



УДК 912.4+94



Александра СКАЧКОВА,
аспирант кафедры почвоведения и земельных
информационных систем

Валентин ЯЦУХНО,
заведующий научно-исследовательской лабораторией
экологии ландшафтов, доцент,
кандидат сельскохозяйственных наук

Географический факультет
Белорусского государственного университета

Планирование территориальных схем экологических сетей на основе результатов оценки фрагментации и разнообразия ландшафтов

В статье отражена роль показателей фрагментации и разнообразия ландшафтов при обосновании и территориальном размещении экологических сетей. Они получены при использовании и обработке материалов дистанционного зондирования природных и антропогенных компонентов и их территориальных сочетаний

вочными документами как схемы рационального размещения ООПТ, отраслевые схемы развития и размещения производства и объектов инфраструктуры, проекты мелиорации земель и лесоустройства, в том числе **схемы и проекты землеустройства и градостроительства**. Согласно [4] наряду с разработкой Схемы национальной экологической сети и сопровождающей ее карты масштаба 1:500 000 - 1:600 000, предусматривается составление карт экологической сети по регионам (северная, центральная и южная части Республики Беларусь) масштаба 1:200 000 - 1:300 000. На последних должны отображаться существующие и перспективные элементы общенациональной сети и их границы. В связи с этим актуальность и практическую значимость приобретают исследования, направленные на разработку критериев, определяющих возможность вовлечения территорий в экологическую сеть, и методики построения их схем с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), картографо-математического анализа ландшафтов и геоинформационного моделирования.

Объекты и методика исследований. В качестве объекта исследования выступала территория и сла-

гающие ее ландшафты Белорусской возвышенной провинции холмисто-моренно-эрозионных и вторично-моренных ландшафтов (далее по тексту и на рисунках – провинция), расположенная в центральной части Беларуси. Общая площадь провинции составляет 41,35 тыс. км² или 20,4 % площади республики [5]. С целью выделения коридоров и буферных зон экологической сети региона использовались результаты анализа ландшафтного разнообразия и фрагментации территории, для чего были использованы современные съемочные системы среднего размещения серии Landsat за 2011-2014 гг. с пространственным разрешением 30 м. Предметом дешифрирования являлись виды земель, объединенные в группы для удобства их автоматизированного распознавания: пахотные и улучшенные луговые земли, луговые земли, земли под лесами и под древесно-кустарниковой растительностью, земли под болотами, земли под водными объектами, земли под застройкой. Пространственное сочетание через оценку их совокупности размеров, форм и связности позволяет судить о степени ландшафтного разнообразия.

Расчеты производились с помощью модуля r.li ГИС GRASS [6].

Определение разнообразия ландшафтов по соотношению видов земель производилось по формулам Шеннона и Симпсона. Эти метрики учитывают две составляющие ландшафтного разнообразия: состав контуров и их мозаичность [7]. Таким образом, на значение метрик влияют насыщенность ландшафта контурами видов земель и равномерность распределения их в ландшафте. Расчет производился в окне 900×900 м, составляющем средний размер контура.

Для оценки фрагментации ландшафтов провинции использована такая метрика, как размер эффективной ячейки (m, effective mesh size), предложенная J.A. Jeager [8]. Преимущество использования этого параметра заключается, в первую очередь, в математической простоте расчета индекса, во вторую – предсказуемыми граничными значениями (минимальное может быть близко к 0, максимальное – равно общей площади территории), что значительно упрощает интерпретацию результатов. Размер эффективной ячейки описывает связность между участками ландшафта, базирующейся на вероятности того, что две случайно выбранные точки территории находятся в одном контуре, который не прерывается барьерами – транс-

портными путями или застроенными территориями. Чем больше барьеров присутствует в ландшафте, тем меньше размер эффективного контура, определяемый по формуле

$$m = \frac{1}{A_t} \sum_{i=1}^n A_i^2, \quad (1)$$

где n – число контуров;

A_i – размер контура i ;

A_t – общая площадь территории.

