

УДК 574.1(477.75)

Пространственное распределение показателей биологического разнообразия и типов местообитаний в разрезе структурных элементов экологической сети Крымского полуострова

Горбунов Р. В.¹, Смирнов В. О.², Снегур А. В.², Горбунова Т. Ю.¹,
Приймак А. С.¹, Дрыгваль А. В.¹

¹Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского Российской академии наук
Севастополь, Россия

karadag_station@mail.ru, gorbunovatyu@gmail.com, I23klinova321@gmail.com, drygval95@mail.ru

²Научно-образовательный центр ноосферологии и устойчивого ноосферного развития

Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского

Симферополь, Республика Крым, Россия

svo.84@mail.ru, sneguraw@gmail.com

Для территории Крымского полуострова на региональном уровне (операционно-территориальные единицы – элементы экологической сети) выявлены закономерности пространственной дифференциации величин биологического разнообразия и типов местоположений (местообитаний, пространственные характеристики которых обусловлены особенностями геоморфометрии территории конкретного структурного элемента экосети), получены их картографические модели. Выполнен анализ пространственной дифференциации показателей взаимосвязи разнообразия местоположений и биологического разнообразия в разрезе структурных элементов экосети Крымского полуострова. Используя две категории коэффициентов пространственной взаимосвязи (коэффициент линейной регрессии и коэффициент ранговой корреляции Спирмена), выявлена тесная и устойчивая пространственная взаимосвязь между распределением величины биологического разнообразия и величины разнообразия базовых местоположений в пределах структурных элементов экологической сети, что подтверждает гипотезу о том, что разнообразие местоположений главным образом определяет разнообразие местообитания, что в свою очередь в условиях территории Крымского полуострова определяет разнообразие экологических условий экосистем и, как следствие, определяет уровень биологического разнообразия на региональном пространственном уровне дифференциации экосистем.

Ключевые слова: биологическое разнообразие, типы местообитаний, базовые местоположения, экологическая сеть, Крымский полуостров.

ВВЕДЕНИЕ

Биоразнообразие является одной из наиболее показательных характеристик экосистемы, исходя из которой можно сделать ряд выводов об условиях существования в ней организмов. В настоящее время сохранение и изучение биоразнообразия играет особую роль, так как выступает решающим фактором на пути достижения устойчивого развития территории как на внутри-, так и на межгосударственном уровне (Ojea et al., 2010). Само понятие «биоразнообразие» не ограничивается определением количества видов на территории и, кроме этого, включает в себя разнообразие мест обитания и генетическое разнообразие (Огуреева, Котова, 2002).

С развитием компьютерных технологий приобретает актуальность картографирование биоразнообразия посредством использования ГИС-технологий и других программ. В мировой практике использование ГИС-технологий значительно упрощает решение данной задачи и позволяет охватить территорию, большую по площади (Fook et al., 2007, Nagendra, Rocchini, 2008; Ferrier et al., 2017). ГИС-технологии дают возможность изучать биоразнообразие как флоры (Hernandez-Stefanoni, Ponce-Hernandez, 2004; Guo et al., 2017), так и фауны (Cardillo et al., 1999; Baltensperger, Huettmann, 2015) экосистем. Причём в качестве объектов исследования выступают как наземные (Carlson et al., 2007), так и морские (Peterson, Herkül,

2019) экосистемы разного масштаба. Описание использования ГИС-технологий для картографирования биоразнообразия даётся в работах (Черненко и др., 2012, Prasad et al., 2014).

В качестве источников данных для формирования ГИС служат:

1) картографические материалы (топографические и общегеографические карты, карты административно-территориального деления, кадастровые планы и др.);

2) данные дистанционного зондирования (ДДЗ) Земли – все шире используются для формирования баз данных ГИС. К ДДЗ, прежде всего, относят материалы, получаемые с космических носителей.

В зависимости от выбора единицы картографирования, можно выделить два подхода:

1) в качестве единицы картографирования выступает отдельный вид;

2) в качестве единицы картографирования выступает структурная единица ландшафта: фация, урочище и так далее (Огуреева, Котова, 2002). Таким же образом можно классифицировать географические пространственные данные:

1) геометрические (размеры и местоположения);

2) атрибутивные (качественные и количественные);

3) временные (Розенберг и др., 2012).

Исследования многих авторов посвящены картографированию биоразнообразия и имеют успешный опыт составления графических материалов с использованием ГИС-технологий. Например, картографирование ландшафтного разнообразия территории Белоруссии представлено в работе (Соколов, 2016), составление карт биоразнообразия территории Крымского полуострова можно отметить у авторов работ (Казанджян и др., 2017; Королева и др., 2019). Регистрация и моделирование объектов и процессов биоразнообразия представлено в работе (Бешенцев и др., 2017) на примере территории объекта всемирного природного наследия «Озеро Байкал».

На территории Крымского полуострова систематические исследования биологического и ландшафтного разнообразия начаты в 1997 году после проведения в Гурзуфе Международного семинара по оценке необходимости поддержки биологического разнообразия Крыма. Результатом многолетней работы крымских учёных стал целый ряд научных публикаций (Биоразнообразие Крыма..., 1997; Биологическое и ландшафтное разнообразие..., 1999; Вопросы развития Крыма..., 1999; Выработка приоритетов..., 1999; На пути к национальному парку..., 2000; Артов и др., 2002; Перспективы создания единой..., 2002; Разработка схемы региональной..., 2008; Природа Восточного Крыма..., 2013), содержащих информацию о биологическом и ландшафтном разнообразии Крыма, проектировании экологической сети, биологическом и ландшафтном разнообразии её элементов. Кроме того, раз в два года проводятся научные конференции под общим названием «Заповедники Крыма», которые подводят итоги работы по изучению биологического и ландшафтного разнообразия Крыма (<http://zapovedniki-crimea.cfuv.ru/archiv.html>).

