

УДК 630.181.351

DOI: 10.18698/2542-1468-2017-3-4-14

ИНДИКАЦИЯ ЭВТРОФИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

О.В. Беднова

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1
oliabednova@ Rambler.ru

Обсуждаются последствия повышения обеспеченности лесных экосистем азотом (эвтрофирования) вследствие аэротехногенного загрязнения оксидами азота NO_x . Самые динамичные экологические изменения возможны в лесах на урбанизированных территориях. Для современных крупных городских агломераций с их насыщенной транспортной системой в большинстве случаев NO_x являются приоритетными загрязнителями атмосферного воздуха, а городские леса практически всегда граничат с автомобильными магистралями и часто бывают фрагментированы участками автодорог. Методом пассивной дозиметрии была выявлена локальная зона повышенной концентрации диоксида азота внутри городского лесного массива на участке с сильной рекреационной трансформацией. Предполагается, что поступления техногенного азота под полог рекреационного леса «редактируют» почвенный азотный цикл в направлении увеличения возвратных NO_x как промежуточных продуктов денитрификации. В результате из-за автотранспортного загрязнения в экосистеме городского лесного массива возникают предпосылки для эвтрофирования почвы и одновременно — для снижения полезных санитарно-гигиенических функций городских лесов в отношении NO_x . Эвтрофирование сопровождается увеличением обилия видов стенобионтов, требовательных к азотному питанию. Подготовлены справочные таблицы для фитоиндикации эвтрофирования городских лесов на основе данных геоботанических описаний.

Ключевые слова: техногенная эмиссия оксидов азота, эвтрофирование, городские леса, фитоиндикация, стенобионты

Ссылка для цитирования: Беднова О.В. Индикация эвтрофирования лесных экосистем на урбанизированных территориях // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 3. С. 4–14. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-3-4-14

Проблема «кислотных дождей» антропогенного происхождения послужила стимулом совершенствования систем мониторинговых исследований, разработки соответствующих технологических, территориально-производственных организационных решений, направленных на снижение эмиссии кислотных загрязнителей, и для международного сотрудничества в сфере экологической безопасности [1]. В итоге к настоящему времени на глобальном и региональном уровне произошли изменения режима загрязнения атмосферного воздуха: уменьшилась доля диоксида серы как основного кислотообразователя, и кислотная нагрузка на наземные экосистемы заметно снизилась, но техногенная эмиссия оксидов азота NO_x в атмосферу не только не уменьшилась, а в ряде случаев даже возросла. Так, современный уровень поступления дополнительного азота (преимущественно в форме нитратов) в экосистемы вследствие антропогенной деятельности оценивается в 15–25 кг N/га в год и выше [2]. Для сравнения: в 50–60-х гг. XX в. в большинстве регионов мира объем техногенного поступления азота из атмосферы достигал 3–4 кг N/га в год, в основном это были аммонийные формы [3]. В результате стал усиливаться процесс *эвтрофирования*: круглогодичное поступление добавочного техногенного азота в виде минеральных соединений путем мокрого и

сухого осаждения в водоемы и на почвенную поверхность, с одной стороны, стимулирует рост биологической продуктивности экосистем, а с другой — способствует интенсификации потоков азота из экосистем [2, 4].

Эвтрофирование лесных экосистем сопряжено с изменением лесорастительных условий. Техногенные выпадения азота в легко усвояемой растениями нитратной форме, безусловно, являются фактором увеличения первичной продукции и усиления связывания углекислого газа [5]. На этом фоне повышается объем опада, ускоряется минерализация органического вещества и большее количество азота поступает в почвенный пул, вследствие чего происходят изменения в напочвенном покрове в направлении увеличения обилия более нитрофильных видов [6–8]. По мере азотного насыщения почв увеличивается интенсивность миграции азота из лесных почв не только в растительность, но и в сопряженные среды — почвенно-грунтовые воды и атмосферу, что приводит к усиленному вымыванию из почвы нитратов (которые способны загрязнить подземные воды) и повышенной денитрификации [4, 9]. Но возможны и более серьезные последствия эвтрофирования для лесных экосистем. Так, из-за постепенно формирующегося дисбаланса в минеральном питании действуют как минимум два негативных механизма в отношении древес-