В отличие от приведенных выше метрик ландшафтного разнообразия (разнообразия землепользования), основой для расчета метрик фрагментированности является сеть дорог и водотоков – объектов, разделяющих гомогенные области на изолированные контуры [9].

Векторные слои дорог и водотоков были взяты из базы данных OpenStreetMap [10]. Для расчетов использовались главные и второстепенные дороги с асфальтовым покрытием, а также все железнодорожные пути. В качестве фрагментирующих водотоков рассматривались средние и крупные реки. Территория в границах провинции была разбита на отдельные контуры перечисленными выше барьерами. Средний размер однородного контура, не прерываемый барьерами, составил 240 га. По сетке квадратов размера $(1500 \times 1500$ м, что соответствует среднему размеру контура) был рассчитан параметр размера эффективной ячейки.

Наравне с учетом структуры земель, пересеченности ее барьерами при планировании «зеленой» сети должны быть учтены площади естественных экосистем. В данном случае был применен параметр, представляющий собой модификацию коэффициента антропогенной преобразованности (КАП) по П.В. Шищенко [11] для исследуемой территории

$$K_{АП} = \sum_{i=1}^n (r_i \rho_i P_i), \quad (2)$$

где $K_{АП}$ – коэффициент антропогенной преобразованности;

r_i – ранг антропогенной преобразованности;

ρ_i – индекс глубины антропогенной преобразованности;

P_i – доля площади класса.

Ранги и индексы антропогенной преобразованности в исходной формуле были пересмотрены применительно к перечню видов земель в пределах объекта исследований: леса – 1/1,0; болота – 2/1,1; водные объекты – 3/1,2; луга – 4/1,3; пашня – 5/1,4; городская и промышленная застройка – 6/1,5. Значения индексов изменяются в границах $0 \leq \text{КАП} \leq 10$, где 0 – отсутствие антропогенного вмешательства, 10 – полностью преобразованный ландшафт. Данный параметр также рассчитывался по сетке 900×900 м, соответствующей среднему размеру контура по результатам дешифрирования видов земель.

Основная часть. Количественная характеристика ландшафтного разнообразия региона определена по известной шенноновской информационной мере разнообразия

$$H' = - \sum_{i=1}^R p_i \ln p_i, \quad (3)$$

где p_i – доля вида земель i в общей площади ландшафтной провинции.

Значения индекса всегда больше нуля, верхняя граница отсутствует. Ноль соответствует ландшафту, полностью занятому только одним видом земель. Чем больше видов земель на исследуемой территории и чем равномернее их распределение, тем выше значения индекса. Индекс Шеннона более чувствителен к насыщенности территории контурами различных видов земель, чем к равномерности распределения. Поэтому редко встречающиеся виды земель приводят к непропорционально высоким значениям индекса.

Наряду с ним определялся индекс ландшафтного разнообразия по Симпсону

$$\lambda = \sum_{i=1}^R p_i^2, \quad (4)$$

где p_i – доля вида земель i в общей площади контура.

Значения индекса лежат в интервале от 0 до 1, что значительно упрощает его интерпретацию. Ноль соответствует ландшафту, полностью занятому только одним видом земель. Чем больше различных видов земель присутствует на

территории и чем равномернее их распределение, тем ближе значения индекса к 1. Индекс Симпсона менее чувствителен к насыщенности территории контурами различных видов земель, поэтому редко встречающиеся виды земель не приводят к завышенным значениям.

Поскольку индексы Шеннона и Симпсона сильно коррелируют, т.к. отражают одни и те же особенности ландшафтов, закономерности распределений значений схожи. В то же время, благодаря меньшему разбросу значений, индекс Симпсона помогает заметить некоторые особенности структуры ландшафтов. Индекс более наглядно указывает на разнообразие ландшафтов Ошмянской возвышенности и Нарочано-Вилейской равнины; можно видеть четко сформировавшийся коридор в долине Немана. Результаты расчета индексов приведены на рисунке 1.