Исследования биоразнообразия обеспечивают выявление закономерностей формирования богатства и разнообразия биоты и сообществ, определяемых процессами и факторами, действующими в границах морфологических частей ландшафтов (Лебедева и др., 2002). Крымский полуостров является одним из 8 европейских регионов с высоким уровнем биологического разнообразия (Выработка приоритетов..., 1999). Однако оценки биоразнообразия на его территории проводились только посредством сеточного картографирования (Королева и др., 2018; Попов и др., 2008). Вопросы же комплексного анализа пространственного распределения показателей биологического разнообразия, их связи с разнообразием местоположений в пределах элементов экологической сети в настоящее время являются неразработанными. Нахождение связи между разнообразием местообитаний (местоположений) и биологическим разнообразием территории открывает возможности изучения изменения биологического разнообразия в условиях изменения среды, а также оценки потенциального или восстановленного биологического разнообразия на мало изученных или антропогенно преобразованных территориях.

В основу выполнения данной работы положено изучение показателей биоразнообразия с использованием различных пространственных данных. Местоположение принималось за элементарную геометрическую единицу ландшафта, через которую определённым образом проходят потоки вещества и энергии (Горбунов и др., 2019).

Целью работы явилось выявление пространственной взаимосвязи между величиной биоразнообразия и разнообразием местообитаний в Крыму на региональном уровне.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В основу исследования положена существующая схема экологической сети Крыма (Разработка схемы региональной..., 2008). Схема экологической сети была векторизована и добавлена в картографический проект в виде отдельного слоя с соответствующей картографической привязкой (WGS_1984_UTM_Zone_36N), что позволило проводить анализ совместно с картографической моделью базовых местоположений, полученной в предыдущей работе авторов (Горбунов и др., 2019). Для каждого из структурных элементов экологической сети на основе данных, представленных в (Биоразнообразии Крыма..., 1997; Биологическое и ландшафтное разнообразие..., 1999; Вопросы развития Крыма..., 1999; Выработка приоритетов..., 1999; На пути к национальному парку..., 2000; Артов и др., 2002; Перспективы создания единой..., 2002; Боков и др., 2005; Разработка схемы региональной..., 2008; Природа Восточного Крыма..., 2013; <http://zapovedniki-crimea.cfuv.ru/archiv.html>) была составлена соответствующая база данных относительно показателей биоразнообразия и пространственных параметров структурных элементов. Данные приводятся в разрезе числа видов высших сосудистых растений, числа эндемиков и числа редких видов. Это обусловлено тем, что высшие сосудистые растения формируют основу растительного покрова, как компонента ландшафта, который, в свою очередь, тесно связан в своем пространственном рисунке с геотопологическими параметрами территории.

На основе представленных параметров возможен расчет различных индексов, характеризующих разнообразие базовых местоположений в пределах контуров операционно-территориальных единиц. В работе выбраны показатели, представленные в таблице 1.

С целью определения степени пространственной взаимосвязи биологического разнообразия и типов местообитаний (местоположений) использованы две категории коэффициентов пространственной взаимосвязи:

- коэффициент линейной регрессии, как базовый, первичный и наиболее простой подход к определению взаимосвязи между параметрами;
- коэффициент ранговой корреляции Спирмена, как специализированный коэффициент для нахождения именно пространственной взаимосвязи количественных параметров.

С технической точки зрения методика определения данных коэффициентов заключается в работе с базой данных при помощи статистических инструментов ArcGIS и MS Excel. Данные программные продукты позволяют реализовать в автоматическом режиме расчет коэффициентов на основании общей сводной базы данных параметров с оценкой достоверности получаемых зависимостей.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Пространственное распределение показателей биологического разнообразия в разрезе структурных элементов экологической сети Крымского полуострова на основании значений плотности видов, плотности эндемиков и редких видов, показателей индексов видового богатства представлено на рисунке 1.

Максимальные значения плотности видов высших сосудистых растений присущи Юго-западному приморскому экоцентру. Общий диапазон колебания величины составляет от 0,37 до 15. Это достаточно большой диапазон, говорящий о высокой степени дифференциации биологического разнообразия региональных экосистем. Высокие значения плотности видов

Таблица 1

Показатели разнообразия базовых местоположений в пределах операционно-территориальных единиц

№	Показатель	Формула для расчета	Состав формулы
1	Разнообразие на единицу площади (плотность видов на 1 км ²)	N / S	N – число видов в пределах контура операционно-территориальной единицы. S – площадь каждого контура операционно-территориальной единицы
2	Общее разнообразие видов	S/N	
3	Индекс видового богатства Маргалефа	$D_{Mg} = \frac{S-1}{\ln N}$	
4	Индекс видового богатства Менхиника	$D_{Mn} = \frac{S}{\sqrt{N}}$	
5	Разнообразие на единицу площади (плотность видов на 1 км ²), занесенных в охранные списки	N / S	N – число редких видов в пределах контура операционно-территориальной единицы. S – площадь каждого контура операционно-территориальной единицы
6	Разнообразие на единицу площади (плотность видов на 1 км ²), эндемичные виды	N / S	N – число эндемичных видов в пределах контура операционно-территориальной единицы. S – площадь каждого контура операционно-территориальной единицы