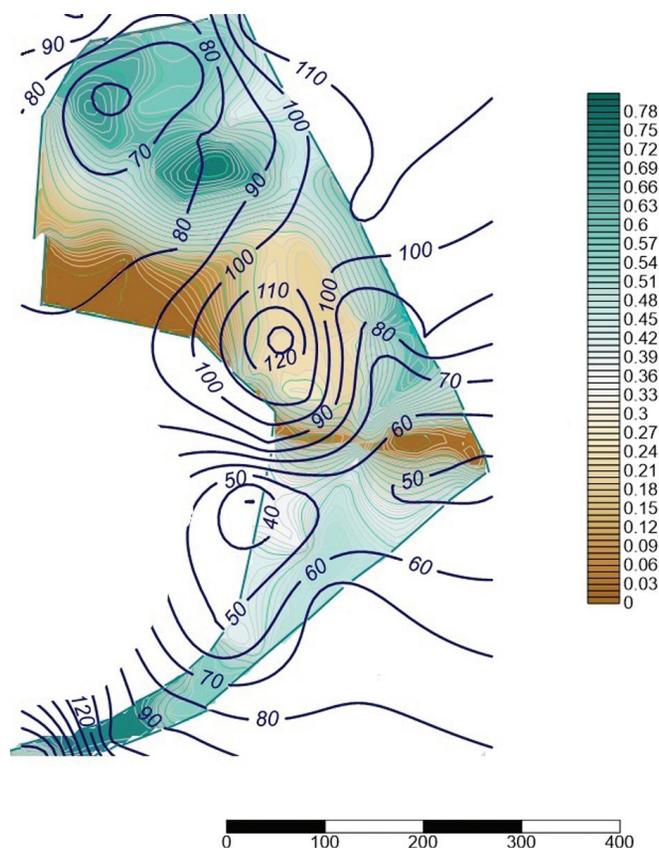


Рис. 1. Концентрация диоксида азота ($\mu\text{г}/\text{м}^3$, изолинии) в атмосферном воздухе в границах ельника Кунцевской дачи на фоне картины сохранности лесной среды. Сохранность лесной среды определяется на основании значений интегрального показателя качества [19] и соответствует шкале рекреационной дигрессии лесных биогеоценозов: 0,8...1 — I–II стадия рекреационной дигрессии; 0,63...0,8 — III стадия; 0,37...0,63 — III–IV стадия; 0,2...0,37 — IV стадия; < 0,2 — V стадия рекреационной дигрессии

Fig. 1. The concentration of nitrogen dioxide ($\mu\text{g} / \text{m}^3$, isolines) in the atmosphere within the boundaries of the spruce forest of Kuntsevskaya dacha in the context of forest conservation. The conservation of the forest environment is based on the values of the integral quality index [19] and corresponds to the scale of recreational digression of forest biogeocenoses: 0,8...1 — II–I stage; 0,63...0,8 — III; 0,37...0,63 — III–IV; 0,2...0,37 — IV; < 0,2 — V stage of recreational digression

