



Фотография предоставлена: ALEX_UGALEK / Shutterstock

Экологическая связность: мост к сохранению биоразнообразия

Восстановление связности фрагментированных экосистем

Когда-то природа была огромной и безграничной, но в индустриальном мире XXI-го века это уже не так. Во всем мире наземные и морские ландшафты становятся все более фрагментированными. Представители дикой флоры и фауны обладают все меньшей свободой перемещения, а свободно текущие реки встречаются все реже. Вдоль тропических побережий, где ранее были сплошные мангровые заросли, а в океане — луга руппии и коралловые рифы, в настоящее время под воздействием природных и антропогенных факторов возникают раздробленные ландшафты, что подрывает основополагающую продуктивность и жизнестойкость экосистем.¹ Вследствие сегментации природных ландшафтов млекопитающие и другие биологические виды покрывают менее половины расстояний, которые они преодолевали ранее.² Ограничение способности диких животных мигрировать, рассеиваться, спариваться, кормиться и процветать означает, что они оказываются загнанными в угол в ситуациях, когда угроза их исчезновения нависает все сильнее.

Фрагментация обычно является симптомом трансформации и разрушения ландшафта. Разделение ареала обитания на фрагменты приводит к трем конкретным последствиям: уменьшению общей площади и качества среды обитания, нарастанию изолированности небольших участков среды обитания и усилению возмущений, связанных с искусственными границами фрагментов среды обитания, или «краевых эффектов».³⁻⁶ Изолированность и сокращение размера ареала означают, что на нем начинает обитать меньшее количество видов с меньшей численностью популяций, при этом происходит ограничение взаимодействия между участками ареала. Удлинение краев фрагментов подвергает популяции в пределах участка внешним возмущениям вдоль его границ. Со временем, когда участок становится слишком маленьким и изолированным, жизнеспособные популяции больше не могут сохранять свою устойчивость, от чего страдает видовое богатство.⁵ Фрагментация в конечном счете приводит к формированию нисходящей спирали каскадных экологических дисфункций, начиная с распада пищевых сетей и заканчивая утратой важнейших экологических процессов, таких как поступление потоков минеральных и питательных веществ, а также к прямому вымиранию видов.^{3,5,7-9}

Поддержание или восстановление связности фрагментированных ареалов обитания или участков ландшафта считается ключевым фактором противодействия многим негативным последствиям фрагментации.¹⁰ Связность можно определить как степень, в которой наземные и морские ландшафты позволяют биологическим видам свободно перемещаться, а экологическим процессам беспрепятственно функционировать. Научные данные, основанные на исследованиях островной биогеографии и метапопуляций видов, в подавляющем большинстве случаев свидетельствуют о том, что с точки зрения сохранения биологических видов и экологических функций взаимосвязанные ареалы обитания более эффективны.^{11,12} Взаимосвязанные экологические сообщества и ареалы обитания поддерживают жизненно важные экологические процессы, такие как опыление, продуктивность, разложение, биохимическая цикличность и круговорот питательных веществ. Экологическая связность может также помочь биологическим видам адаптироваться к будущим условиям и буферным изменениям окружающей среды посредством повышения экологической жизнестойкости перед лицом разрушительных природных явлений, таких как изменение климата.¹³

Несмотря на очевидные преимущества сохранения экологической связности, страны мира в настоящее время не имеют последовательного подхода в этом вопросе. Как лучше всего оценить степень успеха в деле сохранения связности? Что делают правительства и специалисты по охране окружающей среды для создания экологических коридоров, проектирования экологических сетей и определения эффективности усилий по сохранению связности? Сохранение нетронутых наземных и морских ландшафтов посредством выделения обширных охраняемых природных территорий и увеличения числа таких территорий целесообразно, но требует принятия трудных политических, социальных и экономических решений.^{14,15} Как целевая задача природоохранной деятельности поддержания связности требует совместного целеполагания с участием всех заинтересованных сторон, обеспечивающего углубленное рассмотрение всех аспектов этой проблемы, а также реализации скоординированных и практически осуществимых мер. Для достижения эффективных конечных результатов необходимо наладить сотрудничество между государственным и частным секторами. Предотвращение утраты биоразнообразия и уменьшение воздействия на экосистемы является общей ответственностью всех слоев общества на любом уровне — от уровня общин до международного масштаба. Во многих случаях в рамках более широкой природоохранной работы меры по обеспечению связности могут осуществляться с учетом существующих социально-экономических проблем на местах.



Видовое богатство, межвидовые взаимодействия и плотность популяции



Генетическая изменчивость и перенос генов



Перемещение и распространение

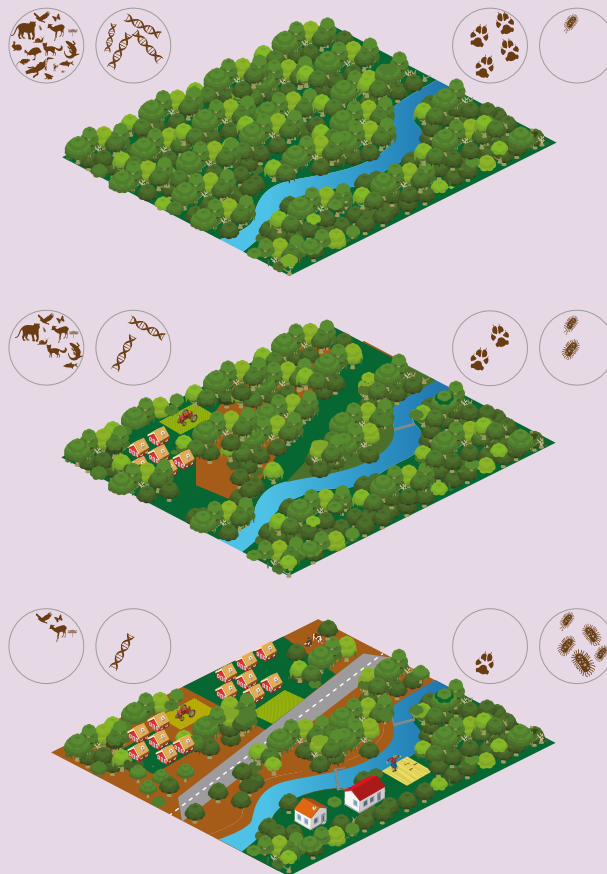


Риск появления зоонозных инфекций, вспышки заболеваемости и подверженность человека инфекционным заболеваниям



Фрагментация ареалов обитания

Около 40 процентов наземных экосистем преобразованы в сельскохозяйственные угодья.¹⁶ Видоизменение ландшафта и рек в целях их использования человеком приводит к фрагментации ареалов обитания. Меньшие по размеру и в большей степени изолированные фрагменты ареалов обитания, окруженные участками, на которых человек осуществляет свою деятельность, с меньшей вероятностью могут поддерживать сохранение среды обитания и способствовать выживанию животных и растений, населяющих данную местность. Фрагментация ареалов обитания отрицательно сказывается на численности, распределении, перемещении, богатстве биологических видов и взаимодействии между ними, их размножении и генетическом разнообразии.⁵ Это ослабляет способность биологических видов адаптироваться к новым климатическим условиям.¹⁷