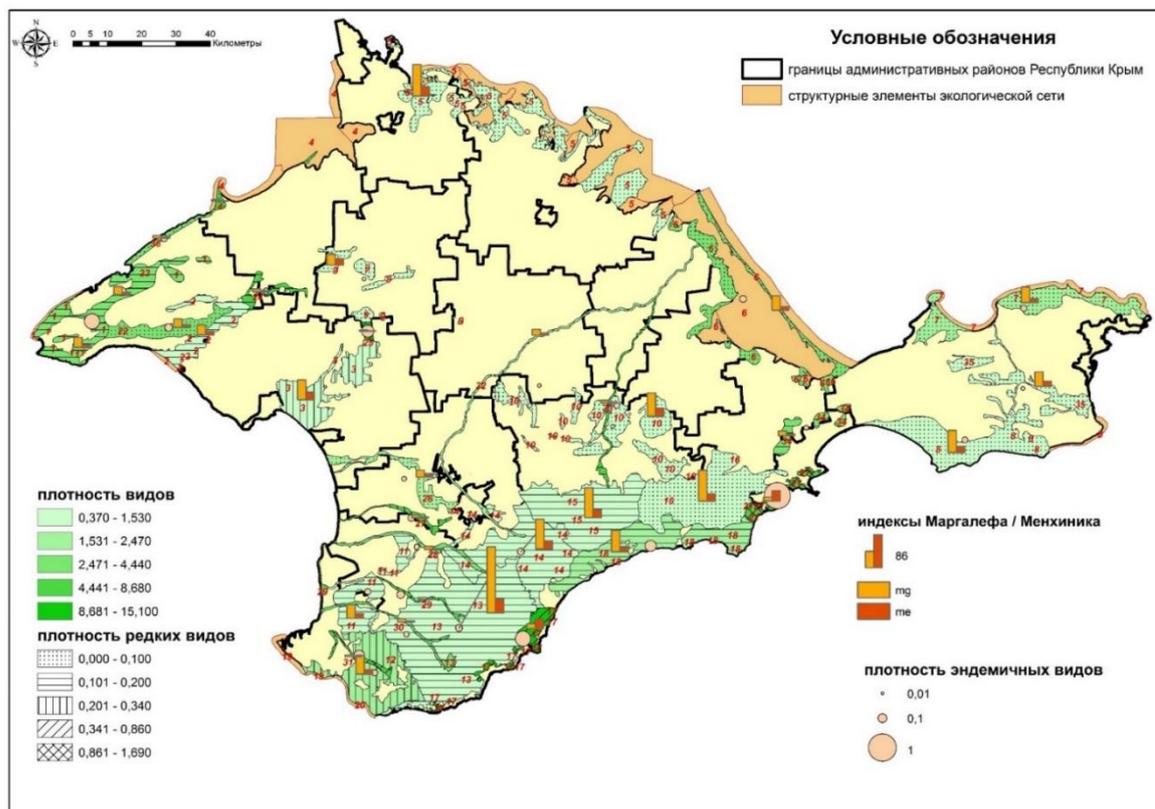


Рис. 1. Биологическое разнообразие элементов экологической сети Крымского полуострова

имеют структурные элементы Тарханкутского экоцентра, Карадагского экоцентра в диапазоне от 4,4 до 8,6 видов на 1 км². Близкие к ним значения имеют экокоридоры вдоль рек северо-западного макросклона – Бельбекский, Качинский, Альминский. Рассматриваемая величина здесь может достигать 7,1.

Преимущественная часть Горного Крыма в пределах Северного макросклона и Внутренней и Внешней гряды Крымских гор на территории Бахчисарайско-Ялтинского, Центрально-Крымского и Восточно-Крымского экоцентров имеет относительно небольшую величину показателя в пределах 1,5–1,7. Чуть большие значения имеет Западно-Крымский (Байдарский) горный экоцентр. Диапазон величины составляет 2,6 в среднем по структурным элементам.

Среди структурных элементов экосети Равнинного Крыма и Керченского полуострова выделяется Казантипско-Караларский экоцентр и Восточно-Сивашский экоцентр со значениями плотности видов в пределах 2,4–3,0 видов на 1 км². Остальные структурные элементы экологической сети в данном регионе имеют меньшие значения. Это касается Опушко-Чаудинского экоцентра, Центрально-Присивашского экоцентра, Первомайско-Донузласвского экоцентра, Сасыкского экоцентра и соответствующих экокоридоров. Здесь значения наиболее низкие при рассмотрении плотности видов. Величины колеблются в диапазоне 0,7–1,5. Отметим выделяющийся Центрально-Керченский экокоридор с несколько большими значениями.

Пространственные различия плотности эндемичных и редких видов менее ощутимы, как и диапазон колебания величины, что обусловлено, в целом, меньшим числом рассматриваемых показателей и видов, как таковых.

Величина колебания плотности редких видов по всем охраняемым спискам составляет 0,1–1,6 вида на км², а плотность эндемичных видов едва достигает 1. Максимальное значение показателей присуще для Карадагского экоцентра, далее идет Юго-Западный приморский экоцентр (плотность редких видов здесь чуть выше 1, а плотность эндемиков составляет около 1 на км²).

Юго-восточный приморский и Байдарский экоцентры имеют значения в диапазоне 0,2–0,3 по редким видам и 0,1 по эндемичным видам. Подобное распределение представлено в пределах Бельбекского, Качинского и Альминского экокоридоров, Тарханкутского экоцентра.

Остальные структурные элементы экосети по рассматриваемым показателям имеют низкие величины.

Далее рассмотрим наиболее интересные и значимые индексы богатства видов, специально разработанные для характеристики биологического разнообразия и его пространственного характера, призванные подчеркнуть данные различия.

Характер построения индексов таков, что их формулы позволяют несколько снизить зависимость значений от непосредственной площади структурных элементов и сгладить различия за счет неравномерности площадей операционно-территориальных единиц. Данная диспропорция присуща и элементам экологической сети Крыма. Так, максимальные площади имеют территории Бахчисарайско-Ялтинского, Центрально-Крымского и Восточно-Крымского экоцентров, по сути охватывающих практически весь Горный Крым.

Особенно четко это видно при расчете индекса Маргалефа (mg), для которого в пределах рассматриваемых территорий присущи максимальные значения. Далее пространственные различия индекса несколько снижаются и следующую позицию по величине индекса занимают, что вполне логично, экоцентры в пределах Южного макросклона Крымских гор. Далее следуют структурные элементы экосети Тарханкутского полуострова, где значения индекса Маргалефа (mg) примерно в 5 раз меньше. Остальные структурные элементы экосети имеют крайне низкие значения индекса, что обусловлено меньшими площадями и меньшим числом видов.

