ФАКТОРНАЯ ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ЛЕСНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ СОЧИНСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ

В.Г. Щербина

Филиал Института природно-технических систем,
РФ, г. Сочи, Курортный проспект, 99/18
E-mail: v.g.scherbina@bk.ru

Проводится анализ взаимосвязей показателей и влияющих факторов на характеристики лесной экосистемы в пригородной зоне сочинского побережья. Методом факторного анализа определено, что на состояние лесной экосистемы оказывают влияние семь факторов. На отдельных стадиях антроподинамической дигрессии, при учете от 80,3 до 93,1% полной вариабельности, состояние экосистемы оценивается влиянием от трех до пяти факторов, зависящих от величины антропогенного и биотического преобразования лесной среды. Состояние экосистемы и степень ее трансформации могут индизировать 12 показателей, являющиеся верными индикаторами (91,0–97,9% сопряженности) отдельных факторов и стадий дигрессии.

Ключевые слова: сочинское побережье, лесная экосистема, дигрессия, показатели, факторы, индикаторы

Поступила в редакцию: 07.03.2018.

Введение. В современных условиях, при развитии городских агломераций, процесс глобальной урбанизации [1] является неотъемлемой негативной стороной для природной составляющей, что все более усугубляет проблемы человечества [2].

В урбанизированной зоне сочинского побережья, на фоне роста техногенной нагрузки и интенсивного расширения сферы рекреационно-туристского влияния человека на пригородные лесные экосистемы, отмечается территориальная неоднородность качественного состояния и величины антропогенной нагрузки на окружающую среду [3, 4]. Это находит отражение в адаптивной специализации [5], структурной и функциональной устойчивости [6–8], площади и динамике локальной дигрессии природных сообществ [3, 9, 10]. В итоге, снижается рекреационная емкость пригородных лесных экосистем [11], ставится под угрозу, как выполнение ими средозащитных функций, так и их многоцелевое рекреационно-туристское использование [12].

Для осуществления эффективного управления процессом урбанизации, реализуя стратегию долгосрочной экологической безопасности урбанизированных территорий, необходимо интегрировать в

зонах рекреационно-туристской специализации приоритетные способы длительного сохранения стабильного и устойчивого развития природных объектов [3, 6, 12]. С экологических позиций это возможно при углублении базиса экологических представлений о динамических механизмах структурных преобразований в антропогенно трансформированных экосистемах, раскрытии ведущих системных факторов и их участия во взаимоотношений динамической интегрированности при антроподинамической дигрессии [7, 8, 13].

Данные вопросы для сочинского побережья находятся еще в начальной стадии изучения.

Цель исследования заключалась в анализе функциональности системных показателей состояния природных и антропогенно трансформированных лесных сообществ в пригородной зоне сочинского побережья.

Достижение цели предполагало решение задач по определению методами многомерного моделирования индикаторных свойств показателей состояния лесной экосистемы сочинского побережья и оценке величины варьирования влияющих факторов на всем диапазоне антроподинамической дигрессии.

Материалы и методы. Исследования, проводимые с I по V стадию антроподинамической дигрессии, заключались в обобщении эмпирического материала за 1989–2009 гг. в 35 районах сочинского побережья в экосистемах с субтропической растительностью, на общей площади 74 га, в обобщении материала за 2008–2016 гг. в экосистемах горного, предгорного и среднегорного высотного уровня на 32 трансектах протяженностью 1,2–3,8 км, и анализе комплексных полевых исследований на репрезентативных переменных пробных площадях в 2017 г.

В горной зоне анализируемые лесные сообщества находились на урбанизированных участках в районе горнолыжного курорта Красная Поляна, между горнолыжными полигонами, комплексами и рекреационно-оздоровительными объектами: комплекс трамплинов «Русские горки», Центр санного спорта «Санки», Горнолыжный центр «Роза Хутор».

В предгорно-среднегорной зоне анализируемые сообщества находились на урбанизированной территории охватывающей Нижнешиловский сельский округ Адлерского района курорта Сочи, между населенными пунктами Веселое, Верхневеселое, Нижняя Шиловка, Черешня. Границами обследуемого района являлись: с юга – железнодорожная и общегородская автомобильная дорога (Сухумское шоссе); с запада – река Мзымта; с севера – горная часть округа; с востока – река Псоу.