Движущие силы фрагментации

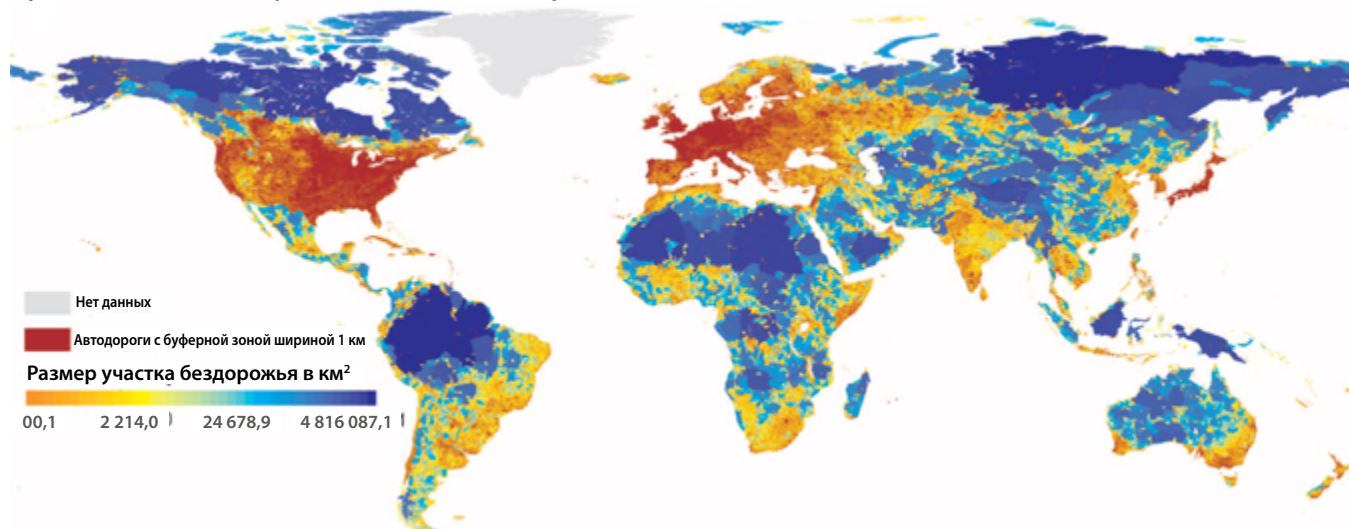
Под действием человеческого общества биосфера Земли трансформируется, а в окружающей среде происходят беспрецедентные изменения. Новейшие исследования свидетельствуют о том, что более 75 процентов поверхности суши нашей планеты было изменено человеком.¹⁸⁻²¹ В результате синергетического эффекта от роста численности населения, нарастающих темпов урбанизации, расширения сельскохозяйственных угодий, загрязнения окружающей среды и развития инфраструктуры происходит дальнейшая фрагментация экосистем. Согласно некоторым прогнозным моделям землепользования к 2050 году специально под сельскохозяйственных нужды может быть расчищено около одного миллиарда гектаров тропических земель.²² Морская среда в еще большей степени подвержена воздействию этих тенденций: новые исследования показывают, что лишь около 13 процентов Мирового океана по-прежнему относятся к категории девственных морей, что намного меньше, чем ожидали многие защитники природы.²³

Основная нагрузка в ходе современного развития нередко создается линейной инфраструктурой. Автомобильные дороги, рельсы, трубопроводы, ограждения и каналы строятся рекордными темпами, особенно в отдаленных, ранее неосвоенных районах тропиков. Ожидается, что 90 процентов всего нового дорожного строительства будет осуществляться в развивающихся

странах.²⁴ В Индии, где обитает почти 60 процентов популяции тигра в мире, критически важным коридорам перемещения тигров угрожают 4 300 километров вновь запланированных общенациональных автомагистралей и автомобильных дорог между штатами.²⁵ В глобальном масштабе к 2050 году ожидается завершение строительства более 25 миллионов километров новых автомобильных дорог, что увеличит общую протяженность существующих автодорог по сравнению с 2010 годом на 60 процентов.²⁶

Свободно текущие реки, источник экологической жизненной силы ландшафтов и эстуариев, подвергаются фрагментации, обусловленной размерами плотин и масштабами их продолжающегося строительства. Крупные плотины разделяют 59 процентов рек мира на участки, нарушая естественное течение 93 процентов всемирного речного стока, а почти 28 процентов водотока считается значительно или жестко зарегулированным.²⁷ Только в бассейне Амазонки в настоящее время проектируются, строятся или планируются к возведению более 400 плотин.²⁸ В своей совокупности строительство плотин и автомобильных дорог, а также вырубка лесов подрывают экологическую целостность континентальных речных бассейнов, что в свою очередь влечет за собой реальные последствия для других видов экономической и рекреационной деятельности человека. Например, связность пресных водоемов ежегодно приносит около 200 млн долл. США в рыбопромысловую экономику бассейна Амазонки, которая обеспечивает занятость примерно 200 000 рыбаков.²⁹

Фрагментация ландшафта автомобильными дорогами



Источник: Ibisch et al. (2016)³⁰

Анализ массива данных по 36 млн км автодорог по всему миру показывает, что автомобильные дороги разбивают наземный ландшафт на более чем 600 000 участков. Более половины этих участков находятся в радиусе 1 км от любой автодороги (выделено красным цветом). Ближе к областям, отмеченным синим цветом, находятся участки земли, расположенные вдали от всех автодорог, и по этой причине они в меньшей степени подвержены влиянию транспортных потоков.

Река Шингу на севере Бразилии в 2000 и 2017 годах



Фотография предоставлена: Joshua Stevens / NASA Earth Observatory

Строительство плотины гидроэлектростанции Бело Монте в 2011 году кардинальным образом изменило русло реки Шингу. Более 80 процентов речного стока было перенаправлено, в результате чего значительные районы высохли (видны как оранжево-коричневые участки), что оказало прямое воздействие на общины коренных народов и дикую природу этого района.

Реки, ландшафты и береговые линии имеют неразрывные связи. Связность также является подтверждением того, что природа функционирует как единый комплекс ее составных частей. Связность водных и наземных систем имеет жизненно важное значение для экологической целостности, но слишком часто эти элементы управляются по отдельности. Например, исследования экосистем, расположенных в умеренных широтах, свидетельствуют о том, что воздействие гравийных речных пойм простирается далеко за пределы прибрежных зон. Это влияние на подповерхностную экологию суши проецируется за пределы видимого русла рек и их дельт, выходя далеко в море. Системы свободно текущих рек обеспечивают связность водных, птичьих и наземных сообществ — от микроорганизмов до медведей гризли — и на своем пути оказывают влияние на биогеохимию наземных и морских ландшафтов.³¹



Видеоматериал:

Рассеивание семян и фрагментация лесов



Фотография предоставлена: Jess Kraft / Shutterstock
Видеоматериал доступен по адресу:
<https://www.youtube.com/watch?v=0m6AjWZ2p8I>

© HHMI BioInteractive

Фрагментация и связность ландшафтов

Фрагментация ландшафтов — это разделение крупных, непрерывных ареалов обитания на меньшие по размеру и более изолированные части или участки.