В целом структура индекса, на наш взгляд, не в полной мере отображает распределение величины биологического разнообразия на региональном уровне, акцентируя внимание на крупных структурных элементах.

По своим пространственным различиям своеобразное промежуточное значение имеет индекс Менхиника, занимающий промежуточное положение между простой плотностью видов и индексом Маргалефа, делая акцент на площадь операционно-территориальных единиц. На наш взгляд, данный индекс видового богатства является наиболее компромиссным в условия использования структурных элементов экосети Крыма для оценки биологического разнообразия.

Структура индекса такова, что он позволяет несколько снизить диспропорции при оценке биологического разнообразия между структурными элементами экологической сети Северного и Южного макросклонов Крымских гор. Максимальные значения индекса при этом присущи Западно-южнобережному экоцентру и Карадагскому экоцентру, а далее с небольшим разрывом от них следуют экоцентры Северного макросклона Крымских гор. Чуть меньшие значения имеет Байдарский экоцентр. Отметим высокие значения и в Центрально-Присивашском экоцентре. Расчет индекса показывает снижение величины биологического разнообразия в экокоридорах в долинах рек, что, в принципе, подтверждается и логическими заключениями.

Средние значения индекса богатства видов свойственны для Белогорского и Сасыкского экоцентров, а также остальных структурных элементов данного района. Подобные значения с небольшим уменьшением наблюдаются в Казантипско-Караларском экоцентре и Осовинской степи. Минимальные значения индекса Менхиника характерны для Тарханкутского полуострова.

Приведенные индексы свидетельствуют о том, что в зависимости от выбора подхода к оценке биологического разнообразия на региональном уровне за счет специфики формализованного выражения данных индексов, пространственные диспропорции биологического разнообразия могут быть оценены по-разному. И при разных индексах и показателях один и тот же структурный элемент экосети получает разную позицию при оценке, причем часто она может быть диаметрально противоположной.

На наш взгляд, наиболее объективным и простым для понимания является простая плотность видов, а для оценки соотношения площади и разнообразия видов приемлемым является индекс Менхиника. В общем, проведенный анализ позволяет выявить пространственные различия распределения величины биологического разнообразия на региональном уровне, пространственные различия при этом явные и четко выраженные, как в фактическом, так и пространственном характере. Анализ позволяет выявить регионы с максимальным и минимальным биологическим разнообразием, промежуточные позиции регионов.

Следующим этапом анализа разнообразия региональных экосистем по показателю типов местообитаний выступает рассмотрение разнообразия местообитаний (базовых местоположений) в пределах структурных элементов экологической сети. Соответствующая карта-схема приведена на рисунке 2. На рисунке 3 приведена общая карта-схема пространственной дифференциации базовых местоположений в разрезе структурных элементов экологической сети Крыма.

Представленные детализированные схемы позволяют выявить неоднородность структуры базовых геотопов и наглядно демонстрируют различия в данной структуре в каждом элементе экосети. Даже визуально выявляются доминирующие позиции базовых геотопов, а также идентифицируются различия каждого экоцентра и экокоридора. Кроме того, явно идентифицируется формирование базовых местоположений из элементарных местоположений (ячеек) с однородными значениями геотопологических параметров. Четко идентифицируется контур и площадь большинства базовых местоположений.

Общее число базовых местоположений в пределах структурных элементов экосети составляет 5440040 единиц элементарных местоположений (ячеек), 1048576 базовых местоположений, 235 уникальных типов базовых местоположений, средняя площадь базового местоположения составляет 1278 м² (0,12 га), средний периметр контура – 138 м, максимальный размер базового местоположения 701938 м² (70,1 га), минимальный – 900 м²

Пространственное распределение показателей биологического разнообразия и типов местообитаний в разрезе структурных элементов экологической сети Крымского полуострова