Для получения обобщающего показателя «лесная экосистема» и нивелирования погрешности лесотипологических характеристик, проводилось усреднение по модальным значениям показателей на парцеллярном уровне в доминирующих однотипных (для высотной поясности) лесных экосистемах (дубовые, грабовые, буковые) по биоразнообразию древостоя (чистые, смешанные), составу древостоя (10х, 6х4х, 7х3х, 8х2х, 9х1х, 6х3х1х, 6х2х2х, 8х1х1х, 7х2х1х) и сомкнутости основного полога (0,8–1,0). Показатель видового фонда объединял кумулятивную перепись представителей лишенофлоры, орнитофауны, орибатидофауны, мезопедофауны (энтомофауна, малакофауна) в верхнем 10-см слое почвы, со-

судистых растений в древостое, подлеске, подросте и травяно-кустарничковом покрове. В обобщающую характеристику входили показатели: фрагментация экосистем, объемная масса почвы в верхнем 10-см горизонте, мощность лесной подстилки, площадь тропинойной сети.

Определение наличия и величины техногенной нагрузки (степень загрязненности атмосферного воздуха) на экосистемы проводилось методами лишеноиндикации в два этапа. На первом этапе, в 2008–2010 гг. (полосное фронтальное обследование) и в 2012–2013 гг. (трансектное обследование), применялся градиентный анализ на основе метода линейных пересечений, на высоте 1,5 м. На втором этапе, в 2016–2017 гг., применялся метод картирования – в пределах антропогенного тренда выделялись однородные зоны по уровню дигрессии с использованием индекса полеотолерантности (I) [14]:

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

где n – количество видов на пробной площади; A_i – класс полеотолерантности вида [15]; C_i – покрытие вида; C_n – суммарное покрытие видов.

Определение рекреационного воздействия, проводимого в 1988–2010, 2012 гг., основывалось на Отраслевом стандарте 56-100-95 [16], с незначительными дополнениями, заключающимися в определении средней объемной массы верхних слоев почвы на пробных площадях в местах с выраженными тропами и участках с ненарушенным почвенным покровом. На явно заметных оголенных (вытопанных, уплотненных) участках поверхности почвы проводилось картирование оголенных площадей с последующим выявлением отношения оголенной площади к общей площади исследуемого участка при параллельном взятии почвенных проб для определения объемной массы почвы. Определение рекреационного воздействия, проводимое в августе 1989–1995, 1997–1998, 2001–2002, 2005–2006, 2011–2014, 2016 гг. в мелких лесных фрагментах (до 1 га), на учетных площадках (20×20 см) в

50-кратной повторности, основывалось на оценке трансформации мощности и биомассы лесной подстилки [17]. Проводимое в гнездовой период 1989–1993, 1995, 1999–2002, 2004–2007, 2011–2017 гг. в лесных фрагментах площадью 1 и более гектаров, основывалось на оценке пространственной и структурной трансформации орнитоценозов, с определением стадий антроподинамистической дигрессии [18].

Учет беспозвоночных и их личинок в лесной подстилке и верхних слоях почвы производился при I–III стадиях в 10-кратной повторности; при IV–V – 15-кратной. На четырех углах учетной площадки (1,0×1,0 м) забивались колышки с последующим натягиванием лески; участок разбивался на четыре равных квадрата. В каждом квадрате выбиралась подстилка с почвой до глубины 10 см, с последующей разборкой. Улитки, перед учетом живых особей, содержались во влажной среде (30–50 мин). Численность беспозвоночных оценивалась путем суммирования по пробам с последующей экстраполяцией полученных данных на 1 м² площади. Учеты проводились в ноябре 1997–1998, 2009, 2015–2016 гг., августе и ноябре 2000–2001, 2014, 2017 гг., в течение года – с ноября по октябрь 2002–2003, 2005–2007 гг. При сборе орибатидных клещей использовалась металлическая рамка 5×5×10 см (250 см³) в 10-кратной повторности. Выгонка производилась с помощью термоэлектратора.

При учете биомассы лесной подстилки по линии ствола дерева – ствол дерева определение проводили в 3-кратной (август 1989–1995 гг.) и 5-кратной (август 1997–1998, 2001–2002, 2005–2006, 2015–2016 гг.) повторности (трансектах). Подстилка снималась вдоль склона между деревьями с интервалом 20 см с помощью металлической рамки (20×20 см) с заостренными краями в 50-кратной повторности. Собранная подстилка по трансектам соединялась по десять проб. Суммирование средних проб в воздушно-сухом состоянии с пересчетом на 1 м² площади давало средние запасы лесной подстилки.

Исследования напочвенных фитоценозов (травяно-кустарничкового покро-

ва) проводились с апреля по сентябрь 1993–1995, 2000–2001, 2003–2006, 2011, 2014 гг. на переменных учетных площадках (1,0×1,0 м) в 30-кратной повторности. Разнообразие на 1 м² определялось по усредненным данным всех лет исследований. Видовое определение проводилось по определителям А.И. Галушко [19].

