвентаризация популяций; охрана in situ; ограничение выпаса |
| Ш-6.1–6.3 (919–1 074 га) | Родниковые моллюски (0,3 км), малый подковонос и др. | Основное ядро (Шахимардан) | Гидрологическая охранная зона родников; сохранение связей внутри ядра |
| Г-7.7 (11 012,67 га), Г-7.4 (8 154,88 га) | 7 видов растений и 5 видов животных (0,3–1,5 км); CAR = 0,27 | Основное ядро, требуется зональное управление | Буферные зоны; ограничение карьеров и освоения; расширение ядровой части |
| М-2.1, 2.3, 2.43 и М-2.4, 2.6, 2.15, 2.35 | Псаммофильные мелкие позвоночные (1–3 км), серый варан (5 км) | Основное ядро и промежуточные опоры | Сохранение естественных коридоров между малыми песчаными патчами и крупным массивом; |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | ограничение карьеров и рыбоводных прудов |
| Г-2.62–2.64 (329–1 647 га) | Фауна песчаной пустыни; в Г-2.62 – 6 видов | Связующий элемент (нижние террасы Сырдарьи) | Сохранение естественной связи вдоль террас |
| Г-1.1, 1.2 (русло Сырдарьи) | Рыбы (50–100 км), мигрирующие птицы | Опорные точки гидрографическо го коридора | Сохранение непрерывности русла и прибрежной растительности; сбор данных по Г-1.3, 1.4 |
| Г-1.31–1.33 (56–341 га) | Кокандская беззубка (0,5 км), единственная известная популяция | Точечное микроядро | Сохранение водного режима и качества воды; охрана биотопа |

*Источник: разработка автора.*

Предложенный подход имеет ограничения. Анализ основан на базе регистраций видов, и поскольку карты распространения в Красной книге даны без координат, регистрации приняты на уровне участка распространения, а не точки. Из-за отсутствия матрицы расстояний между патчами и видоспецифичных значений сопротивления вероятность функционального достижения пока не рассчитана. На следующем этапе планируется расчёт индексов IIC и dPC [8] отдельно для каждого вида при пороговом расстоянии, равном его дальности расселения.

## Заключение

1. Функциональные требования нуждающихся в охране видов Ферганской области резко различаются: дальность расселения животных составляет 0,3–100 км, 51,6 % видов растений обладают низкой и очень низкой способностью к расселению. Поэтому выделение элементов экологического каркаса по единому критерию расстояния или площади не обосновано; элементы следует дифференцировать по классам расселения.

2. Площадь патча не связана с числом видов ($\rho = 0{,}18$; $p = 0{,}23$), почти половина видов отмечена только в одном патче. Малые, но уникальные патчи, такие как Ш-5.1 (19,57 га; 16 видов), должны включаться в каркас как незаменимые точечные микроядра.

3. Функциональными для вида являются лишь 36,1 % (растения) и 56,5 % (животные) потенциальных связей; граф патчей распадается на 16

несвязанных компонентов. Приоритетные направления оптимизации – сохранение существующих ядер и микроядер, восстановление промежуточных опор между ними и обеспечение непрерывности гидрографического коридора вдоль Сырдарьи.

## Список использованных источников


1. Forman R.T.T. Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions. – Cambridge: Cambridge University Press, 1995. – 656 p.
2. Taylor P.D., Fahrig L., Henein K., Merriam G. Connectivity is a vital element of landscape structure // Oikos. – 1993. – Vol. 68. – P. 571–573.
3. Fahrig L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity // Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics. – 2003. – Vol. 34. – P. 487–515.
4. Haddad N.M., Brudvig L.A., Clobert J., et al. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems // Science Advances. – 2015. – Vol. 1, № 2. – e1500052.
5. Lambeck R.J. Focal species: a multi-species umbrella for nature conservation // Conservation Biology. – 1997. – Vol. 11, № 4. – P. 849–856.
6. Opdam P., Steingröver E., van Rooij S. Ecological networks: a spatial concept for multi-actor planning of sustainable landscapes // Landscape and Urban Planning. – 2006. – Vol. 75, № 3–4. – P. 322–332.
7. Zeller K.A., McGarigal K., Whiteley A.R. Estimating landscape resistance to movement: a review // Landscape Ecology. – 2012. – Vol. 27. – P. 777–797.
8. Saura S., Pascual-Hortal L. A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: comparison with existing indices and application to a case study // Landscape and Urban Planning. – 2007. – Vol. 83, № 2–3. – P. 91–103.
9. O'zbekiston Respublikasining Qizil kitobi. I jild: O'simliklar [Красная книга Республики Узбекистан. Т. I. Растения] / под общ. ред. К.Ш. Тожибаева, Х.Ф. Шомуродова. – 6-е изд. – Ташкент, 2025.
10. O'zbekiston Respublikasining Qizil kitobi. II jild: Hayvonlar [Красная книга Республики Узбекистан. Т. II. Животные] / под общ. ред. Б.Р. Холматова. – 6-е изд. – Ташкент, 2025.
11. IUCN. IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1. – Gland; Cambridge: IUCN Species Survival Commission, 2001.
12. Convention on Biological Diversity. Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework. Decision 15/4. CBD/COP/DEC/15/4. – Montreal, 2022.
13. Baguette M., Blanchet S., Legrand D., Stevens V.M., Turlure C. Individual dispersal, landscape connectivity and ecological networks // Biological Reviews. – 2013. – Vol. 88, № 2. – P. 310–326.
14. Hilty J., Worboys G.L., Keeley A., et al. Guidelines for Conserving Connectivity through Ecological Networks and Corridors. – Gland: IUCN, 2020.