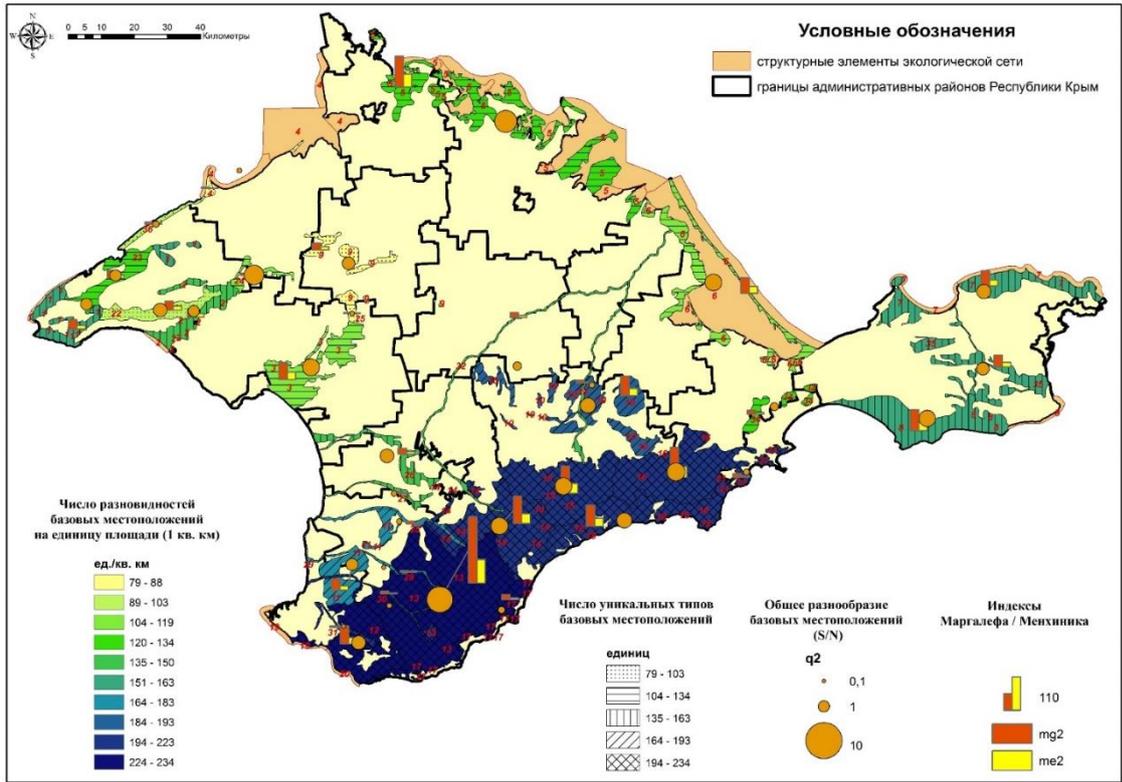


Рис. 2. Разнообразие базовых местообитаний в пределах структурных элементов экологической сети

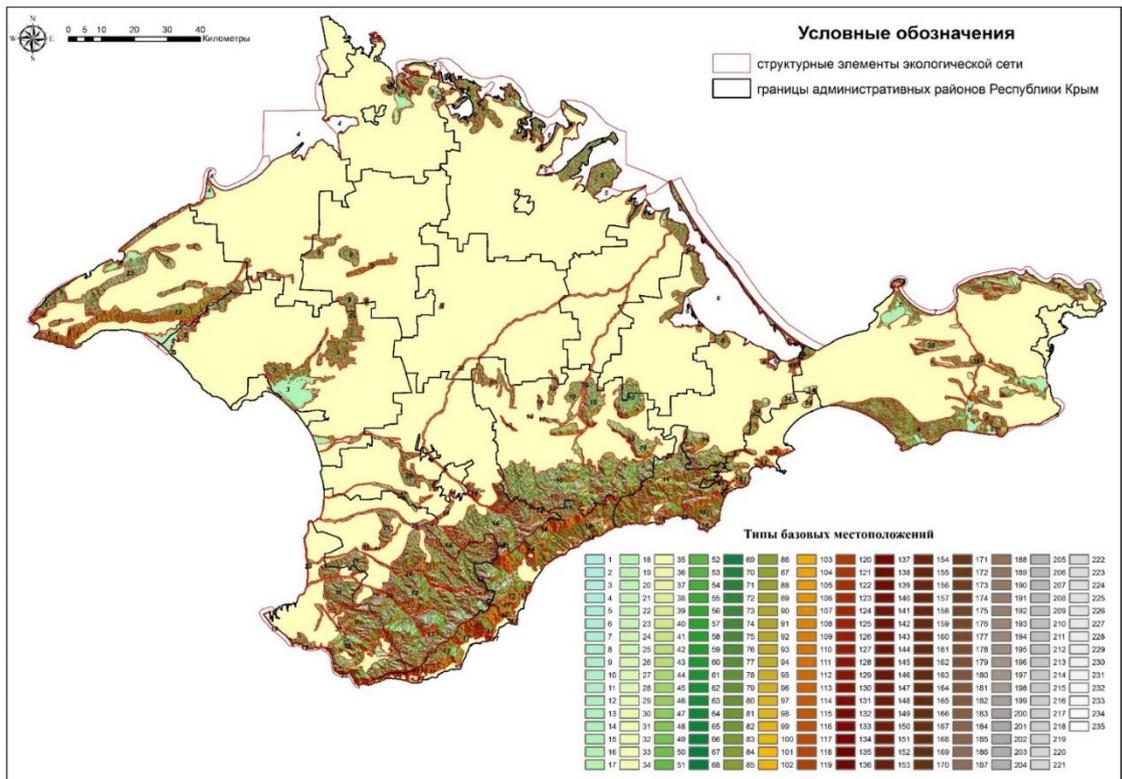


Рис. 3. Типы базовых местообитаний в разрезе структурных элементов экологической сети

(0,09 га), преимущественное число местоположений имеет площадь в диапазоне 1200–1800 м² (0,12–1,8 га).

Преобладающее по площади местоположение имеет порядковый номер 14 (579760 элементарных местоположений) в соответствии с легендой карта-схемы базовых местоположений, далее следует номер 116 (193058 элементарных местоположений), 164 (185080 элементарных местоположений), 68 (160035 элементарных местоположений), 118 (149142 элементарных местоположений), 70 (132290 элементарных местоположений), 188 (124688 элементарных местоположений).

Всего в пределах элементов экологической сети представлены все 235 типов базовых местоположений. Наиболее редким является местоположение 19, представленное всего лишь 1 контуром, 18 – 2 контура, 17 – 20 контуров, 232 – 39 контуров.

Распределение базовых местоположений со средним числом элементарных местоположений и площадями достаточно разнообразно. Так, например, местоположение под номером 90 имеет 1125 контуров, номер 227 – 10453 контура, номер 29 – 33821 контур.

Отметим, что пространственные характеристики местоположений достаточно разнообразны и обусловлены особенностями рельефа территории конкретного структурного элемента экосети, они могут быть вытянуты вдоль склона, быть приурочены к склонам балок, вершин, иметь неправильную и правильную многоугольную форму.

Полученные слои показателей биологического разнообразия и разнообразия типов местообитаний (местоположений) в разрезе структурных элементов экологической сети позволяют выполнить оценку их пространственной взаимосвязи. Результаты расчетов отображены в таблице 2. Критерий Спирмена для каждой пары показателей и для каждого коэффициента принят на уровне 0,01.