Видовая емкость, видовая полнотенность и видовой фонд сообществ определялись по методическим подходам В.В. Акатова и др. [20]. Частота встречаемости оценивалась по И.И. Дедю [21].

Оценка фитоценологических рангов деревьев проводилась в вегетационный период 2003–2017 гг. на круговых пробных площадях. Все наличные деревья объединялись в три группы: здоровые, ослабленные и усыхающие. В группу «здоровых» относились деревья хорошего и удовлетворительного роста; «ослабленных» – с незначительными ранами, затененные, со слабо облиственной кроной; «усыхающих» – объединялись сухие, наличные усыхающие и «перспективно-усыхающие» [22] деревья – с распространением гнили в открытых ранах, с большими дуплами, длинными и многочисленными трещинами в стволе, с сухими ветвями в кроне, сухостойные и безвершинные, сухостойные и с сухой на 1/2–3/4 кроной.

Оценка возобновления древостоя, по абсолютной плотности подроста (≤ 8 см) и подлеска, проводилась в осенне-весенний период 1998–2003, 2005–2007, 2013–2017 гг. в пределах гигротопов (сухой, свежий, влажный) с разным составом и структурой древостоя. Пробные площади, из четырех учетных площадок 3×3 м (9 м²), закладывались в 5-кратной повторности вдоль склона, с интервалом 10 м. Усредненная численность по отдельным сообществам экстраполировалась на 1 га.

Анализ многомерных вариаций системных переменных (показателей), с использованием многомерных моделей, основывался на факторном анализе, включая анализ главных компонент и анализ главных факторов [23]. «Показатели» представлялись выборками из ге-

неральных совокупностей в статистически значимом пространстве (при $P = 0,05$), с учетом доверительных границ доли: суммарный класс полеотолерантности эпифитных лишайников (усл. ед.), разнообразие эпифитных лишайников (видов /пробную площадь), суммарное покрытие видов эпифитных лишайников (%); сомкнутость древесного полога (усл. ед.), доля здоровых деревьев (%), ослабленных (%) и усыхающих (%), величина развития подроста (тыс.шт./га), разнообразие подлеска (видов/пробную площадь); разнообразие напочвенного фитоценоза (видов/п.п.), численность аборигенных видов (видов /п.п.), рудеральных (видов /п.п.), сегетальных (видов /п.п.), синантропных (видов/п.п.), серийных (видов/п.п.), участие аборигенных видов в составе фитоценозов (%), рудеральных (%), сегетальных (%), синантропных (%), серийных (%); общее разнообразие мезопедобионтов (видов/п.п.), редуцентов (видов/п.п.), фито-ризофагов (видов/п.п.) и хищников (видов /п.п.), доля участия редуцентов (%), фито-ризофагов (%) и хищников (%); состав (видов/п.п.) и численность (особей/п.п.) малакофауны и орибатидофауны; видовая плотность орнитоценозов (видов/га), популяционная плотность дуплогнездников (пар/га), кроногнездников (пар/га), гнездящихся в подлеске (пар/га), и на земле (пар/га), доля участия в орнитоценозе дуплогнездников

(%), кроногнездников (%), гнездящихся в подлеске (%), и на земле (%); площадь лесных фрагментов (га) и число парцелл на единице их площади (шт./га); мощность лесной подстилки (см/п.п.); объемная масса верхнего 10-см горизонта почвы (г/см³); доля тропинойной сети на единице площади (%).

Количество общих факторов ограничивалось числом собственных значений > 1 , при суммарной общности дисперсии ≥ 80 . Для получения простой структуры для каждого фактора в отдельности применялось ортогональное вращение общих факторов методом «варимакс», с максимально допустимым числом вращений равным 50.

Индиаторные свойства показателей определялись по величинам факторных нагрузок с учетом шкалы уровней сопряженности [21]; учитывались нагрузки при пороговом значении $r \geq 0,91$, который соответствует начальному уровню сопряженности для верного индикатора.

Полученные результаты. Проведенное многомерное моделирование на основе факторного анализа выявило, что при учете 80,3–93,1% полной вариабельности, на состояние лесных сообществ сочинского побережья, на всем диапазоне антроподинамической дигрессии (I–V стадии) оказывает воздействие семь факторов (табл. 1).