В пределах исследуемой территории можно выделить несколько областей, характеризующихся особенно высокими и низкими значениями индексов. Минимальные соответствуют ядрам экологической сети: Березинский биосферный заповедник, ландшафтные заказники республиканского значения «Налибокский» и «Стронга», биологический заказник республиканского значения «Слонимский». Низкие значения индексов свидетельствуют не о низком ландшафтном и биологическом разнообразии, а о наличии больших однородных пространств, покрытых лесами и болотами, не нарушенных сетью дорог и поселений.

Наибольшим разнообразием характеризуются комплексы с преобладанием болот, занимающие долины рек Щара, Рось, Неман. Высокие значения индексов здесь обусловлены не только сложным сочетанием лугов, лесов, заболоченных участков, но и контрастностью этих контуров по отношению к окружающим.

В пределах провинции отмечено повышенное разнообразие ландшафтов Ошмянской возвышенности и Нарочано-Вилейской равнины.

Анализ фрагментации территории, как процесса территориального расчленения и формирования изолированных участков природных экосистем, направлен на оцен-

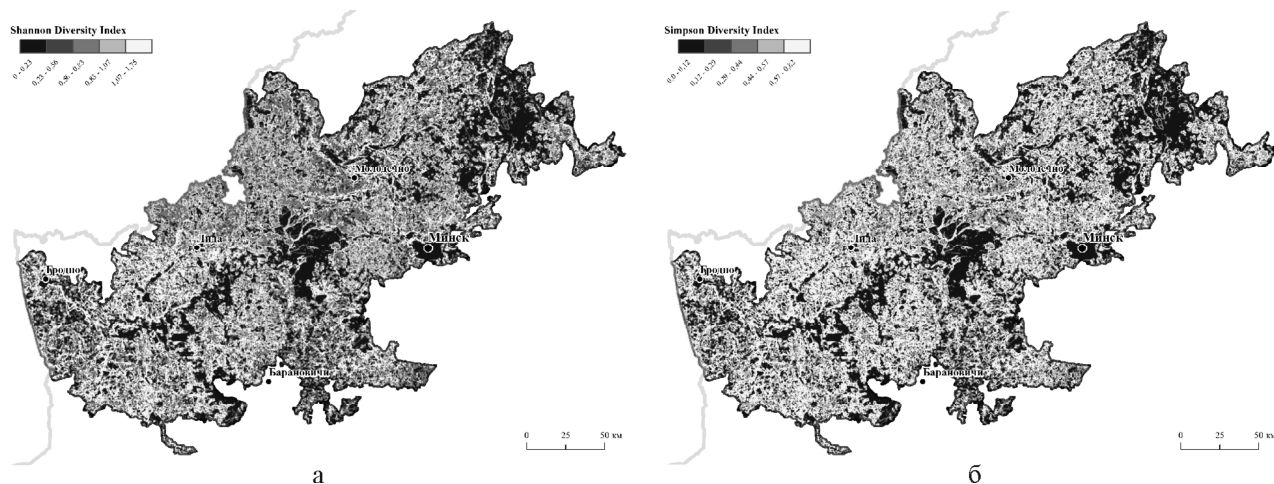


Рисунок 1 – Показатели разнообразия ландшафтов провинции, рассчитанные по формулам: а) Шеннона, б) Симпсона

ку ландшафтов с точки зрения их пригодности для мест обитания и коридоров миграции видов. Связность таких экосистем между собой не менее важна, чем размер и форма контуров, занятых естественными ландшафтами. Изолированные территории не могут обеспечить взаимодействие между ареалами. Даже отдельные лесополосы, небольшие лесные массивы значительно увеличивают связность территорий и тем самым увеличивают биологическое и ландшафтное разнообразие. Результаты расчета показателей и картографирования фрагментации территории провинции приведены на рисунке 2.

Можно видеть значительный разброс размеров выделенных контуров: от долей гектара до 50 000 га. Крупные контуры тяготеют к ООПТ: Березинский биосфер-

ный заповедник, ландшафтный заказник республиканского значения «Липичанская пушта» и ряда других ООПТ. Расчет размера эффективной ячейки позволяет уменьшить разброс значений от 8 до 225 га, а также оценить общую мозаичность территории. Низкие значения показателей закономерно тяготеют к крупным населенным пунктам, транспортным магистралям. Высокие значения характерны для ландшафтов, в структуре которых преобладают лесные, естественные луговые земли и земли болот.

