Щербина В.Г.
Оценка состояния антропогенно трансформированных экосистем по комплексным показателям

*Институт природно-технических систем
(Россия, Севастополь)*

doi: 10.18411/lj-12-2018-164

idsp: ljournal-12-2018-164

Аннотация

Рассматривается методика оценки состояния экосистем с применением детерминирующего комплекса показателей, позволяющая по совокупности признаков функциональной аккумуляции изменений в природной среде получить комплексную оценку состояния экосистем рассматриваемой территории.

Ключевые слова: природная экосистема, антропогенная нагрузка, состояние, оценка, методика.

Исследователи в области системных экологических процессов и явлений еще в середине прошлого столетия пришли к выводу о невозможности в статистически значимом пространстве выделить из числа результативных показателей какой-либо один в качестве общего, пригодного для комплексной оценки. Это связано со значительным и все возрастающим числом как объектов анализа, так и индикаторов, критериев состояния, устойчивости, функциональности и т.д. [1-6]. Отсюда возникает необходимость формирования комплексной оценки на базе системы показателей, агрегирование которых тем или иным способом позволит ранжировать результаты [3].

Предлагаемая методика оценки состояния экосистем включает четыре этапа: сбор эмпирического материала; определение частных индикаторных признаков; комплексная индикация рекреационной территории по состоянию экосистем.

1. Сбор эмпирического материала.

1.1. Определение необходимого объема выборочной совокупности. Объем выборки зависит от желаемой точности исследования (1), т. е. допустимого расхождения между средней арифметической по данному признаку выборки и средней арифметической генеральной совокупности, а также от заданной вероятности и от степени однородности совокупности [7]:

$$N = \frac{t^2 \sigma^2}{\left(t \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)^2}, \quad (1)$$

где: n – объем вариант в выборочной совокупности; t – нормированное отклонение; σ – среднее квадратическое отклонение.

Величина нормированного отклонения определяется ожидаемой вероятностью результата выборочного обследования ($t \geq 2$). Величина желаемой точности измерения (знаменатель) берется заранее. Величина среднего квадратического отклонения, заранее неизвестная, вычисляется по максимальным и минимальным значениям изучаемого признака после рекогносцировочного обследования, или по результатам аналогичных исследований с учетом охвата шести средних квадратических отклонений [7].

1.2. Комплекс полевых исследований включает закладку пробных площадей (стационарные, временные) в техногенно и рекреационно трансформированных участках.

Получение качественных и количественных характеристик конкретного местообитания зависят от особенностей методов отбора образцов и оценки численности. Методы выбираются в соответствии с образом жизни, поведением и размерами организмов [3, 6, 8].

Величина техногенной нагрузки на экосистемы (степень хронического загрязнения участка от стационарных и передвижных источников) может определяться методами лишеноиндикации в два этапа.

На первом этапе определяется антропогенный тренд рекогносцировочным полосным фронтальным обследованием для закладки трансект, с применением градиентного анализа на основе метода линейных пересечений [9]: вычисляется относительное проективное покрытие каждого вида в процентах, с учетом всех модельных деревьев и сумм длин окружностей модельных деревьев.

На втором этапе в пределах антропогенного тренда выделяются гомогенные зоны (статистически однородные) по уровню техногенной дигрессии с использованием показателя выровненности Пиеру (2) [10] и индекса полеотолерантности (3) [9]:

$$e = \frac{-\sum_{i=1}^m n_i \log \frac{n_i}{N}}{\log S}, \quad (2)$$

где N – общее количество элементов (численность особей, их биомасса и любые другие характеристики групп) в экосистеме; n_i – количество элементов данной группы; m – число групп; S – логарифм числа видов;

$$I = \sum_{i=1}^n \frac{A_i C_i}{C_n}, \quad (3)$$

где n – количество видов на площадке описания, A_i – класс полеотолерантности вида по С. М. Чесиоковой [11], C_i – покрытие каждого отдельного вида (балл), C_n – суммарное покрытие видов (балл).