Таблица 1. Динамика вариабельности факторов (%), характеризующих состояние лесной экосистемы сочинского побережья при антроподинамической дигрессии

№ п/п	Фактор	Стадия антроподинамической дигрессии				
		I	II	III	IV	V
1.	Видовая емкость	42,2	25,3	16,3	10,3	–
2.	Видовая полночленность	–	7,6	12,0	12,5	10,4
3.	Видовой фонд	23,9	24,6	–	–	–
4.	Рекреационный	–	12,1	18,0	18,2	17,6
5.	Техногенный	–	–	19,3	25,1	34,9
6.	Ценотический	15,6	23,5	–	–	–
7.	Синантропизация	–	–	22,6	20,8	17,4
Кумулятивная доля вариабельности		81,6	93,1	88,3	86,9	80,3

Регистрируемая смена состава и размерность влияния факторов характеризует динамику глубоких структурно-функциональных преобразований, про-

текающих в пригородных лесных сообществах на диапазоне тренда рекреационно-техногенных нагрузок на лесную экосистему.

При I стадии дигрессии («ненарушенная лесная среда» [16]) более 66% вариабельности показателей состояния лесной экосистемы определяется видовой емкостью (42,2%) и видовым фондом (23,9%), указывающим на превалирующее наличие и влияние аборигенных видов в ценозах. Из 18 показателей, про-

являющих статистически достоверные индикаторные свойства [24], верными являются три (доля гнездящихся на земле птиц – 91,0%, видовая емкость редуцентов в составе мезопедобионтов – 93,3%, доля участия аборигенных видов в составе травяно-кустарничкового покрова – 94,6%) (табл. 2).

Таблица 2. Динамика факторных нагрузок индикаторных показателей (при $r \geq 0,910$) при антроподинамической дигрессии

№ п/п	Показатель	Стадия антроподинамической дигрессии				
		I	II	III	IV	V
1.	Ослабленные деревья, %	–	0,927	0,935	0,976	0,934
2.	Аборигенные виды, %	0,946	–	–	–	–
3.	Рудеральные виды, видов/п.п.	–	–	0,919	–	–
4.	Инвазивные виды, видов/п.п.	–	–	–	0,941	–
5.	Разнообразие мезопедобионтов, видов/п.п.	–	–	–	0,935	–
6.	Мезопедобионты-редуценты, видов/п.п.	0,933	–	–	-0,911	–
7.	Фито-ризофаги, видов/п.п.	–	–	–	–	0,979
8.	Фито-ризофаги, %	–	0,944	–	–	–
9.	Птицы-луплогнездники, %	–	–	–	–	0,936
10.	Гнездящиеся на земле, %	0,910	-0,917	–	–	–
11.	Гнездящиеся на земле, пар /п.п.	–	-0,935	–	–	–
12.	Объемная масса почвы, г/см ³	–	–	0,905	0,970	–

При II стадии дигрессии («незначительные изменения лесной среды» [16]) такие негативные изменения рекреации, как измельчение и сокращение биомассы лесной подстилки (на 49,8% [25]) и косвенное уплотнение верхнего 4-см слоя почвы до естественной плотности почв под злаковым покровом (0,99–1,13 г/см³ [11]), создают условия для внедрения злаково-разнотравной растительности – новых (адвентивных) для фитоценозов видов [26]. Изменение уровня напряженности меж- и внутривидовых взаимодействий способствует снижению видовой емкости за счет элизии многих рецедентных растительных видов (*Aristolochis steupii*, *Colchicum umbrosum*, *Dentaria quinquefolia*, *Doronicum orientale*, *Polystichum braunii*, *Ruscus ponticus*, *Salvia glutinosa*, *Sanicula europea*, *Symphytum grandiflorum* [12]), орибатид (*Hypochthonius luteus*, *Licnobelba alestensis*, *Metabelba pulverulenta*, *Protoribates monodactylus*, *Scheloribates latipes*, *Suctobelbella perpendiculata*, *Tectocephus*

velatus, *Zygoribatula thalassophila* и др. [27]), малакофауны (*Limax maximus*, *Circassina frutis*, *Eulota fruticum*, *Euomphalia aristata*, *Euomphalia ravergeri*, *Helicella krynickii*, *Laciniaria circassica*, *Limax maximus*, *Mucronaria duboisi*, *Oxychilus mingrelicus* и др. [12, 28]), орибатиофауны (*Hypochthonius luteus*, *H. rufulus*, *Licnobelba alestensis*, *Metabelba pulverulenta*, *Protoribates monodactylus*, *Scheloribates latipes*, *Suctobelbella perpendiculata*, *Tectocephus velatus*, *Zygoribatula thalassophila* [12]).