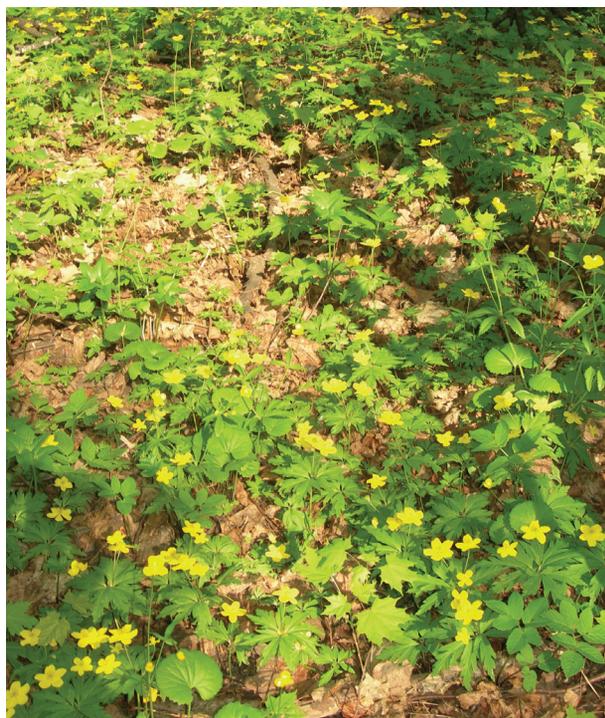
ных пород: из-за отставания в росте биомассы корней снижается ветроустойчивость деревьев и их сопротивляемость к возбудителям корневых гнилей [10, 11], а в фотосинтезирующих органах усиливается образование мягких, рыхлых, долго не созревающих тканей, что повышает восприимчивость растений к патогенам, снижает способность противостоять воздействию морозов и засухи [12].

На настоящее время не зафиксировано фактов нарушения жизнеспособности лесов в связи с эвтрофированием. Но с повышением азотного статуса лесных почв связывают уже наблюдаемые случаи трансформации олиготрофных мест обитания в мезотрофные и эвтрофные и соответствующие сдвиги в направлении более нитрофильной растительности в видовой структуре лесных фитоценозов [6, 8]. Прежде всего это касается изменения облика хвойных лесов, и особенно сосновых, адаптированных в природе к относительно бедным азотом лесораститель-

ным условиям. Предполагается, что и выявленные тенденции изменения видового состава и обилия эктомикоризных грибов, которые играют важную роль в оптимизации азотного и фосфорного питания деревьев, зависят от увеличения поступления техногенного азота в почвы лесных экосистем [13, 14].

Цель работы

Перестройки в структуре растительности влекут за собой изменения во взаимоотношениях продуцентов и консументов, трансформацию видовой структуры последних, а следовательно — изменения функционального режима лесных экосистем. Поэтому актуальными являются вопросы, связанной с азотным эвтрофированием динамики лесного биоразнообразия на всех уровнях его организации. Решение данных вопросов имеет практическое значение в природоохранном и лесохозяйственном отношениях. Самые динамичные изменения возможны в лесах на ур-



a



б



в



г



д



e

Рис. 2. Виды лесного травяно-кустарничкового яруса, требовательные к обеспеченности почв азотом: *a* — Ветреница лютиковая; *б* — Кислица обыкновенная; *в* — Крапива двудомная; *г* — Чесночница черешковая; *д* — Недотрога мелкоцветковая; *e* — Чистотел большой

Fig. 2. Types of forest grass and shrub layer, demanding for soil rich in nitrogen: *a* — Chamomile vetrene; *б* — Acidicum; *в* — Nettle; *г* — Mustard garlic; *д* — Short-flowered hickory; *e* — Celandine large

Т а б л и ц а

Диапазоны значений по шкале богатства почв азотом Д.Н. Цыганова для видов травяно-кустарничкового яруса лесных биогеоценозов в границах особо охраняемых природных территорий (ООПТ) г. Москвы с учетом принадлежности к эколого-ценоотическим группам
Ranges of values in the soil nitrogen richness scale by DN Tsyganov of types of the grass and shrub layer of forest biogeocenoses within the boundaries of the PAs of Moscow, considering their belonging to the ecological and coenotic groups