Определение рекреационного воздействия базируется на Отраслевом стандарте [12] и сводится к определению стадий рекреационной дигрессии [3, 6]:

- на участках $\leq 10 \times 10$ м определение может основываться на анализе орибатидофауны, годичном приросте корневой биомассы, температурном режиме почвы, динамике разложения листового опада;
- на участках с площадью от 0,1 до 0,5 га – на анализе мезопедобионтов (энтомофауны, малакофауны), биомассы лесной подстилки, водопроницаемости почв, влажности почвы, содержании гумуса, почвенной восстановительной динамике;
- на участках от 0,5 до 1,0 га – на анализе мощности лесной подстилки, популяционной плотности подлеска и подроста, радиальном приросте эдификатора древостоя, строении проводящих корней и биомассе физиологически активной фракции, фитомассе и разнообразии травяно-кустарничкового покрова;
- на участках $\geq 100 \times 100$ м оценка может проводиться по распределению деревьев по ступеням толщины, фитоценоотическому рангу, трансформации орнитоценозов (топические группы, видовая принадлежность эдификатора, общая гнездовая плотность, видовое разнообразие).

Статистические отличия между учетными площадками и таксационными участками проверяются по методу В. С. Ипатова и Л. А. Кириковой [13].

2. Определение частных индикаторных признаков.

Основу данных составляет выбор объектов, каждый из которых описывается набором отдельных переменных. К выборочным данным из совокупности предъявляется два основных требования [14]:

- 1) в каждой выборке показателей (переменных) оцениваются значения одних и тех же переменных;
- 2) показатели, для которых измерения проведены не полностью, исключаются из выборки.

Точность и объективность оценки выборочных совокупностей обеспечивается использованием количественных параметров с вычислением их основных статистик:

среднего арифметического, дисперсии, стандартной ошибки среднего арифметического, коэффициента вариации.

2.1. Оценка доверительного интервала варьирования переменных.

Частотные ряды группируются по 5 классам, как аппроксимация принятой 5-балльной системы дигрессии природных сообществ (по ГОСТ 56-100-95 [12]). В выделенных однородных зонах по уровню антроподинамической дигрессии (техногенной, рекреационной) оцениваются диапазоны доверительных интервалов в наборах отдельных переменных по рядам соответствующих генеральных совокупностей. Установление доверительного интервала (4), при доверительной вероятности 0,95 ($P = 0,05$), в пределах которого находится средняя арифметическая генеральной совокупности (μ), проводится с помощью нормированного отклонения (t), средней арифметической ($\bar{x}$), средней ошибки средней арифметической ($S_{\bar{x}}$) [7]:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i - t_{0.5} S_{\bar{x}} \leq \mu \leq \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i + t_{0.5} S_{\bar{x}}, \text{ где } t = \frac{\bar{x} - \mu}{S_{\bar{x}}}, S_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (4)$$

2.2. Оценка сопряженной изменчивости между частными индикаторными признаками. В пределах верхней и нижней асимптот доверительного интервала (при значимости 0,05) вычисляются матрицы коэффициентов корреляции для полного набора переменных, в пределах отдельных стадий дигрессии. Полученные индикаторные признаки ранжируются по шкале уровней сопряженности [10]: 10-60% – не является индикатором; 61-75% – сомнительный индикатор; 76-90% – удовлетворительный индикатор; 91-99% – верный индикатор; 100% – абсолютный индикатор.

Проведенная оценка частных индикаторных признаков предотвращает необходимость на более поздних этапах анализа пересмотра роли отдельных показателей или не включенных в рассмотрение признаков, что потребует возвращения к одному из ранних этапов и прохождению несколько раз этапа выбора объектов или изменять методику полевых исследований.

3. Определение детерминирующего комплекса признаков.

Детерминирующий комплекс, основанный на многомерных нормальных распределениях (генеральных совокупностях), включает многомерный анализ (анализ главных компонент, анализ главных факторов, анализ регрессии) и построение многомерных моделей (факторных, регрессионных). Заключается в сокращении размерности исследуемого признакового пространства, т.е. в переходе от множества изучаемых объектов, заданных большим числом косвенно измеряемых признаков, к описанию меньшим числом максимально информативных переменных, несущих сравнительно больше дополнительной информации по изучаемой проблеме [15].

По факторным нагрузкам определяется величина индикации признаков (на основании шкалы уровней сопряженности [10]) в пределах отдельных факторов, составляются группы детерминирующих признаков по главным и сопутствующим факторам, строятся многомерные регрессионные модели, характеризующие структурно-функциональное состояние экосистемы на антропогенном тренде при заданных исходных показателях [3].

На примере сочинского побережья определено, что величины и набор протекающих эндо- и экзогенных процессов при динамическом состоянии экосистем могут оцениваться детерминирующим комплексом системных признаков (при учете от 80,7 до 97,1% полной вариабельности): ценотический, синантропизации, видовой полночленности, видового фонда, видовой емкости [16].

4. Комплексная индикация рекреационной территории по состоянию экосистем.