Появление фактора видовой полноты и усиление участия ценотического фактора, в виде изменения диапазона варьирования ценотической структуры сообщества, также отражается на изменении величины и направления корреляционных связей [17, 29]. Верными индикаторными свойствами обладают показатели (см. табл. 2) характеризующие ценотическую структуру (доля ослабленных деревьев – 92,7%, участие фито-ризофагов – 94,4%, доля гнездящихся птиц на земле – 91,7%) и видовую

емкость (видовая емкость гнездящихся на земле птиц – 93,5%).

При III стадии дигрессии («значительные нарушения лесной среды» [16]) в почвенном покрове происходит вдавливание горизонта A_0 в горизонт A_1 , тяжелая и среднетяжелая почва уплотняется до 1,14–1,33 г/см³ [11], снижается ее порозность, влажность и водопроницаемость [12, 17]; биомасса подстилки сокращается в среднем на 64,4% [25]. Измененные условия для почвенно-биологических процессов реструктурирует сообщество: возрастает элизия видов в травяно-кустарничковом покрове (*Athyrium filix-femina*, *Arum orientale*, *Carex griotetii*, *C. pendula*, *Carydalis caucasica*, *Galanthus woronowii*, *Helleborus caucasicus*, *Paeonia caucasica*, *Paris incompleta*, *Phyllitis scolopendrum*, *Polygonatum glaberrimum*, *P. multiflorum*, *Potentilla micrantha*, *Ruscus colchicus*, *Scilla bifolia*, *Trachystemon orientalis*, *Viola odorata*, *V. rechenbachina* [30]), в составе орибатидофауны (*Belba dubinini*, *Ceratozetes mediocris*, *Epilohmannia cylindrica*, *Hermanniella punctulata*, *Hypochthoniella minutissima*, *Lauroppia neerlandica*, *Metabelba papillipes*, *Nothrus biciliatus*, *Opiella nova*, *O. krivolutskyi*, *Pillogalumna allifera*, *Sphaerochthonius splendidus*, *Synchthonius elegans*, *Tropacarus (Steganacarus) pulcherrimus*, *Zygoribatula exarata*, *Zygoribatula frisiae* [12, 27]) и малакофауны (*Arion subfuscus*, *Deroceras laeve*, *Malacolimax tenellus*, *Agrioliman melanocephalus*, *Eumilax brandti*, *Chondrina avenacea*, *Ch. clienta*, *Circassina ciriassica*, *Eumilax brandti*, *Euomphalia pisitormis*, *Fruticocampylaea narzanensis*, *Jdyla foveicollis*, *Laciniaria retowskii*, *Oxychilus cellarius*, *Platythela mingrellica*, *Retinella nitidula*, *Retowskia schlaeflii*, *Thela orientalis*, *T. samsunensis*, *Trichia holotricha* [28]); увеличивается доля ослабленных деревьев (35,5–38,5%) и усыхающих (26,2–29,5%) [17]. Протекающие процессы и явления снижают устойчивость сообществ и обуславливают проявление техногенного фактора и фактора синантропизации: возрастает суммарный класс полеотолерантности эпифитной лишенофлоры, изменяется их видовое и суммарное покрытие, снижается плотность обитания орибатид на

81,3% [30]; появляются новые виды, не характерные для сообществ при меньших антропогенных нагрузках (*Artemisia lercheana*, *Astragalus falcatus*, *Elytrigia trichophora*, *Koeleria gracilis*, *Medicago falcata*, *Poa bulbosa*, *Trifolium fragiferum*, *T. hybridum*) [12, 17].

Фактор синантропизации в статистически значимом пространстве имеет обратную корреляционную зависимость с сомкнутостью основного древесного полога (-0,761), долей в травяно-кустарничковом покрове аборигенных (-0,852) и сегетальных видов (-0,645), площадью лесного фрагмента (-0,644), и положительную корреляционную связь с величиной парцеллярности лесной среды (0,846) и долей рудеральных видов (0,778) [16].

Верными индикаторными свойствами обладают показатели, характеризующие фактор видовой емкости (разнообразие рудеральных видов – 91,9%) и рекреационный фактор (доля ослабленных деревьев в древостое – 93,5%, объемная масса почвы – 90,5%).