Связность наземных ландшафтов — это количественная мера того, в какой степени конкретный ландшафт позволяет животным и другим экологическим потокам свободно перемещаться.

По мере потепления климата поддержание связности между территориями с различным температурным режимом может позволить организм перемещаться вдоль **градиентов температуры**, обеспечивая адаптацию биологических видов.

Надлежащим образом взаимосвязанные пространства позволяют биологическим видам мигрировать в новые места обитания, особенно когда им необходимо **адаптироваться к изменению климата**.



Фрагментация рек в основном происходит в связи с возведением плотин и созданием водохранилищ, которые разъединяют экосистемы верхнего и нижнего течения, оказывая влияние на пути распространения и миграции биологических видов, а также на перенос органических и неорганических веществ

В мире планируется построить более **3 700 крупных гидроэлектростанций**

Автомобильные дороги изменяют поведенческие модели некоторых биологических видов. Исследования показали, что такие животные, как ежи, гремучие змеи, черепахи, красные белки и улитки избегают пересекать автомобильные дороги.

Перемещению представителей дикой флоры и фауны препятствует транспортная инфраструктура, например **автомобильные и железные дороги**

Такие факторы, как **ширина автодороги**, интенсивность дорожного движения и **кривизна дороги**, также могут оказать влияние на число особей различных биологических видов, гибнущих под колесами автотранспорта

Установлено, что фрагментация ареалов обитания приводит к **сокращению численности популяций ряда высших хищников**

Всемирное исследование показало, что **177 видов млекопитающих** утратили более **30%** своих географических ареалов, а у **40%** этих видов отмечено значительное сокращение численности популяций

Связность повышает уровень **взаимодействия между растениями и животными**, например при опылении и рассеивании семян. Растения в более взаимосвязанных районах дают больше плодов.

Связность суши и моря охватывает биологическую миграцию, гидрологическую цикличность, перенос питательных веществ и другие климатически обусловленные процессы, имеющие жизненно важное значение как для прибрежных, так и для глобальных экосистем



К 2030 году почти **40%** рек мира будут **сильно фрагментированы**

Современная лесохозяйственная практика ухудшает связность ландшафтов

По итогам крупного исследования бассейна Амазонки был сделан вывод о том, что наилучшим способом его защиты от антропогенного воздействия и обеспечения его жизнестойкости перед лицом изменения климата является создание **крупных, обширных и взаимосвязанных природных заповедников**

Крупные плотины возведены в **59%** речных бассейнов мира, а к 2030 году этот показатель достигнет **75%**

Экологические коридоры — это полосы растительности, соединяющие участки ареалов обитания друг с другом, что создает благоприятные условия для перемещения растений и животных

«Плацдармы» экспансии — это сравнительно небольшие участки девственной растительности, разбросанные по ландшафту, которые способствуют перемещению биологических видов и их распространению на большие расстояния

Наличие «плацдармов» позволяет биологическим видам перемещаться между изолированными ареалами обитания и заселять новые ареалы

Создание **коридоров между природными заповедниками** способствует сохранению связности ареалов обитания, что увеличивает видовое богатство этих заповедников

В Бразилии исследование высокочувствительных видов птиц показало, что в **более взаимосвязанных лесах** видов птиц больше, чем в менее взаимосвязанных лесах

Надлежащим образом взаимосвязанные морские ареалы обитания являются более жизнестойкими перед лицом изменения климата

Связность жизненно важна для организмов, живущих в **тропическом и субтропическом прибрежном мелководье**, которые зависят от миграции между коралловыми рифами, мангровыми зарослями, эстуариями и экосистемами нижнего течения рек

Исследование коралловых рифов, проведенное в Австралии в заливе Мортон-Бэй, показало, что участки с **более высоким уровнем связности с мангровыми зарослями** отличались большим обилием видов, чем те, которые были изолированы от мангровых зарослей

Содействие внедрению решений, обеспечивающих связность

Сохранение связности является противоядием от фрагментации, и в условиях, когда угрозы природе накладывают повышенную нагрузку как на людской, так и финансовый потенциал реагирования, некоторые страны переходят к осуществлению поэтапных инициатив. В Бразилии сохранение связности положено в основу усилий страны, направленных на достижение амбициозной цели восстановления жизнеспособных взаимосвязей между ареалами обитания в сильно фрагментированных влажных тропических лесах на атлантическом побережье, известных под названием «Мата Атлантика». Некоторые находящиеся под угрозой исчезновения биологические виды находятся в центре внимания проектов по восстановлению биоразнообразия, направленных на воссоединение изолированных популяций, например золотистого львиного тамарина. Показано, что целенаправленное восстановление популяций снижает темпы исчезновения биологических видов в некогда фрагментированных лесных массивах.³² В настоящее время поддержание связности является заявленной целью ряда стратегий в области сохранения биоразнообразия Бразилии. В бразильских законах «О лесах» и «О защите естественной растительности» особо подчеркивается,

что сохранение связности является критически важной стратегией восстановления ландшафтов и сохранения ареалов обитания.^{33,34} В целях восстановления и укрепления связности ландшафтов и их экологических функций правительство Сальвадора недавно предложило объявить период 2021–2030 годов «Десятилетием восстановления экосистем» под эгидой Организации Объединенных Наций.

В Африке правительство Танзании недавно приняло новый закон «Об охране дикой природы», в котором подчеркивается необходимость более активного сохранения коридоров дикой природы на охраняемых природных территориях. В Кении, где большая часть дикой природы находится за пределами охраняемых природных территорий, а планирование на уровне округов только начинается, Служба охраны дикой природы Кении составила систематический каталог ключевых коридоров дикой природы и районов распространения дикой флоры и фауны и разработала национальную политику по вопросам коридоров дикой природы.³⁵

В акватории Мирового океана связность проявляется в трехмерном пространстве, поскольку водная толща вводит в экологию перемещений дополнительную переменную. Море само по себе является связующей средой. Таким образом, связность