Коэффициент линейной корреляции для пары «число разновидностей базовых местоположений на единицу площади (1 км²) / разнообразие видов на единицу площади (уточненная) (плотность видов на 1 км²)» показывает высокую пространственную взаимосвязь. Величина коэффициента в пределах 0,676 в условиях опыта поиска подобных зависимостей для территории Крыма уже само по себе достаточно велика.

Расчет линейной корреляции для специализированных индексов при паре «индекс видового богатства Маргалефа / индекс Маргалефа для базовых местоположений» показывает еще большее статистически значимое значение коэффициента в 0,792 единицы, что свидетельствует об углублении пространственной взаимосвязи при использовании углубленных подходов к определению величины разнообразия экосистем. Это подтверждает и расчет пары «индекс видового богатства Менхиника / индекс Менхиника для базовых местоположений», когда коэффициент корреляции имеет схожее высокое значение в 0,767 единиц.

Углубление данных показателей для краснокнижных и эндемичных видов не показало наличие высоких значений пространственной взаимосвязи, а в некоторых случаях и вообще ее отсутствие. Так, расчет коэффициента линейной корреляции для пары «число разновидностей базовых местоположений на единицу площади (1 км²) / разнообразие на единицу площади (плотность видов на 1 км²), занесенных в охранные списки» имеет значение в 0,491 единицу, что говорит о наличии определенной связи при общей более сложной системе факторов формирования пространственного распределения рассматриваемых величин.

Расчет пары «число разновидностей базовых местоположений на единицу площади (1 км²) / разнообразие на единицу площади (плотность видов на 1 км²), эндемичные виды» – показывает отсутствие пространственной взаимосвязи с коэффициентом корреляции на уровне 0,174.

Поиск корреляционных зависимостей линейным методом для смешанных пар показателей также дает высокие результаты при использовании величины общего разнообразия местоположений. Так для пар «общее разнообразие базовых местоположений (S/N) / индекс видового богатства Маргалефа» и «общее разнообразие базовых местоположений (S/N) / Индекс видового богатства Менхиника» величины коэффициента

линейной корреляции составили 0,731 и 0,750, что также составляет достаточно высокую величины. Кроме того, величины данных коэффициентов показывают, что индекс видового богатства Менхиника и индекс видового богатства Маргалефа практически идентичны с точки зрения оценки точности определения величины биологического разнообразия видов и оба могут быть равнозначно использованы в данном спектре исследований.

Таблица 2

Показатели пространственной взаимосвязи разнообразия местоположений и биологического разнообразия в разрезе структурных элементов экосети Республики Крым

№	Пары показателей	Коэффициенты пространственной взаимосвязи	
		Коэффициент линейной регрессии	Коэффициент ранговой корреляции
1	Число разновидностей базовых местоположений на единицу площади (1 км ²) / Разнообразие видов на единицу площади (уточненная) (плотность видов на 1 км ²)	0,676	0,827
2	Индекс видового богатства Маргалефа / Индекс Маргалефа для базовых местоположений	0,792	0,859
3	Индекс видового богатства Менхиника / Индекс Менхиника для базовых местоположений	0,767	0,813
4	Число разновидностей базовых местоположений на единицу площади (1 км ²) / Разнообразие на единицу площади (плотность видов на 1 км ²), занесенных в охранные списки	0,491	0,532
5	Число разновидностей базовых местоположений на единицу площади (1 км ²) / Разнообразие на единицу площади (плотность видов на 1 км ² , эндемичные виды	0,174	0,161
6	Общее разнообразие базовых местоположений (S/N) / Индекс видового богатства Маргалефа	0,731	0,808
7	Общее разнообразие базовых местоположений (S/N) / Индекс видового богатства Менхиника	0,750	0,784

Следующим шагом выступает определение величин рангового коэффициента корреляции для рассматриваемых пар. Ожидаемо здесь значения корреляции выше, так как по своей механике ранговый коэффициент корреляции призван подчеркнуть более контрастные пространственные связи.

Данный коэффициент в географии и ландшафтоведении часто используется для поиска неявных пространственных зависимостей, когда коэффициент линейной корреляции показывает отсутствие или незначительную пространственную взаимосвязь. Из опыта исследований величина ранговой корреляции на уровне 0,6–0,7 единиц – это уже большая величина и пространственная связь является статистически значимой и явной. В нашем случае величины существенно выше. Так, максимальное значение рангового коэффициента было получено при сравнении индекса Маргалефа, как меры разнообразия биоты и местообитания. Пара «индекс видового богатства Маргалефа / индекс Маргалефа для базовых местоположений» имеет величину параметрической связи в 0,859. Это максимальное и крайне высокое значение коэффициента. За весь опыт работы авторов с данным коэффициентом при поиске взаимосвязей пространственных параметров экосистем Крыма при изучении

ландшафтной, геофизической, климатической структур данная величина в подобном значении получена впервые.

Не меньшее значение имеет коэффициент ранговой корреляции при работе с базовыми индексами разнообразия. Пара «число разновидностей базовых местоположений на единицу площади (1 км²) /разнообразие видов на единицу площади (уточненная) (плотность видов на 1 км²)» имеет параметрическую взаимосвязь на уровне 0,827. Чуть меньшие, однако статистически значимые и также крайне высокие значения имеет и пространственная взаимосвязь биологического разнообразия и разнообразия местообитаний при использовании индекса Менхиника. Здесь коэффициент для пары «индекс видового богатства Менхиника / индекс Менхиника для базовых местоположений» составляет 0,813.

Как в случае и с линейной регрессией расчет показателя полихорической параметрической взаимосвязи при использовании коэффициента ранговой корреляции для видов, включенных в охранные списки, и эндемичных видов в пространственной взаимосвязи с местоположениями не показал значимых результатов. Так, значения для пар «число разновидностей базовых местоположений на единицу площади (1 км²) / разнообразие на единицу площади (плотность видов на 1 км²), занесенных в охранные списки» и «число разновидностей базовых местоположений на единицу площади (1 км²) / разнообразие на единицу площади (плотность видов на 1 км²), эндемичные виды» составляют 0,532 и 0,161. В первом случае связь крайне слабая и зависимость имеется еще и от других факторов, во втором случае взаимосвязь фактически отсутствует.