Расчет коэффициента антропогенной преобразованности территории провинции позволил выявить зоны концентрации естественных экосистем и определить степень трансформации ландшафтов в результате хозяйственной деятельности. Это дало возможность установить наиболее

перспективные компоненты, которые могли бы входить в экологическую сеть региона (рисунок 3).

Последовательность построения территориальной схемы экологической сети включает в себя несколько взаимосвязанных этапов. На первом этапе анализировалась ее структура, получившая отражение в Национальной экологической сети масштаба 1:500 000, составленной в 2014 г. Научно-практическим центром НАН Беларуси по биологическим ресурсам [12]. В ней в качестве ядер сети выступали существующие на территории провинции ООПТ. На втором этапе были уточнены границы и скорректировано местоположение отдельных зон и коридоров с учетом полученных результатов ландшафтного разнообразия, сохранности природных экосистем и степени фрагментации последних. При этом основным фактором,

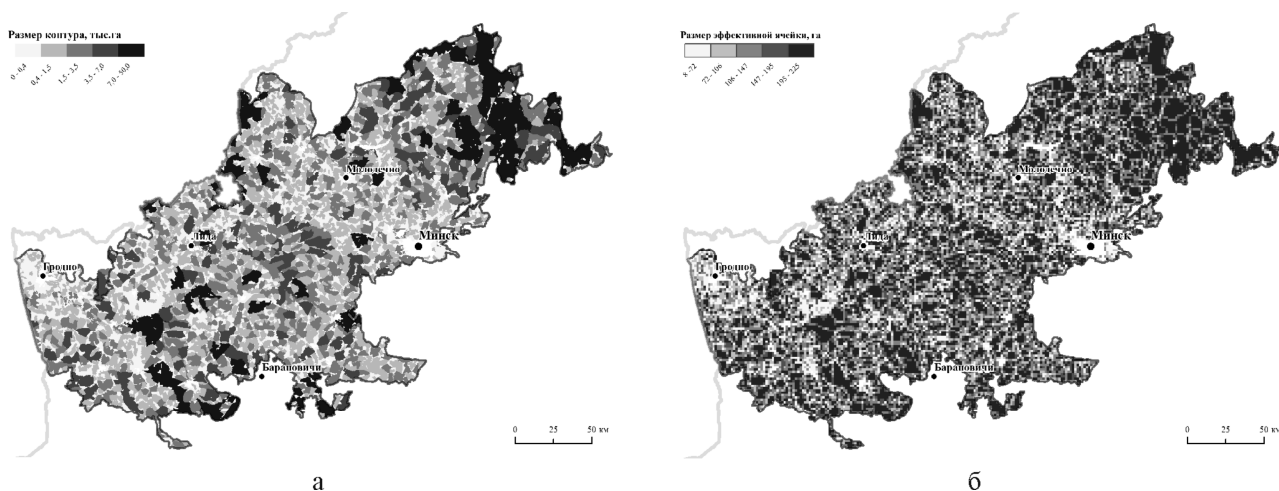


Рисунок 2 – Показатели фрагментации территории провинции
а) размеры непрерывных контуров; б) размеры эффективной ячейки

определяющим целесообразность выделения экологических коридоров, являлась неоднородность видов земель и степень антропогенной преобразованности ландшафтов. При формировании буферных зон вокруг ядер сети особое внимание уделялось анализу ландшафтного разнообразия, а также показателям фрагментации природных экосистем, обусловленной дорожной сетью, сельскохозяйственными землями, искусственными водотоками и др. На третьем этапе выделенные буферные зоны и экологические коридоры уточнялись в соответствии с современной структурой земель, что позволило предложить окончательный уточненный вариант экологической сети территории Белорусской возвышенной ландшафтной провинции, рисунок 4. При этом значительное расширение получили буферные зоны вокруг Березинского биосферного заповедника за счет прилегающих к нему лесных и болотных массивов, а также буферной зоны вокруг заказников республиканского значения «Липичанская пуша», «Докудовский», «Слонимский», «Стронга» и заказников местного значения «Извенский» и «Вселюбский».