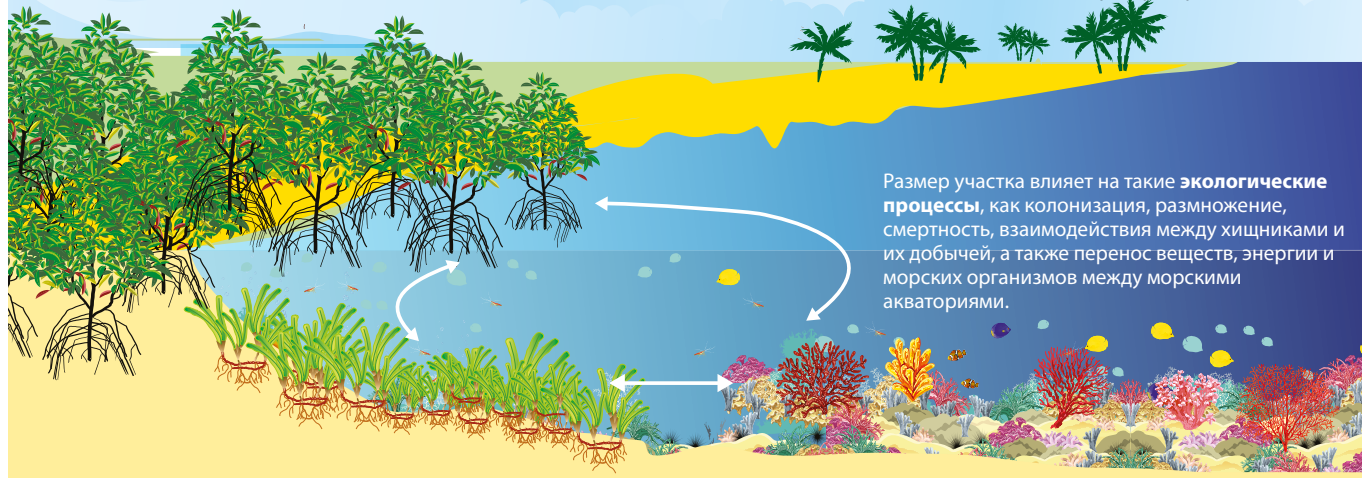
Связность морских ландшафтов

Связность морских ландшафтов — это то, насколько морской ландшафт способствует или препятствует перемещениям

Прибрежные ареалы обитания существуют как компоненты функционально взаимосвязанных мозаичных структур, поэтому фрагментация или утрата ареала обитания может нарушить целостность соседних аналогов

Подвижные организмы перемещаются между экосистемами в поисках корма, для нереста и в порядке миграции, в то время как **сидячие биологические виды** полагаются на приливные режимы и течения как средство доставки пищи и питательных веществ и распространения личинок.

Размер участка влияет на такие **экологические процессы**, как колонизация, размножение, смертность, взаимодействия между хищниками и их добычей, а также перенос веществ, энергии и морских организмов между морскими акваториями.



морской среды проявляется по-разному: в форме взаимосвязей между морем и прибрежными районами, взаимодействий между поверхностью моря и морским дном и как составная часть динамики океанических течений.³⁶ В этой тесно взаимосвязанной среде морские охраняемые природные акватории, являющиеся краеугольным камнем сохранения океана, практически не могут функционировать как экологически изолированные участки. Море как таковое способствует созданию экологических сетевых структур, соединяющих критически важные ареалы обитания в пространстве и во времени.

Более того, многие морские биологические виды, пережившие сложные этапы в своем развитии, в процессе эволюции изменялись вместе с динамикой перемен в водной среде этого изменчивого мира. Морские водоросли и мангровые болота — это хорошо известные ареалы обитания детенышей многих морских биологических видов, которым затем нередко приходится перемещаться к коралловым рифам, подводным горам или другим водам для нагула. Отмечается, что обеспечение связности морских ландшафтов является ключевым руководящим принципом сохранения морской среды и пространственного планирования, а также усилий по ее восстановлению; однако на практике этот принцип редко используется в процессе проектирования сетей морских заповедников.³⁶⁻³⁹ Это в значительной степени объясняется нехваткой на этапе проектирования количественных данных по целому ряду параметров связности, например, по характеру распространения и перемещения ключевых биологических видов на различных этапах жизни, экологической связности внутри заповедников и за их пределами, а также по связности различных ареалов обитания и по генетической взаимосвязанности популяций.^{10,38-40} Тем не менее исследования, направленные на выявление зависимости показателей эффективности морских заповедников от связности их экосистем, которые были проведены в Карибском бассейне, на островах Флорида-Кис, на Соломоновых островах, в Мортон-Бэй и на акватории Большого Барьерного рифа в Австралии, свидетельствуют об экологической значимости повышения уровня связности. На этих охраняемых природных территориях и акваториях наблюдалась положительная динамика с точки зрения обилия, видового богатства, состава популяций рыбы и их пополнения, а также отмечалось положительное воздействие на различные экологические процессы.^{10,41-44}

Международное сообщество прилагает усилия для содействия поиску решений в области обеспечения связности. В 2016 году Международный союз охраны природы (МСОП) учредил Группу специалистов по сохранению связности (ГССС), с тем чтобы способствовать реализации все возрастающего числа мероприятий по сохранению связности и придать этой работе новый импульс. Основным направлением деятельности ГССС, в состав которой входят около 900 членом из 80 стран, является наращивание потенциала практических действий по последовательному сохранению связности во всем мире посредством развития сетей взаимодействия и представления рекомендаций на основе сочетания научного, инженерного и политического опыта.



Видеоматериал: Что означает связность морской среды?



Фотография предоставлена: Damsea / Shutterstock
Видеоматериал доступен по адресу:
<https://www.youtube.com/watch?v=MowPR5GYqKM>

© Ifremer



Видеоматериал: За кулисами миграции красного краба — остров Рождества, 2012 год



Фотография предоставлена: David Stanley
Видеоматериал доступен по адресу:
<https://www.youtube.com/watch?v=n9y151LQ0s>

© Parks Australia

Постановка целевых задач по обеспечению связности в будущем

Айтинские целевые задачи в области биоразнообразия, принятые участниками Конвенции о биологическом разнообразии (КБР) в качестве составной части Стратегического плана по биоразнообразию на 2011–2020 годы, охватывают вопросы обеспечения связности наземных и морских ландшафтов. Целевая задача 11, принятая в Айти, гласит, что не менее 17 процентов районов суши и внутренних вод и 10 процентов прибрежных и морских районов должны сохраняться во всем мире за счет хорошо связанных между собой систем охраняемых районов. И все же многие ученые полагают, что в наши дни в области сохранения биоразнообразия следует ставить перед собой более амбициозную цель.^{45,46} Научное сообщество, занимающееся вопросами охраны природы, утверждает, что в среднем 50 процентов всех земель и морей нуждаются в управлении, обеспечивающем поддержание устойчивости экологических процессов, которые предопределяют состояние природы и критические пороговые показатели здоровья нашей планеты, включая экосистемные услуги, создающие источники средств к существованию человека.^{4,14,15} Во многих областях, имеющих глобальное экологическое значение, постановка более смелых целей является научно обоснованным и политически поддерживаемым подходом. Например, необходимо увеличить степень защиты бассейна реки Амазонки, что будет способствовать поддержанию устойчивости региональных и глобальных гидрологических и климатических функций этого обширного водосборного бассейна. Согласно ландшафтным моделям, если более 20 процентов лесов Амазонии будет утрачено, это приведет к переходу через пороговое значение, что в конечном итоге превратит тропические леса в саванны и в свою очередь скажется на климате во всем мире.⁴⁷ В процессе реализации Айтинских целевых задач в области биоразнообразия правительство Бразилии поставило перед собой амбициозную цель постановки под охрану 30 процентов Амазонии при одновременном обеспечении того, чтобы каждый из других биомов, выделенных на территории страны, соответствовал 17-процентному целевому показателю, согласованному в Айти.⁴⁸ Следующий десятилетний стратегический план осуществления КБР, охватывающий период 2021–2030 годов, будет обсуждаться в октябре 2020 года в Китае. Поборники охраны природы с энтузиазмом восприняли идею, согласно которой конечные цели 11-й целевой задачи в области биоразнообразия, принятой в Айти, могут быть сформулированы с учетом более амбициозного подхода и в русле устремлений участников инициативы «50% — природе» к 2050 году.