Ранговый коэффициент в смешанных парах при использовании общего разнообразия базовых местоположений также показывает высокие статистические результаты, чуть выше, чем в случае линейной регрессии. Для пар «общее разнообразие базовых местоположений (S/N) / индекс видового богатства Маргалефа» и «общее разнообразие базовых местоположений (S/N) / индекс видового богатства Менхиника» величина ранговой корреляции составляет соответственно 0,808 и 0,784.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований получены картосхемы, иллюстрирующие пространственную дифференциацию биологического разнообразия и разнообразия типов местоположений (местообитаний) в пределах элементов экологической сети Крымского полуострова. Выполнен анализ пространственной дифференциации рассматриваемых показателей.

Поиск корреляционных зависимостей показал наличие тесной пространственной взаимосвязи между распределением величины биологического разнообразия и величины разнообразия базовых местоположений в пределах структурных элементов экологической сети. Взаимосвязь статистически значима, устойчива и подтверждает гипотезу исследований о взаимосвязи рассматриваемых показателей на региональном уровне. Причем величины показателей характеризуются высокими значениями, что позволяет сделать заключение о том, что разнообразие местоположений в преобладающей роли определяет разнообразие местообитания, что в свою очередь в условиях территории Крыма определяет разнообразие экологических условий экосистем и, как следствие, определяет уровень биологического разнообразия на региональном пространственном уровне дифференциации экосистем.

Благодарности. Работа выполнена по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Изучение пространственно-временной организации водных и сухопутных экосистем с целью развития системы оперативного мониторинга на основе данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий», регистрационный номер АААА-А19-119061190081-9.

Список литературы

- Артов А., Боков В., Дулицкий А., Ена А., Паршинцев А., Рудык А. Состояние сохранения биоразнообразия в Крыму. 5 лет после Гурзуфа: 1997–2002. Аналитический доклад. – Симферополь, 2002. – 66 с.
- Бешенцев А. Н., Гармаев Е. Ж., Намжилова Л. Г., Будаева Д. Г. Геоинформационное обеспечение мониторинга биоразнообразия на ООПТ (объект всемирного наследия «Озеро Байкал») // Известия АО РГО. – 2017. – № 2 (45). – С. 91–100.
- Биологическое и ландшафтное разнообразие Крыма: проблемы и перспективы. Вопросы развития Крыма. Научно-практический и дискуссионно-аналитический сборник. Вып. 11. – Симферополь: Сонат, 1999. – 180 с.
- Биоразнообразие Крыма: оценка и потребности сохранения: Материалы, представленные на международный рабочий семинар (ноябрь, 1997 г.; Гурзуф) / [Под ред. В. В. Корженевского, В. А. Бокова, А. И. Дулицкого]. – К., 1997. – 131 с.
- Боков В. А., Карпенко С. А., Лычак А. И. и др. Региональная программа формирования национальной экологической сети в Автономной Республике Крым на период до 2015 года. – Симферополь: ДиАйПи, 2005. – 72 с.
- Вопросы развития Крыма. Научно-практический дискуссионно-аналитический сборник. Выпуск 13. Материалы к Красной книге Крыма. – Симферополь: Таврия-Плюс, 1999. – 164 с.
- Выработка приоритетов: новый подход к сохранению биоразнообразия в Крыму. Результаты программы «Оценка необходимости сохранения биоразнообразия в Крыму, осуществленной при взаимодействии Программы поддержки биоразнообразия BSP». – Вашингтон, 1999. – 257 с.
- Горбунов Р. В., Смирнов В. О., Горбунова Т. Ю. Оценка разнообразия типов местообитаний (базовых местоположений) ландшафтов Крымского полуострова // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – природного заповедника РАН. – 2019. – № 2 (10). – С. 53–66.
- Казанджян И. М., Аристархова Е. А., Королева Е. Г. Картографирование охраняемого биоразнообразия Крымского полуострова с использованием ГИС-технологий // Научные исследования на заповедных территориях: Всероссийская научная конференция, посвященная 160-летию со дня рождения основателя Карадагской научной станции, доктора медицины, приват-доцента Московского университета Терентия Ивановича Вяземского, а также Году особо охраняемых природных территорий и Году экологии в России (Курортное, 09–14 октября 2017). – Симферополь, 2017. – С. 24.
- Королева Е. Г., Каширина Е. С., Голубева Е. И. Биогеографические подходы в изучении биологического и ландшафтного разнообразия Крыма // Ландшафтная география в XXI веке: Международная научная конференция «Третьи ландшафтно-экологические чтения, посвященные 100-летию со дня рождения Г. Е. Гришанкова» (Симферополь, 11-14 сентября 2018). – Симферополь, 2018. – С. 283–285.
- Королева Е. Г., Каширина Е. С., Казанджян И. М. Картографический анализ охраняемых растений и животных республики Крым // Экосистемы. – 2019. – № 17. – С. 3–14.
- Лебедева Н. В., Криволацкий Д. А., Пузаченко Ю. Г., Дьяконов К. Н., Алещенко Г. М., Смуров А. В., Максимов В. Н., Тикунов В. С., Огуреева Г. Н., Котова Т. В. География и мониторинг биоразнообразия. – М.: Издательство Научного и учебно-методического центра, 2002. – 432 с.
- Международная научно-практическая конференция «Заповедники Крыма: биологическое и ландшафтное разнообразие, охрана и управление». – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zapovednikicrimea.cfuv.ru/архив.html>. Дата обращения: 12.08. 2019.
- На пути к национальному парку в Крыму / [Под ред. В. А. Бокова, В. Г. Ены, А. Н. Рудыка]. – Симферополь: Таврия Плюс, 2000. – 80 с.
- Огуреева Г. Н., Котова Т. В. Картографирование биоразнообразия // География и мониторинг биоразнообразия. – М.: Издательство Научного и учебно-методического центра, 2002. – Раздел IV. – С. 371–410.
- Перспективы создания единой природоохранной сети Крыма. – Симферополь: Крымчпедгиз, 2002. – 192 с.
- Попов М. А., Кукуль Н. Н., Станкевич С. А., Козлова А. О., Шелестов А. Ю., Корбаков М. Б., Кравченко А. М. Картирование биоразнообразия причерноморского региона Украины с использованием дистанционных данных, реализованное в форме автоматически обновляемого Web-сервиса // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Серия: география. – 2008. – Т. 21 (60). – С. 120–126;
- Природа Восточного Крыма. Оценка биоразнообразия и разработка проекта локальной экологической сети / [Отв. ред., д.б.н. С.П. Иванов]. – К., 2013. – 272 с.
- Разработка схемы региональной экологической сети Автономной Республики Крым. – Симферополь: Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, 2008. – 321 с.
- Розенберг Г. Н., Саксонов Р. С., Кузнецова Р. С., Сенатор С. А. Космический мониторинг в ландшафтно-экологических исследованиях // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – Том 14, № 1. – С. 9–14.
- Соколов А. С. Картографический анализ региональных особенностей ландшафтного разнообразия Белоруссии // Псковский региональный журнал «Природа и экология». – 2016. – № 4 (28). – С. 59–70.
- Черненко Т. В., Пузаченко М. Ю., Морозова О. В., Огуреева Г. Н., Королева Е. Г., Кадетов Н. Г. Подходы к оценке пространственной вариабельности Восточноевропейских бореальных лесов на основе наземных и дистанционных данных // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – Том 14, № 1. – С. 1652–1655.