№ вида	Эколого-ценоотические группы	Диапазон значений по шкале богатства почв азотом	
		Nt1	Nt2
<i>Неморальные виды</i>			
1	<i>Aegopodium podagraria</i> L. — Сныть	7	10
2	<i>Anemonoides ranunculoides</i> (L.) Holub. — Ветреница лютиковая	5	10
3	<i>Brachypodium sylvaticum</i> Huds. — Коротконожка лесная	5	9
4	<i>Campanula latifolia</i> L. — Колокольчик широколистный	7	10
5	<i>Campanula trachelium</i> L. — Колокольчик крапиволистный	7	10
6	<i>Carex pilosa</i> Scop. — Осока волосистая	3	9
7	<i>Carex sylvatica</i> Huds. — Осока лесная	3	9
8	<i>Corydalis solida</i> (L.) Clairv. — Хохлатка плотная	6	10
9	<i>Geum urbanum</i> L. — Гравилат городской	5	11
10	<i>Mercurialis perennis</i> L. — Пролесник многолетний	5	10
11	<i>Mycelis muralis</i> (L.) Dumort. — Мицелис стеной	5	9
12	<i>Polygonatum multiflorum</i> (L.) All. — Купена многоцветковая	3	7
13	<i>Pulmonaria obscura</i> Dumort. — Медуница неясная	5	10
14	<i>Scrophularia nodosa</i> L. — Норичник шишковатый	5	11
15	<i>Stachys sylvatica</i> L. — Чистец лесной	5	10
16	<i>Stellaria holostea</i> L. — Звездчатка жестколистная	3	9
17	<i>Viola mirabilis</i> L. — Фиалка удивительная	1	9
18	<i>Viola odorata</i> L. — Фиалка душистая	7	11
19	<i>Viola riviniana</i> Rchb. — Фиалка Ривиниуса	1	9
<i>Неморально-бореальные виды</i>			
20	<i>Actaea spicata</i> L. — Воронец колосистый	6	10
21	<i>Adoxa moschatellina</i> L. — Адокса мускусная	7	10
22	<i>Asarum europaeum</i> L. — Копытень европейский	5	9
23	<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth. — Кочедыжник женский	5	9
24	<i>Carex digitata</i> L. — Осока пальчатая	3	9
25	<i>Carex sylvatica</i> Huds. — Осока лесная	3	9
26	<i>Convallaria majalis</i> L. — Ландыш майский	3	7
27	<i>Dactylorhiza fuchsii</i> (Druce) Soo — Пальчатокоренник Фукса	3	9
28	<i>Dryopteris carthusiana</i> (Vill.) H.P. Fuschs — Щитовник Карпузиуса	1	7
29	<i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott. — Щитовник мужской	5	9
30	<i>Epilobium roseum</i> Schreb. — Кипрей розовый	7	10
31	<i>Festuca gigantea</i> (L.) Vill. — Овсяница гигантская	5	9
32	<i>Galeobdolon luteum</i> Huds. — Зелчук желтый	3	9
33	<i>Galium odoratum</i> (L.) Scop. — Подмаренник душистый	3	9
34	<i>Hepatica nobilis</i> Mill. — Печеночница благородная	1	7
35	<i>Lathyrus vernus</i> (L.) Bernh. — Чина весенняя	1	9
36	<i>Lithospermum officinale</i> L. — Воробейник лекарственный	5	9
37	<i>Melica nutans</i> L. — Перловник поникший	1	7
38	<i>Milium effusum</i> L. — Бор развесистый	1	9
39	<i>Moehringia trinervia</i> (L.) Clairv. — Мерингия трехжилковая	5	9
40	<i>Oxalis acetosella</i> L. — Кислица обыкновенная	5	10
41	<i>Paris quadrifolia</i> L. — Вороний глаз четырехлистный	5	9
42	<i>Polygonatum odoratum</i> (Mill.) Druce — Купена душистая	1	7
43	<i>Ranunculus cassubicus</i> L. — Лютик кашубский	3	9
<i>Таежные виды</i>			
44	<i>Gymnocarpium dryopteris</i> (<i>Dryopteris linneana</i>) (L.) Newman — Голокучник обыкновенный, или Г. Линнея	3	9