Хотя до настоящего времени значительные усилия были в первую очередь сосредоточены на достижении процентных показателей охраны земель, пресных водоемов и морей, сейчас имеется понимание того, что в отношении преобразования тесно связанной системы охраняемых природных территорий и осуществления других эффективных природоохраненных мер на порайонной основе можно было бы сделать гораздо больше. Научные данные недвусмысленно свидетельствуют о том, что взаимосвязанные охраняемые природные территории являются более эффективными охраняемыми природными территориями.^{49,50}



Коридоры дикой природы являются широко распространенной стратегией обеспечения связности в целях защиты мигрирующих биологических видов. Эти коридоры нередко предназначены для конкретного биологического вида, например вилорогой антилопы в Северной Америке, тигров в Азии и пятнистого ягуара в Южной Америке, и ориентированы на его потребности. Формы и размеры коридоров имеют значительные отличия в зависимости от использующих их биологических видов, состояние которых вызывает озабоченность, и ограничений, налагаемых особенностями ландшафта, и варьируются в широком диапазоне: от неприметных линейных троп до участков ареалов обитания, являющихся «плацдармом» экспансии, которые облегчают миграцию птицам или морским черепахам.

Соединяющие зоны представляют собой более крупные районы наземных или морских ландшафтов, которые являются средством обеспечения связности в интересах широкого спектра биологических видов и экологических процессов. К этим зонам относятся крупные массивы суши или моря, которые способствуют распространению биологических видов на всех охраняемых природных территориях, что имеет решающее значение в таких регионах, как Восточная Африка, где подавляющее большинство представителей дикой флоры и фауны обитают за пределами охраняемых природных территорий. Соединяющие зоны также облегчают перемещение животных, биомассы и энергии между участками ареалов обитания или между различными экосистемами, расположенными в пределах охраняемых природных территорий.

Зоны проницаемости являются самой масштабной концепцией, используемой защитниками природы для сохранения экологически важных взаимосвязей за пределами охраняемых природных территорий в регионах, где доминирует человек. Эти районы обеспечивают сезонные потребности биологических видов или возможность их пространственного перемещения и/или экологические процессы, например, доступ к весенним водоемам или конкретным гидрологическим потокам пресной воды.

Климатические коридоры предлагаются учеными в качестве средства сохранения возможности перемещения биологических видов по температурным градиентам; эти же коридоры зачастую служат «климатическими убежищами».⁵¹ Часть усилий в области сохранения связности, например в рамках Инициативы по сохранению Великих восточных хребтов в Австралии, напрямую нацелена на поддержание жизнестойкости перед лицом изменения климата.⁵²

Восстановление связности фрагментированных наземных и морских ландшафтов при посредстве экологических сетевых структур может эффективно повысить функциональность природы и стимулировать более амбициозные подходы к ее сохранению.

В настоящее время охраняемые природные территории охватывают 14,7 процента земель во всем мире, но взаимосвязанными являются менее половины из них.⁵⁰ Эти

статистические данные дают основания предположить, что возможности повышения уровня связности охраняемых природных территорий во всем мире далеко не исчерпаны. Если мировое сообщество действительно стремится к тому, чтобы широкомасштабные природоохранные действия осуществлялись быстрыми темпами, следует придерживаться концепции обеспечения связности охраняемых природных территорий при посредстве экологических сетевых структур, опыт продвижения которой вселяет надежду.

В более широкой природоохранной практике применение концепции сохранения связности все еще находится на сравнительно раннем этапе своего развития, поэтому для усовершенствования передовых методик еще многому предстоит научиться.^{53,54} В качестве формирующейся практики сохранения экологической связности сталкивается с наибольшими проблемами при ее реализации за пределами охраняемых природных территорий. Ограничение воздействия сил, приводящих к фрагментации экосистем, например, в результате развития линейной инфраструктуры, со всей очевидностью является насущной необходимостью. Не меньшее значение имеет информирование лиц, определяющих политический курс, сотрудников правительственных ведомств и заинтересованных сторон в местных общинах о важности обеспечения экологической связности. В то время как некоторые страны могут ввести в силу нормативно-правовые меры, обеспечивающие сохранение связности, подавляющее большинство усилий в области сохранения экологической связности будет опираться на основанные на стимулах подходы к ее сохранению на основе широкого участия.⁵⁵ Изменение действующих политических установок в области природоохранной деятельности может способствовать более широкому принятию мер по сохранению связности путем включения целевых показателей уровня связности как в оценки воздействия на окружающую среду, так и в различные программы финансирования природоохранной деятельности и введения налоговых стимулов.

Охраняемые природные территории сами по себе не в состоянии обеспечить сохранение биоразнообразия или взаимосвязанных функций природных систем, поддерживающих жизнь на нашей планете. Связность — это суть экологии, которая является наукой о взаимозависимости. Ее обеспечение является настоятельным требованием, поскольку взаимосвязанные земли, пресные водоемы и моря являются источником жизненной силы девственной природы. Таким образом, взаимосвязанные сетевые структуры представляют собой наилучшую возможность для поддержания и восстановления экологических и эволюционных процессов, предотвращения исчезновения биологических видов и защиты наземных, пресноводных и морских экосистем, жизненно важных для человечества и всего живого. Связность может обеспечить, чтобы экосистемы во всем мире стали более жизнестойкими и адаптируемыми к глобальным изменениям и обладали способностью поддерживать экологическую целостность, отвечающую потребностям нынешнего и будущих поколений. Пока идет борьба с силами, способствующими фрагментации экосистем, сохранение связности, по сути, создает сеть безопасности для сохранения биоразнообразия и в конечном счете для выживания человечества.