Baltensperger A. P., Huettmann F. Predictive spatial niche and biodiversity hotspot models for small mammal communities in Alaska: applying machine-learning to conservation planning // *Landscape Ecology*. – 2015. – Vol. 30, Iss. 4. – P. 681–697.

Cardillo M., Macdonald D. W., Rushton S. P. Predicting mammal species richness and distributions: testing the effectiveness of satellite-derived land cover data // *Landscape Ecology*. – 1999. – Vol. 14, Iss. 5. – P. 423–435.

Carlson K. M., Asner G. P., Hughes R. F. et al. Hyperspectral Remote Sensing of Canopy Biodiversity in Hawaiian Lowland Rainforests // *Ecosystems*. – 2007. – Vol. 10, Iss. 4. – P. 536–549.

Ferrier S., Jetz W., Scharlemann J. Biodiversity Modelling as Part of an Observation System // *The GEO Handbook on Biodiversity Observation Networks*. – 2017. – P. 239–257.

Fook K. D., Monteiro A. M. V., Camara G. Web Service for Cooperation in Biodiversity Modeling // *Advances in Geoinformatics*. – 2007. – P. 203–216.

Guo X., Coops N. C., Tompalski P., Nielsen S. E., Bater C. W., Stadt J. J. Regional mapping of vegetation structure for biodiversity monitoring using airborne lidar data // *Ecological informatics*. – 2017. – Vol. 38. – P. 50–61.

Luis Hernandez-Stefanoni J., Ponce-Hernandez R. Mapping the spatial distribution of plant diversity indices in a tropical forest using multi-spectral satellite image classification and field measurements // *Biodiversity and Conservation*. – 2004. – Vol. 13, Iss. 14. – P. 2599–2621.

Nagendra H., Rocchini D. High resolution satellite imagery for tropical biodiversity studies: the devil is in the detail // *Biodiversity and Conservation*. – 2008. – P. 3431–3442.

Ojea E., Nunes P. A., Loureiro M. L. Mapping Biodiversity Indicators and Assessing Biodiversity Values in Global Forests // *Environmental and Resource Economics*. – 2010. – Vol. 47, Iss. 329. – P. 329–347.

Peterson A., Herkül, K. Mapping benthic biodiversity using georeferenced environmental data and predictive modeling // *Marine Biodiversity*. – 2019. – Vol. 49, Iss. 1 – P. 131–146.

Prasad N., Semwal M., Roy P. S. Remote Sensing and GIS for Biodiversity Conservation // *Recent Advances in Lichenology*. – 2014. – P. 151–179.

Gorbunov R. V., Smirnov V. O., Snegur A. V., Gorbunova T. Yu. Priymak A. S., Drygval A. V. Spatial Distribution of Indicators of Biological Diversity and Types of Habitats by Structural Elements of the Ecological Network of the Crimean Peninsula // *Ekosistemy*. 2019. Iss. 20. P. 163–174.

For the territory of the Crimean Peninsula at the regional level (operational-territorial units are elements of the ecological network) the regularities of spatial differentiation of biological diversity and locations (habitats, which spatial characteristics are due to the territory geomorphometry peculiarities of a particular structural element of the ecological network) types are revealed, their map models are obtained. The spatial differentiation parameters analysis of a locations diversity and biological diversity interrelation in a section of the Crimean Peninsula ecological network structural elements is executed. Using two categories of spatial interrelation coefficients (linear regression coefficient and Spearman rank correlation coefficient), the close and stable spatial relationship between the distribution of the biological diversity's value and the diversity's value of base locations within the structural elements of the ecological network is revealed. It confirms the hypothesis that the diversity of locations determines the diversity of habitats in the dominant role. In turn it determines the diversity of ecotopic conditions of ecosystems in the Crimean Peninsula territory and, consequently, determines the level of biological diversity in the regional spatial level of ecosystem differentiation.

Key words: biological diversity, habitat types, base locations, ecological network, the Crimean Peninsula.

Поступила в редакцию 02.10.19