С ростом антропогенной нагрузки, приводящей к IV стадии дигрессии («сильные нарушения лесной среды» [16]), лесная почва начинает испытывать не косвенное, а уже прямое уплотнение, выражающееся в деформации гумусо-аккумулятивного горизонта, формировании поверхностной корки и повышении объемной массы почвы до 1,20–1,47 г/см³ [11]. Формируется густая тропичная сеть (40–60% площади [16]), возрастает парцеллярность [12] и число деревьев в ослабленном сосоянии (43,2–49,1%) и усыхающем (22,3–26,9%) [19]. Значительную трансформацию испытывают подрост (90,6–95,4%) [18, 31], подлесок (73,3–99,1%) [12, 15], лесная подстилка (91,3% [25]), разнообразие мезопедобионтов (%) и участие редуцентов (81,6–99,3%) [12, 17]. Снижение участия и разнообразия адвентивных видов (*Poa pratensis*, *Phleum pratense*, *Melilotus albus*, *Medicago sativa*, *Lolium perenne*, *Kochia prostrata*, *Hordeum bulbosum*, *Galega orientalis*, *Elytrigia trichophora*, *Elymus caucasicus*, *Carex praecox*, *Bromus riparius*, *Artemisia lercheana*, *Alopecurus ventricosus*, *Agropyron desertorum* [5, 12]) способствует снижению синантропного

фактора и видовой емкости. В итоге экосистема утрачивает способность к самовосстановлению [18] и 25,1% полной вариабельности обеспечивается техногенным фактором [32] (повышается класс полевотолерантности эпифитной лишенофлоры и суммарное покрытие *Hypogymnia physodes*, *Parmelia sulcata*, *Lecanora allophana*, *Xanthoria polycarpa*, *X. Parietina*; перестают встречаться в травяном сообществе *Allium ursinum*, *Cyclamen vernalis*, *Festuca drymeja*, *Lactuca quercina*, *Luzula Forsteri*, *Polypodium australe* [12]; орибатидофауна снижает разнообразие на 80,6–84,6% и плотность – 96,6–98,8% [17, 27]).

Верными индикаторами состояния экосистемы являются пять показателей, характеризующие фактор полночленности (видовая плотность адвентивных видов – 94,1%, разнообразие мезопедобионтов – 93,5%) и рекреационный фактор (доля ослабленных деревьев – 97,6%, участие мезопедобионтов-редуцентов – 91,1%, объемная масса почвы – 97,0%).

При V стадии дигрессии («деградированная лесная среда» [16]) горизонт A_1 и частично A_2 становятся слитыми, объемная масса почвы варьирует в диапазоне 1,45–1,72 г/см³; в подзолистом горизонте, кроме уплотнения почвенного материала, происходит укрупнение агрегатов и формирование крупнопластинчатых отдельностей, изменяется структура порового пространства [11]. Площадь уплотненной почвы превышает 60% [16] и, в комплексе с фактором выноса [18], приводит к сокращению биомассы лесной подстилки на 94,4% [25]. В травяно-кустарничковом покрове остаются наиболее устойчивые виды (*Cynodon dactylon*, *Elytrigia repens*, *Festuca ovina*, *Koeleria gracilis*, *Trifolium ambiguum*, *T. hybridum*, *Rubus discolor*, *Matteuccia struthiopteris*, *Fragaria vesca*, *Festuca gigantea*, *Dryopteris filix-mas*, *Asperula odorata*) с общим доминированием 65,6–100% [12], доля адвентивных видов в травяно-кустарничковом покрове составляет 61,5–100% [26]; доля здоровых деревьев варьирует в диапазоне 11,7–24,8% [17]. Регистрируется положительная связь с уровнем дигрессии в показателях: доля усыхающих деревьев ($r = 0,762$), объемная масса почвы

(0,763), площадь тропинойной сети (0,618) [33]. Снижают или прекращают свое присутствие в ценозах: малакофауна, орибатидофауна, подлесок, подрост, синантропные, серийные и аборигенные виды. В целом, протекающие процессы являются следствием элизии более 70% аборигенных видов и усиления нарушений/элиминации консортивных связей между биотическими компонентами [12], а также консортами I–III порядков на трансформированной территории [17, 18].

Верными индикаторными свойствами обладают показатели, характеризующие техногенный фактор (доля участия ослабленных деревьев – 93,4%) и рекреационный (разнообразие фито-ризофагов – 97,9%, доля птиц-дуплогнездников – 93,6%).

Заключение. В последние годы на территории сочинского побережья антропогенное вмешательство получило отражение во всех типах лесных сообществ. Проведенное многомерное моделирование лесной экосистемы на основе факторного анализа позволило определить с высокой значимостью (0,05), что в рекреационно-туристской зоне побережья на состояние лесной экосистемы оказывают влияние семь факторов: рекреационный, техногенный, ценотический, синантропный, видовой емкости, видовая полночленность, видовой фонд. На отдельных стадиях антроподинамики дигрессии, при учете от 80,3 до 93,1% полной вариабельности, состояние экосистемы оценивается влиянием от трех до пяти факторов, зависящих от величины антропогенного и биотического преобразования лесной среды.