«Плацдармы» и переходы

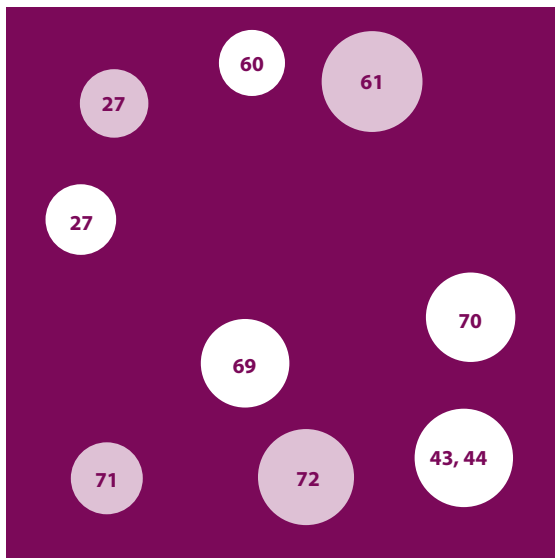


Список использованной литературы

- Cullen-Unsworth, L.C. and Unsworth, R. (2018). A call for seagrass protection. *Science* 361(6401), 446-448. <https://doi.org/10.1126/science.aat7318>
- Tucker, M.A., Böhning-Gaese, K., Fagan W.F., Fryxell J.M., Van Moorter, B., Alberts, S.C. *et al.* (2018) Moving in the Anthropocene: Global reductions in terrestrial mammalian movements. *Science* 359(6374), 466-469. <https://doi.org/10.1126/science.aam9712>
- Haddad, N.M., Brudvig, L.A., Clobert, J., Davies, K.F., Gonzalez, A., Holt, R.D. *et al.* (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances* 1(2), e1500052. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500052>
- Wilson, E.O. (2016). *Half-Earth: our planet's fight for life*. London: W.W. Norton & Company
- Fahrig, L. (2003) Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*. 34, 487-515. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419>
- Laurance, W.F., Nascimento, H.E.M., Laurance, S.G., Ana Andrade, A., Ewers, R.M., Harms, K.E. *et al.* (2007) Habitat fragmentation, variable edge effects, and the landscape-divergence hypothesis *PLoS ONE* 2(10), e1017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001017>
- Crook, D.A., Winsor, H., Lowe, W.H., Allendorf, F.W., Eros, T., Finn, D.S., Gillanders, B.M. *et al.* (2015) Human effects on ecological connectivity in aquatic ecosystems: Integrating scientific approaches to support management and mitigation. *Science of The Total Environment* 534, 52-64. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.034>
- Crooks, K.R., Burdett, C.L., Theobald, D.M., King, S.R.B., Di Marco, M., Rondinini, C. *et al.* (2017) Quantification of habitat fragmentation reveals extinction risk in terrestrial mammals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(29), 7635-7640. <https://doi.org/10.1073/pnas.1705769114>
- Laurance, W.F., Camargo, J.L.C., Luizão, R.C.C., Laurance, S.G., Pimm, S.L., Bruna, E.M. *et al.* (2011) The fate of Amazonian forest fragments: A 32-year investigation. *Biological Conservation* 144(1), 56-67. <http://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.09.021>
- Olds, A.D., Connolly, R.M., Pitt, K.A., Pittman, S.J., Maxwell, P.S., Huijbers, C.M. *et al.* (2015). Quantifying the conservation value of seascape connectivity: a global synthesis. *Global Ecology and Biogeography* 25, 3-15. <https://doi.org/10.1111/geb.12388>
- MacArthur, R.H. and Wilson, E.O. (1967). *The theory of island biogeography*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Gilbert-Norton, L., Wilson, R., Stevens, J.R. and Beard, K.H. (2010). A meta-analytic review of corridor effectiveness. *Conservation Biology* 24(3), 660-668. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01450.x>
- Heller, N.E. and Zavaleta, E.S. (2009). Biodiversity management in the face of climate change: a review of 22 years of recommendations. *Biological Conservation* 142(1), 14-32. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2008.10.006>
- Noss, R.F., Dobson, A.P., Baldwin, R., Beier, P. Davis, C.R., Dellasala, D.A. *et al.* (2012) Bolder thinking for conservation. *Conservation Biology* 26(1), 1-4. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2011.01738.x>
- Dinerstein, E., Olson, D., Joshi, A., Vynne, C., Burgess, N.D., Wikramanayake, E. *et al.* (2017). An ecoregion-based approach to protecting half the terrestrial realm. *BioScience* 67(6), 534-545. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix014>
- Barnosky, A.D., Hadly, E.A., Bascompte, J., Berlow, E.L., Brown, J.H., Fortelius, M. *et al.* (2012). Approaching a state shift in Earth's biosphere. *Nature* 486(7401), 52. <https://doi.org/10.1038/nature11018>
- McGuire, J.L., Lawler, J.J., McRae, B.H., Nunez, T.A. and Theobald, D.M. (2016). Achieving climate connectivity in a fragmented landscape. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(26), 7195-7200. <https://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1602817113>
- Ellis, E.C., Goldewijk, K.K., Siebert, S., Lightman, D. and Ramankutty, N. (2010). Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000. *Global Ecology and Biogeography* 19(5), 589-606. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00540.x>
- Oakleaf, J.R. and Kennedy, C.M. (2016). Comparison of global human modification and human footprint maps. *The Nature Conservancy*. http://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/lands/science/publications/Documents/HM_HF_comparison_documentation.pdf
- Venter, O., Sanderson, E.W., Magrath, A., Allan, J.R., Beher, J., Jones, K.R. *et al.* (2016). Sixteen years of change in the global terrestrial human footprint and implications for biodiversity conservation. *Nature Communications* 7, 12558. <https://doi.org/10.1038/ncomms12558>
- Watson, J.E.M., Shanahan, D.F., Di Marco, M., Allan, J., Laurance, W.F., Sanderson, E.W. *et al.* (2016). Catastrophic declines in wilderness areas undermine global environment targets. *Current Biology* 26, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.08.049>
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., and Befort, B.L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108(50), 20260-20264. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>
- Jones, K.R., Klein, C.J., Halpern, B.S., Venter, O., Grantham, H., Kuempel, C.D. *et al.* (2018). The location and protection status of Earth's diminishing marine wilderness. *Current Biology* 28(15), 2506-2512. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.06.010>
- Laurance, W.F., Clements, G.R., Sloan, S., O'Connell, C.S., Mueller, N.D., Goosem, M. *et al.* (2014). A global strategy for road building. *Nature* 513(7517), 229. <https://doi.org/10.1038/nature13717>
- Habib, B., Rajvanshi, A., Mathur, V.B., and Saxena, A. (2016). Corridors at crossroads: Linear development-induced ecological triage as a conservation opportunity. *Frontiers in Ecology and Evolution* 4, 132. <https://doi.org/10.3389/fevo.2016.00132>
- Dulac, J. (2013). Global land transport infrastructure requirements - estimating infrastructure capacity and costs to 2050. Paris: International Energy Agency. https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TransportInfrastructureInsights_FINAL_WEB.pdf
- Grill, G., Lehner, B., Lumsdon, A.E., MacDonald, G.K., Zarfl, C. and Liermann, C.R. (2015) An index-based framework for assessing patterns and trends in river fragmentation and flow regulation by global dams at multiple scales. *Environmental Research Letters* 10(1). <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/1/015001/meta>
- Fundación Proteger, International Rivers and ECOA (2018). Dams in Amazonia website. <http://dams-info.org/>
- Tundisi, J.G., Goldemberg, J., Matsumura-Tundisi, T. and Saraiva, A.C.F. (2014). How many more dams in the Amazon? *Energy Policy* 74, 703-708. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.07.013>