Продолжение таблицы

№ вида	Эколого-ценоотические группы	Диапазон значений по шкале богатства почв азотом	
		Nt1	Nt2
45	<i>Hieracium murorum</i> L. — Ястребинка постенная	3	9
46	<i>Huperzia seelago</i> (L.) Bernh. — Баранец обыкновенный	3	9
47	<i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F.W. Schmidt — Майник двулистный	1	7
48	<i>Orthilia secunda</i> (L.) House — Ортилия однобокая	1	5
49	<i>Pyrola minor</i> L. — Грушанка малая	1	5
50	<i>Pyrola rotundifolia</i> L. — Грушанка круглолистная	1	7
51	<i>Trientalis europaea</i> L. — Седмичник европейский	1	5
52	<i>Vaccinium murtillus</i> L. — Черника	1	7
Боровые виды			
53	<i>Campanula rotundifolia</i> L. — Колокольчик круглолистный	1	5
54	<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth. — Вейник наземный	5	10
55	<i>Chimaphila umbellata</i> W.P.C. Barton — Зимолюбка зонтичная	1	7
56	<i>Deschampsia flexuosa</i> L. — Луговик извилистый	1	7
57	<i>Hieracium pilosella</i> L. — Ястребинка волосистая	1	5
58	<i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd. — Ожика волосистая	3	7
59	<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L. — Брусника	1	5
60	<i>Veronica officinalis</i> L. — Вероника лекарственная	1	7
Березняковые виды			
61	<i>Angelica sylvestris</i> L. — Дудник лесной	1	9
62	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth. — Вейник лесной	3	9
63	<i>Cirsium heterophyllum</i> (L.) Hill — Бодяк разнолистный	5	9
64	<i>Fragaria vesca</i> L. — Земляника обыкновенная	5	9
65	<i>Gagea lutea</i> (L.) Ker Gaul. — Гусиный лук желтый	5	10
66	<i>Lathyrus vernus</i> (L.) Bernh. — Чина весенняя	1	9
67	<i>Myosotis sylvatica</i> Ehrh. ex Hoffmann — Незабудка лесная	5	11
68	<i>Origanum vulgare</i> L. — Душица обыкновенная	1	7
69	<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn — Орляк	1	7
70	<i>Ranunculus auricomus</i> L. — Лютик золотистый	4	10
71	<i>Rubus saxatilis</i> L. — Костяника	3	7
72	<i>Seseli libanotis</i> (L.) W.D.J. Koch — Жабрица порезниковая	1	5
73	<i>Solidago virgaurea</i> L. — Золотарник обыкновенный	3	9
74	<i>Thalictrum aquilegifolium</i> L. — Васелистник водосборolistный	6	10
Ольшаниковые виды			
75	<i>Calamagrostis canescens</i> (Weber) Roth. — Вейник седеющий	3	9
76	<i>Cardamine impatiens</i> L. — Сердечник-недотрога	7	10
77	<i>Chrysosplenium alternifolium</i> L. — Селезеночник очереднолистный	3	7
78	<i>Cirsium oleraceum</i> (L.) Scop. — Бодяк огородный	3	9
79	<i>Equisetum arvense</i> L. — Хвощ полевой	1	7
80	<i>Equisetum hyemale</i> L. — Хвощ зимующий	5	9
81	<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim. — Таволга вязолистная	3	7
82	<i>Galium palustre</i> L. — Подмаренник болотный	3	7
83	<i>Geum rivale</i> L. — Гравилат речной	3	7
84	<i>Glyceria fluitans</i> (L.) R. Br. — Манник плавающий	3	9
85	<i>Humulus lupulus</i> L. — Хмель вьющийся	6	11
86	<i>Impatiens noli-tangere</i> L. — Недотрога обыкновенная	5	9
87	<i>Lysimachia nummularia</i> L. — Вербейник монетчатый	1	9
88	<i>Lysimachia vulgaris</i> L. — Вербейник обыкновенный	1	9
89	<i>Lythrum salicaria</i> L. — Дербенник иволлистный	1	9
90	<i>Matteuccia struthiopteris</i> (L.) Tod. — Страусопер обыкновенный	5	11
91	<i>Naumuburgia</i> Sp. — Кизляк	1	7
92	<i>Rubus caesius</i> L. — Ежевика сизая	7	11
93	<i>Solanum dulcamara</i> L. — Паслен сладко-горький	7	11
94	<i>Stellaria nemorum</i> L. — Звездчатка дубравная	5	10
95	<i>Thelypteris palustris</i> Schott — Телиптерис болотный	5	9