Предложено усилить структурно-функциональную роль экологического водного коридора р. Неман путем ограничения хозяйственной деятельности в его речной долине и на придолинных склонах. Целесообразно обеспечить территориальную экологическую связность ООПТ с природными комплексами Белорусского Полесья за счет водных коридоров по рекам Щара, Зельвянка, Россь, которые обладают потенциальной возможностью миграции и убежищ для животных, сохранения экосистем среди интенсивно используемых сельскохозяйственных земель водораздельных территорий. Кроме того, имеются предпосылки формирования водно-лесного коридора на Ошмянской гряде, что позволяет объединить в экологическую сеть ООПТ Белорусской возвышенности и Поозерского ландшафтной провинций.

Таким образом, общая площадь земель с ограничениями хозяйственного использования составила около одной трети территории провинции. В структуре экологической сети доминируют ядра, буферные зоны, включающие в себя самые крупные ООПТ – 67%,

33% приходится на экологические коридоры и менее 1% – на ООПТ вне ядер. Структура земель внутри объектов сети значительно отличается от средней по провинции. Так, существенно ниже доля пахотных и улучшенных луговых земель: 29% в среднем, 11% – внутри коридоров, 9% – внутри охранных зон. Лесистость территорий внутри сети значительно выше – более 73% против 41% в среднем по провинции.

Заключение. Выполненное исследование базируется на использовании материалов ДЗЗ, а также применении количественных показателей ландшафтного разнообразия территорий, фрагментации природных экосистем, антропогенной преобразованности земельного фонда и позволяет научно обоснованно подойти к практике фор-

мирования экологических сетей на территории крупного природного региона Беларуси. Для более полного учета природного потенциала для решения этой задачи дополнительно необходимы сведения о наличии и территориальном размещении типичных и редких ландшафтов и биотопов, мест возможного восстановления природных комплексов, а также территорий, имеющих важное значение для размножения и миграции животных, концентрации и произрастания редких и исчезающих видов растений. Одновременно немаловажную роль при формировании экологических сетей имеет проработка вопросов возможности соблюдения рекомендаций по ограничению землепользования в зонах их создания и на прилегающих к ним территориях. ■

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Руководящие принципы формирования Европейской экологической сети: информационные материалы по экологическим сетям / сост. Г. Беннет, вып. 4. – М., 2000. – 32 с.
2. Государственная схема комплексной территориальной организации Республики Беларусь, утверждена Указом Президента Республики Беларусь от 12 января 2007 г. №19 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2007., № 15, 1/8258.
3. Об охране окружающей среды: Закон Республики Беларусь от 26 ноября 1992 года № 1982-ХІІ в редакции Закона Республики Беларусь от 6 мая 2010 г. № 127-3 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 13.05.2010., № 2/1679.
4. Об установлении требований к содержанию схемы национальной экологической сети и критериев выбора территорий для включения в национальную экологическую сеть: Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 26 ноября 2010., № 1733.
5. Марцинкевич Г.И. Ландшафтоведение. – Минск, БГУ. – 206 с.
6. Porta C., Spano D. r.li – Landscape structure analysis package overview [Электронный документ]. – Режим доступа: <https://grass.osgeo.org/grass64/manuals/r.li.html>.
7. Пузаченко Ю.Г., Дьяконов К.Н., Алещенко Г.М. Разнообразие ландшафта и методы его измерения // География и мониторинг биоразнообразия. – Москва: изд-во НУМЦ., 2002. – С. 76-178.
8. Jaeger J. Landscape division, splitting index and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation // Landscape Ecology, № 15, 2000. – P.115-130.
9. Landscape fragmentation in Europe. Joint EEA-FOEN Report, Copenhagen, 2011. – 92 p.
10. Данные OpenStreetMap в формате shape-файлов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gis-lab.info/ga/osmshp.html>. - Дата создания: 19.11.2011. – Дата доступа: 10.06.2015.
11. Шищенко П.Г. Прикладная физическая география. – Киев: Выща школа, 1988. – 192 с.
12. Юргенсон Н.А., Шушкова Е.В., Шляхтич Е.А. Особенности формирования национальной экологической сети в Беларуси // Природные ресурсы, № 2, 2015. – С. 99-106.