30. Ibsch, P.L., Hoffmann, M.T., Kreft, S., Pe'er, G., Kati, V., Biber-Freudenberger, L., DellaSala, D.A., et al. (2016). A global map of roadless areas and their conservation status. *Science*, 354(6318), 1423-1427. <https://doi.org/10.1126/science.aaf7166>
31. Hauer, F.R., Locke, H., Dreitz, V.J., Hebblewhite, M., Lowe, W.H., Muhlfeld, C.C. et al. (2016). Gravel-bed river floodplains are the ecological nexus of glaciated mountain landscapes. *Science Advances* 2(6), e1600026. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600026>
32. Newmark, W.D., Jenkins, C.N., Pimm, S.L., McNeally, P.B. and Halley, J.M. (2017). Targeted habitat restoration can reduce extinction rates in fragmented forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114(36), 9635-9640. <https://doi.org/10.1073/pnas.1705834114>
33. Garcia, L.C., Santos, J.S., Matsumoto, M., Silva, T.S.F., Padovezi, A., Sparovek, G. et al. (2013). Restoration challenges and opportunities for increasing landscape connectivity under the new Brazilian Forest Act. *Natureza & Conservação* 11(1), 181-185. <http://dx.doi.org/10.4322/natcon.2013.028>
34. Brancalion, P.H.S., Garcia, L.C., Loyola, R., Rodrigues, R.R., Pillar, V.P., and Lewinsohn, T.M. (2012). A critical analysis of the Native Vegetation Protection Law of Brazil (2012): updates and ongoing initiatives. *Natureza & Conservação* 14(1), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2016.03.003>
35. Ojwang', G.O., Wargute, P.W., Said, M.Y., Worden, J.S., Davidson, Z., Muruthi, P. et al. (2017). Wildlife Migratory Corridors and Dispersal Areas: Kenya Rangelands and Coastal Terrestrial Ecosystems. Nairobi: Kenya Wildlife Service
36. Carr, M.H., Robinson, S.P., Wahle, C., Davis, G., Kroll, S., Murray, S. et al. (2017). The central importance of ecological spatial connectivity to effective marine protected areas and to meeting the challenges of climate change in the marine environment. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 27(S1), 6–29. <https://doi.org/10.1002/aqc.2800>
37. Magris, R.A., Pressey, R.L., Weeks, R. and Ban, N.C. (2014). Integrating connectivity and climate change into marine conservation planning. *Biological Conservation* 170, 207–221. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.12.032>
38. Green, A.L., Maypa, A.P., Almany, G.R., Rhodes, K.L., Weeks, R., Abesamis, R.A. et al. (2015). Larval dispersal and movement patterns of coral reef fishes, and implications for marine reserve network design. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society* 90(4), 1215–1247. <https://doi.org/10.1111/brv.12155>
39. Engelhard, S.L., Huijbers, C.M., Stewart-Koster, B., Olds, A.D., Schlacher, T.A. and Connolly, R.M. (2016). Prioritising seascape connectivity in conservation using network analysis. *Journal of Applied Ecology* 54(4), 1130–1141. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12824>
40. Foster, N.L., Paris, C.B., Kool, J.T., Baums, I.B., Stevens, J.R., Sanchez, J.A., Bastidas, C. et al. (2012). Connectivity of Caribbean coral populations: complementary insights from empirical and modelled gene flow. *Molecular Ecology* 21(5), 1143–1157. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2012.05455.x>
41. Huntington, B.E., Karnauskas, M., Babcock, E.A. and Limran, D. (2010). Untangling natural seascape variation from marine reserve effects using a landscape approach. *PLoS ONE* 5, e12327. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012327>
42. Valentine, J.F., Heck, K.L., Jr, Blackmon, D., Goecker, M.E., Christian, J., Kroutil, R.M. et al. (2008). Exploited species impacts on trophic linkages along reef-seagrass interfaces in the Florida keys. *Ecological Applications* 18(6), 1501–1515. <https://doi.org/10.1890/07-1720.1>
43. Olds, A.D., Pitt, K.A., Maxwell, P.S. and Connolly, R.M. (2012). Synergistic effects of reserves and connectivity on ecological resilience. *Journal of Applied Ecology* 49(6), 1195–1203. <https://doi.org/10.1111/jpe.12002>
44. Olds, A.D., Albert, S., Maxwell, P.S., Pitt, K.A. and Connolly, R.M. (2013). Mangrove-reef connectivity promotes the functioning of marine reserves across the western Pacific. *Global Ecology and Biogeography* 22(9), 1040–1049. <https://doi.org/10.1111/geb.12072>
45. Butchart, S.H., Clarke, M., Smith, R.J., Sykes, R.E., Scharlemann, J.P., Harfoot, M. et al. (2015). Shortfalls and solutions for meeting national and global conservation area targets. *Conservation Letters* 8(5), 329-337. <https://doi.org/10.1111/conl.12158>
46. Dudley, N., Jonas, H., Nelson, F., Parrish, J., Pyhälä, A., Stolton, S. et al. (2018). The essential role of other effective area-based conservation measures in achieving big bold conservation targets. *Global Ecology and Conservation* 15, e00424. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00424>
47. Zemp, D.C., Schleussner, C.F., Barbosa, H.M., Hirota, M., Montade, V., Sampaio, G. et al. (2017). Self-amplified Amazon forest loss due to vegetation-atmosphere feedbacks. *Nature Communications* 8, 14681. <https://doi.org/10.1038/ncomms14681>
48. Pacheco, A.A., Neves, A.C.O. and Fernandes, G.W. (2018). Uneven conservation efforts compromise Brazil to meet the Target 11 of Convention on Biological Diversity. *Perspectives in Ecology and Conservation* 16(1), 43-48. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.12.001>
49. Beier, P. and Noss, R.F. (1998). Do habitat corridors provide connectivity? *Conservation Biology* 12(6), 1241-1252. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1998.98036.x>
50. Saura, S., Bastin, L., Battistella, L., Mandrici, A. and Dubois, G. (2017). Protected areas in the world's ecoregions: How well connected are they? *Ecological Indicators* 76, 144-158. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.12.047>
51. Krosby, M., Tewksbury, J., Haddad, N.M. and Hoekstra, J. (2010). Ecological connectivity for a changing climate. *Conservation Biology* 24(6), 1686-1689. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01585.x>
52. Pulsford, I., Fitzsimons, J. and Wescott, G. (eds.) (2013). *Linking Australia's landscapes: Lessons and opportunities from large-scale conservation networks*. CSIRO Publishing. <https://doi.org/10.1111/1745-5871.12060>
53. Correa Ayram, C.A., Mendoza, M.E., Etter, A. and Salicrup, D.R.P. (2016). Habitat connectivity in biodiversity conservation: a review of recent studies and applications. *Progress in Physical Geography* 40(1), 7-37. <https://doi.org/10.1177%2F0309133315598713>
54. Worboys, G., Francis, W.L. and Lockwood, M. (eds.) (2010). *Connectivity conservation management: a global guide (with particular reference to mountain connectivity conservation)*. London: Earthscan
55. Watson, J.E.M., Venter, O., Lee, J., Jones, K.R., Robinson, J.G., Possingham, H.P. et al. (2018) Protect the last of the wild, 31 October. <https://www.nature.com/articles/d41586-018-07183-6>