Индикация территории осуществляется графоаналитическим методом, заключающимся в оценке состояния окружающей среды с помощью построения картографических схем, отражающих результаты анализа оценки компонентов среды в два этапа [3].

На первом этапе составляются по квадратной сетке оценочные картосхемы по исследуемым признакам детерминирующего комплекса с выделением зон по стадиям антроподинамической дигрессии. В задачу входит выявление и анализ антропогенной нагрузки как на отдельные компоненты экосистем, так и на экосистемы в целом.

На втором этапе проводится комплексная оценка уровня состояния экосистем путем последовательного наложения схем друг на друга с обработкой итоговых полученных данных по 5-балльной шкале.

Проведенная апробация методики в районе г. Сочи позволила в статистически значимом пространстве выявить зоны по состоянию экосистем [17]: экосистемы с фоновым уровнем зарегистрированы на 15,7% территории; незначительно нарушенные – 14,8%; слабо нарушенные – 12,3%; средне нарушенные – 47,9%; сильно нарушенные – 9,4%.

Таким образом, предлагаемый метод позволяет по совокупности признаков функциональной аккумуляции изменений в природной среде получить качественную комплексную оценку состояния экосистем рассматриваемой территории; дает возможность проводить сравнительный анализ реакции отдельных компонентов трансформированной среды в их взаимодействии с учетом хронической сенсibilизации. Также дает возможность графически представить пространственное распределение зон с антропогенными нагрузками и зон с фактическим состоянием природной среды на рассматриваемой территории по совокупности показателей.

1. Шмаль А.Г. Факторы экологической безопасности – экологические риски. Бронницы: МП «ИКЦ БНТВ, 2010. 192 с.
2. Гордиенко В. А., Солнцев Г. К. Лесные пользования на Северном Кавказе. М.: ВНИИЦлесресурс, 1999. 472 с.
3. Щербина В.Г., Белюченко И.С. Мониторинг окружающей среды: методологические основы: Учебное пособие. 3-е изд. доп. перераб. Сочи: Изд-во ИЭиВС, 2006. 356 с.
4. Молчанов А.А. Влияние леса на окружающую среду. М.: Наука, 1973. 356 с.
5. Казенс Д. Введение в лесную экологию. М.: Лесная промышленность, 1982. 144 с.
6. Щербина В.Г., Щербина Ю.Г. Рекреационные ресурсы Северного Кавказа. Часть I. Буковые экосистемы: учебное пособие. Кривой Рог: Изд-во Минерал, 2006. 500 с.
7. Рокицкий П.Ф. Биологическая статистика. Минск: Высшая школа, 1964. 328 с.
8. Щербина Ю.Г., Щербина В.Г., Волков А.Н. Биохорный эндозоогенез природно-территориального комплекса. Кривой Рог: Видавничий дім, 2012. 264 с.
9. Пчелкин А.В., Боголюбов А.С. Методы лишеноиндикации загрязнений окружающей среды: методическое пособие. М.: Экосистема, 1997. 25 с.
10. Дедю И.И. Экологический энциклопедический словарь. Кишинев: Гл. ред. Молд. сов. энцикл., 1990. 406 с.
11. Чесиокова С.М. Лишеноиндикация загрязнения окружающей среды: практикум. Владимир: Изд-во ВГУ, 1999. 33 с.
12. ОСТ 56-100-95. Методы и единицы измерения рекреационных нагрузок на лесные природные комплексы. Стандарт отрасли. Введен: 01.09.1995. 14 с.
13. Ипатов В.С., Кирикова Л.А. Статистический анализ квантованности растительного покрова. // Ботанический журнал. 1985. № 2 (70). С. 255-261.
14. Джефферс Дж. Введение в системный анализ: применение в экологии. Пер. с англ. М.: Мир, 1981. 256 с.
15. Иберла К. Факторный анализ. Пер. с нем. В. М. Ивановой. М.: Статистика, 1980. 398 с.
16. Щербина В.Г. Факторный анализ антропогенно трансформированных лесных экосистем сочинского региона // Системы контроля окружающей среды – 2018: Междунар. науч.-техн. конф. (Севастополь, 5-9 нояб. 2018). Севастополь: Колорит, 2018. С. 122.
17. Щербина В.Г., Гудкова Н.К., Горбунова Т.Л. и др. Применение системного подхода при биоиндикационном зонировании территории по уровню экологического риска // Экологический вестник Северного Кавказа. 2018. № 1 (14). С. 24-37.