Состояние экосистемы и степень ее трансформации могут индизировать 12 показателей, являющиеся верными индикаторами (91,0–97,9% сопряженности) отдельных факторов и стадий дигрессии.

Полученные факторные оценки состояния пригородной лесной экосистемы могут найти применение при разработке системных мер по приоритетным способам совершенствования механизма управления природопользованием в рекреационно-туристской урбанизированной зоне сочинского побережья, включая

подходы по долговременному сохранению стабильного и устойчивого развития природных рекреационных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобылев С.Н., Кудрявцева О.В., Соловьева С.В. Индикаторы устойчивого развития для городов // Экономика региона. 2014. № 3. С. 101–110.

2. Прыкин Б.В., Прыкина Л.В. Качество уровня жизни человека во всеобщей деятельности природы // Уровень жизни населения регионов России. 2015. № 2 (196). С. 107–114.

3 Щербина Ю.Г., Щербина В.Г. Пространственная динамика устойчивости лесных экосистем в зоне олимпиады-2014 // Экологический мониторинг и биоразнообразие. 2014. № 2 (9). С. 38–42.

4. Щербина В.Г. Влияние техногенных и рекреационных факторов на видовую полноту лесных экосистем // Проблемы, перспективы и направления инновационного развития науки: Междунар. науч.-практ. конф. (Омск, 24 ноября 2017 г.): в 4 ч. Стерлитамак: АМИ, 2017. Ч. 4. С. 58–61.

5. Щербина В.Г. Структура доминантных комплексов травяного покрова в рекреационных биогеоценозах // Экологический вестник Северного Кавказа. 2008. Т. 4, № 2. С. 52–58.

6. Щербина В.Г. Постолимпийские диапазоны устойчивости и восстановления трансформированных предгорных экосистем // Экологический мониторинг и биоразнообразие. 2015. № 3 (10). С. 46–50.

7. Щербина В.Г. Динамика функциональных системных показателей в экосистемах сочинского побережья // Системы контроля окружающей среды. 2017. № 8 (28). С. 101–109.

8. Щербина В.Г., Белюченко И.С. Динамика упорядоченности экосистем сочинского побережья в хоне реализации олимпийского проекта // Экологический вестник Северного Кавказа. 2017. Т. 13, № 3. С. 47–54.

9. Ивонин В.М., Пиньковский М.Д., Егошин А.В. Эрозия почв нарушенных при строительстве объектов Олимпиады-

2014 // Экология урбанизированных территорий. 2011. № 2. С. 55–61.

10. Щербина В.Г., Щербина Ю.Г., Волков А.Н. Пространственная динамика репарационного потенциала лесных экосистем горного кластера // Инновационные системы. 2014. Т. 1, № 1. С. 12–30.

11. Щербина В.Г. Оценка рекреационного повреждения почвенного покрова // Экологический вестник Северного Кавказа. 2007. Т. 3, № 4. С. 37–41.

12. Щербина В.Г., Щербина Ю.Г. Рекреационные ресурсы Северного Кавказа: в 4 ч. Ч. 1: Буковые экосистемы. Кривой Рог: Минерал, 2006. 500 с.

13. Щербина В.Г. Стратегия экологической безопасности функционирования туристско-рекреационной индустрии в зоне сочинского побережья // Научный альманах. 2017. № 1–3 (27). С. 290–292.

14. Пчелкин А.В., Боголюбов А.С. Методы лишеноиндикации загрязнений окружающей среды: метод. пособие. М.: Экосистема, 1997. 25 с.

15. Мелехов И.С. Лесоведение. М.: Лесная пром-сть, 1980. 408 с.

16. ОСТ 56-100-95. Методы и единицы измерения рекреационных нагрузок на лесные природные комплексы. Стандарт отрасли. Введен 01.09.1995. 14 с.

17. Щербина В. Г. Рекреационная индикация субтропических буковых биогеоценозов. 2 изд., перераб. и доп. Кривой Рог: Минерал, 2005. 352 с.

18. Щербина В.Г., Белюченко И.С. Мониторинг окружающей среды: методологические основы: учеб. пособие. 3-е изд., перераб. и доп. Сочи: Изд-во ИЭиВС, 2006. 356 с.