Список использованных графических материалов



56. Didham, R. (2010). The Ecological Consequences of Habitat Fragmentation. Wiley Online Library. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0021904>

57. Clevenger, A. P. and Wierzchowski, J. (2006) Maintaining and restoring connectivity in landscapes fragmented by roads. In Crooks, K. R. and Sanjayan, M. (eds), *Connectivity Conservation*. Cambridge: Cambridge University Press, 502–535. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511754821.023>

58. Nuñez, T., Lawler, J., Mcrae, B., Pierce, J., Krosby, M., Kavanagh, D., Singleton, P. et al (2013). Connectivity Planning to Address Climate Change. *Conservation Biology*, 27(2), 407-416. <https://doi.org/10.1111/cobi.12014>

59. Proctor, S., McClean, C. and Hill, J. (2011). Protected areas of Borneo fail to protect forest landscapes with high habitat connectivity. *Biodiversity and Conservation*, 20(12), 2693-2704. <https://doi.org/10.1007/s10531-011-0099-8>

60. Bergsten, A., Bodin, Ö. and Ecke, F. (2013). Protected areas in a landscape dominated by logging – A connectivity analysis that integrates varying protection levels with competition–colonization tradeoffs. *Biological Conservation*, 160, 279-288. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.01.016>

61. Laurance, W. and Useche, D. (2009). Environmental Synergisms and Extinctions of Tropical Species. *Conservation Biology*, 23(6), 1427-1437. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01336.x>

62. Morris, R. (2010). Anthropogenic impacts on tropical forest biodiversity: a network structure and ecosystem functioning perspective. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1558), 3709-3718. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0273>

63. Trombulak, S. and Frissell, C. (2000). Review of Ecological Effects of Roads on Terrestrial and Aquatic Communities. *Conservation Biology*, 14(1), 18-30. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.99084.x>

64. Chen, H.L. and Koprowski, J.L. (2016). Differential effects of roads and traffic on space use and movements of native forest-dependent and introduced edge-tolerant species. *PLoS ONE*, 11(1), e0148121. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148121>

65. Shepard, D.B., Kuhn, A.R., Dreslik, M.J. and Phillips, C.A. (2008). Roads as barriers to animal movement in fragmented landscapes. *Animal Conservation*, 11, 288-296. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2008.00183.x>

66. Gurrutxaga, M. and Saura, S. (2013). Prioritizing highway defragmentation locations for restoring landscape connectivity. *Environmental Conservation*, 41(02), 157-164. <https://doi.org/10.1017/S0376892913000325>

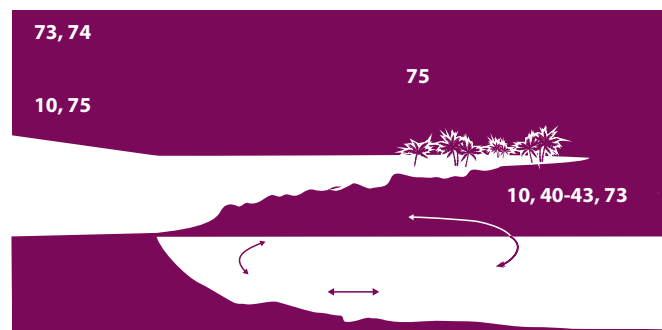
67. Ceballos, G., Ehrlich, P. and Dirzo, R. (2017). Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(30), E6089-E6096. <https://doi.org/10.1073/pnas.1704949114>

68. Tewksbury, J., Levey, D., Haddad, N., Sargent, S., Orrock, J., Weldon, A., Danielson, B., et al (2002). Corridors affect plants, animals, and their interactions in fragmented landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(20), 12923-12926. <https://doi.org/10.1073/pnas.202242699>

69. Brudvig, L.A., Damschen, E.I., Tewksbury, J.J., Haddad, N.M. and Levey, D.J. (2009). Landscape connectivity promotes plant biodiversity spillover into non-target habitats. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(23), 9328-9332. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0809658106

70. Martensen, A.C., Ribeiro, M.C., Banks-Leite, C., Prado, P.I. and Metzger, J.P. (2012). Associations of forest cover, fragment area, and connectivity with neotropical understory bird species richness and abundance. *Conservation Biology*, 26(6), 1100-1111. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2012.01940.x>

71. Fox, A.D., Henry, L-A., Corne, D.W. and Roberts, J.M. (2016). Sensitivity of marine protected area network connectivity to atmospheric variability. *Royal Society Open Science*, 3: 160494. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.160494>
72. Fang, X., Hou, X., Li, X., Hou, W., Nakaoka, M. and Yu, X. (2018). Ecological connectivity between land and sea: a review. *Ecological Research*, 33, 51–61. <https://doi.org/10.1007/s11284-017-1549-x>



73. Grober-Dunsmore, R., Pittman, S.J., Caldwell, C., Kendall, M.S. and Frazer, T.K. (2009). A landscape ecology approach for the study of ecological connectivity across tropical marine seascapes. In: Nagelkerken, I. (ed), *Ecological connectivity among tropical coastal ecosystems*. Springer, Dordrecht, 493–530. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2406-0_14
74. Earp, H.S., Prinz, N., Cziesielski, M.J. and Andskog, M. (2018). For a world without boundaries: Connectivity between tropical ecosystems in times of change. In S. Jungblut, V. Liebich and M. Bode (eds.), *YOUMARES 8 – Oceans Across Boundaries: Learning from each other*. Proceedings of the 2017 conference for YOUnG MARine REsearchers in Kiel, Germany. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93284-2_9
75. Boström, C., Pittman, S.J., Simenstad, C. and Kneib, R.T. (2011). Seascape ecology of coastal biogenic habitats: advances, gaps, and challenges. *Marine Ecology Progress Series*, 427, 191-217. <https://doi.org/10.3354/meps09051>