Поступление в редакцию 26.10.2016

A. SKACHKOVA
V. YATSUKHNO

TERRITORIAL SCHEMES OF ECOLOGICAL NETWORKS PLANNING OF THE BASIS OF RESULTS OF THE FRAGMENTATION AND DIVERSITY OF THE LANDSCAPES

In the article the role of the fragmentation and diversity landscapes indexes is reflected by basis and territorial place of the ecological networks. They received by using and processing of remote sensing materials of natural and anthropogenic complexes and they territorial combination.

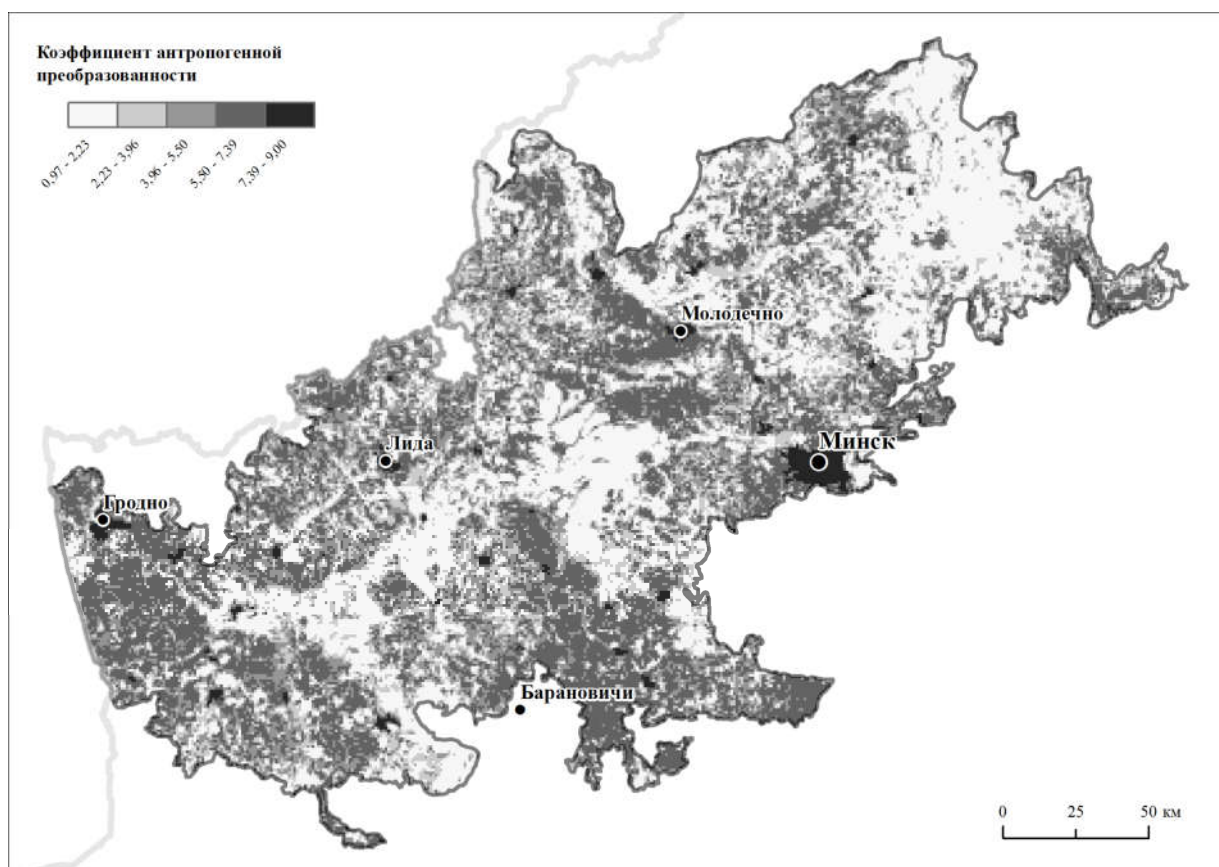


Рисунок 3 – Карта антропогенной преобразованности территории провинции

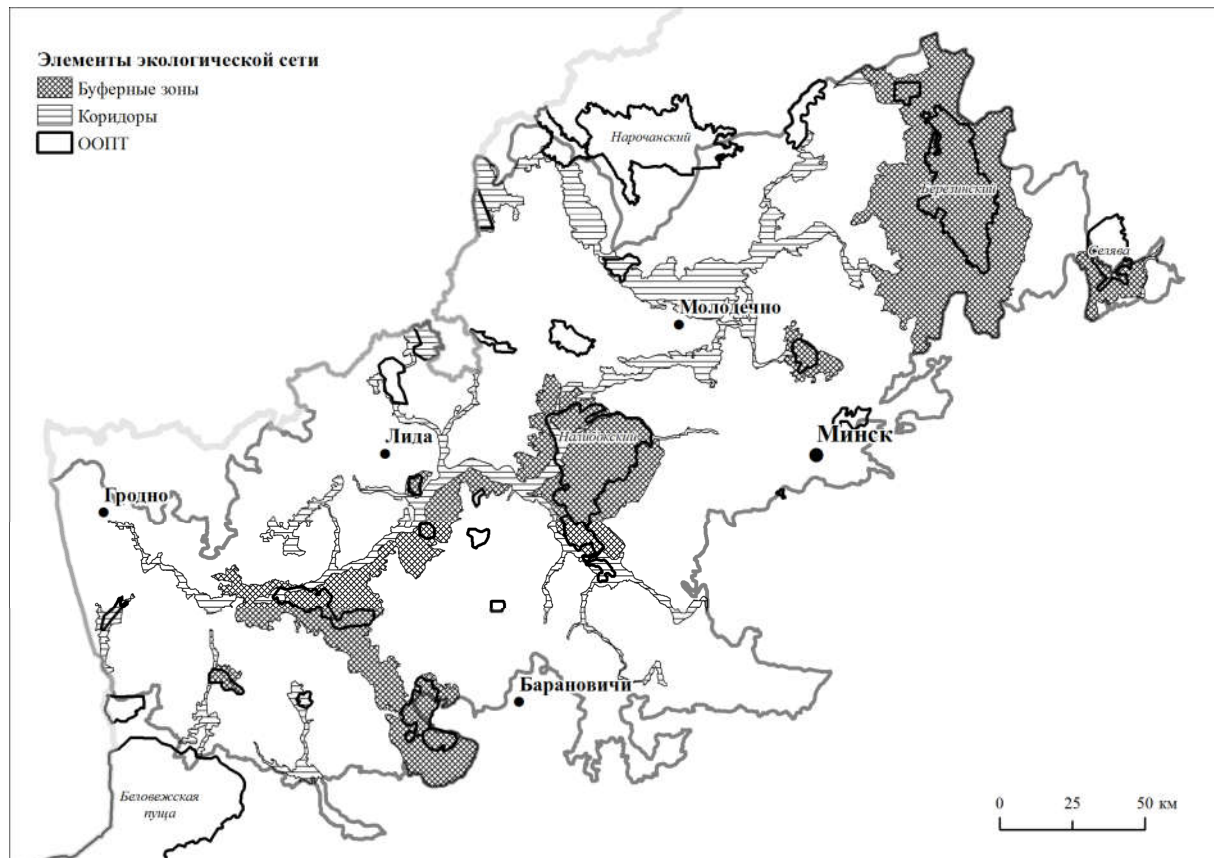


Рисунок 4 – Предлагаемая схема экологической сети Белорусской возвышенной провинции холмисто-моренно-эрозионных и вторично-моренных ландшафтов