19. Галушко А.И. Флора Северного Кавказа. Определитель. Ростов н/Д.: Изд-во Ростов. ГСУ, 1978. Т. 1. 320 с., 1980. Т. 2. 352 с.

20. Акатов В.В., Акатова Т.В., Чифранов С.Г. Уровень полнотности и потенциал инвазивности растительных сообществ: гипотеза соотношения видовых фондов // Журнал общей биологии. 2009. Т. 70, № 4. С. 328–340.

21. Дедю И.И. Экологический энциклопедический словарь. Кишинев: Гл. ред. Молд. сов. энцикл., 1990. 406 с.

22. Щинников Р.Д. Совершенствование способов и технологии рубок главного пользования в буковых лесах Се-

верного Кавказа: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 1987. 17 с.

23. Лоули Д., Максвелл А. Факторный анализ как статистический метод. М.: Мир, 1967. 274 с.

24. Щербина В.Г. Оценка влияющих системных факторов на состояние фоновой лесной экосистемы // Внедрение результатов инновационных разработок: проблемы и перспективы: Междунар. науч.-практ. конф. (Самара, 8 января 2018 г.): в 2 ч. Стерлитамак: АМИ, 2018. Ч. 2. С. 6–8.

25. Щербина В.Г. Влияние рекреации на подстилку субтропических буковых биогеоценозов // Экологический вестник Северного Кавказа. 2007. Т. 3, № 1. С. 94–98.

26. Белюченко И.С., Щербина В.Г. Анализ степени рекреационной трансформации обилия и разнообразия травяно-кустарничкового покрова // Экологический вестник Северного Кавказа. 2008. Т. 4, № 2. С. 24–32.

27. Щербина В.Г., Белюченко И.С. Реакция орибитид на рекреационную трансформацию буковых биогеоценозов // Вестник РУДН. Серия Экология и безопасность жизнедеятельности. 2008. № 1. С. 24–26.

28. Щербина В.Г., Белюченко И.С. Рекреационное воздействие на моллюсков субтропических буковых биогеоценозов // Вестник РУДН. Серия Экология и безопасность жизнедеятельности. 2008. № 2. С. 54–60.

29. Щербина В.Г. Факторная оценка состояния антропогенно трансформированной лесной экосистемы // Проблемы эффективного использования научного потенциала общества: Междунар. науч.-практ. конф. (Новосибирск, 12 января 2018 г.): в 3 ч. Стерлитамак: АМИ, 2018. Ч. 3. С. 11–15.

30. Щербина В.Г. Пространственная динамика варьирования травяно-кустарниковых и лишеноиндикационных компонентов экосистем горного кластера // Инновации. Менеджмент. Маркетинг. Туризм. 2014. № 2. С. 167–171.

31. Щербина В.Г. Естественное возобновление эдификатора в рекреационной буковой формации // Экологический вестник Северного Кавказа. 2008. Т. 4, № 4. С. 118–123.

32. Щербина В.Г. Показатели состояния экосистем при четвертой стадии дигрессии // Закономерности и тенденции инновационного развития общества: Междунар. науч.-практ. конф. (Волгоград, 26 января 2018 г.): в 3 ч. Стерлитамак: АМИ, 2018. Ч. 2. С. 6–10.

33. Щербина В.Г. Факторный анализ лесных экосистем сочинского побережья при пятой стадии дигрессии // Динамика взаимоотношений различных областей науки в современных условиях: Междунар. науч.-практ. конф. (Челябинск, 30 января 2018 г.): в 3 ч. Стерлитамак: АМИ, 2018. Ч. 3. С. 9–12.

FACTOR ASSESSMENT OF THE TRANSFORMATION SCALE OF FOREST ECOSYSTEM OF SOCHINSKY COAST FOREST ECOSYSTEM

V.G. Scherbina

Branch of Institute of Natural and Technical Systems,
Russian Federation, Sochi, Kurortny Av., 99/18

THE analysis of the interrelations of indicators and influencing factors on the characteristics of the forest ecosystem in the suburban area of the Sochi coast is carried out. By the method of factor analysis it is determined that the state of the forest ecosystem is influenced by seven factors. At separate stages of anthropodynamic digression, taking into account from 80,3 to 93,1% of the total variability, the state of the ecosystem is estimated by the influence of three to five factors depending on the magnitude of the anthropogenic and biotic transformation of the forest environment. The status of the ecosystem and the degree of its transformation can be indicated by 12 indicators, which are the correct indicators (91,0–97,9% conjugation) of individual factors and stages of digression.

Keywords: Sochi's coastal line, forest ecosystem, digression, indicators, factors, indicators