Продолжение таблицы

№ вида	Эколого-ценоотические группы	Диапазон значений по шкале богатства почв азотом	
		Nt1	Nt2
96	<i>Urtica dioica</i> L. — Крапива двудомная	5	11
<i>Лугово-лесные виды</i>			
97	<i>Achillea millefolium</i> L. — Тысячелистник обыкновенный	3	9
98	<i>Agropyron reptans</i> — Пырей ползучий	0	0
99	<i>Agrostis stolonifera</i> L. — Полевица собачья	3	9
100	<i>Agrostis tennis</i> Sibth. — Полевица тонкая	1	7
101	<i>Ajuga reptans</i> L. — Живучка ползучая	3	9
102	<i>Alchemilla vulgaris</i> L. — Манжетка обыкновенная	5	9
103	<i>Alopecurus geniculatus</i> L. — Лисохвост коленчатый	5	10
104	<i>Anthoxanthum odoratum</i> L. — Колосок душистый	1	9
105	<i>Anthriscus silvestris</i> (L.) Hoffm. — Купырь лесной	7	10
106	<i>Astragalus glycyphyllos</i> L. — Астрагал солодколистный	3	7
107	<i>Betonica officinalis</i> L. — Буквица лекарственная	1	7
108	<i>Bidens tripartita</i> L. — Череда трехраздельная	7	10
109	<i>Calystegia sepium</i> (L.) R. Вг. — Павой заборный	7	11
110	<i>Campanula glomerata</i> L. — Колокольчик скученный	1	10
111	<i>Campanula patula</i> L. — Колокольчик раскидистый	3	7
112	<i>Campanula persifolia</i> L. — Колокольчик персиколистный	1	7
113	<i>Campanula rapunculoides</i> L. — Колокольчик рапунцеливидный	3	7
114	<i>Carex appropinquata</i> Schum. — Осока сближенная	1	7
115	<i>Carex pallescens</i> L. — Осока бледная	3	7
116	<i>Carex pediformis</i> C.A. Mey — Осока стоповидная	1	7
117	<i>Centaurea jacea</i> L. — Василек луговой	1	9
118	<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Holub. — Иван-чай обыкновенный	4	10
119	<i>Clinopodium vulgare</i> L. — Пахучка обыкновенная	1	7
120	<i>Convolvulus arvensis</i> L. — Вьюнок полевой	1	9
121	<i>Coronaria flos-cuculi</i> (L.) A. Вг. — Горичвет кукушкин	1	9
122	<i>Dactylis glomerata</i> L. — Ежа сборная	4	10
123	<i>Deschampsia caespitosa</i> (L.) P. Beauv. — Щучка дернистая	1	7
124	<i>Festuca pratensis</i> Huds. — Овсяница луговая	5	9
125	<i>Fragaria moschata</i> (Duchesne) Weston — Земляника мускусная	4	10
126	<i>Galium schultesii</i> Vest — Подмаренник Шультеца	3	7
127	<i>Galium palustre</i> L. — Подмаренник болотный	3	7
128	<i>Geranium sylvaticum</i> L. — Герань лесная	5	10
129	<i>Glechoma hederacea</i> L. — Будра плющевидная	5	11
130	<i>Heracleum sibiricum</i> L. — Борщевик сибирский	0	0
131	<i>Heracleum sosnowskyi</i> Manden. — Борщевик Сосновского	0	0
132	<i>Hieracium caespitosum</i> Dumort. — Ястребинка дернистая	0	0
133	<i>Hieracium umbellatum</i> L. — Ястребинка зонтичная	1	5
134	<i>Hypericum maculatum</i> Crantz. — Зверобой пятнистый	1	5
135	<i>Lamium album</i> L. — Яснотка белая, или Глухая крапива	6	11
136	<i>Lamium maculatum</i> L. — Яснотка пятнистая	7	10
137	<i>Lathyrus pratensis</i> L. — Чина луговая	5	9
138	<i>Lathyrus sylvestris</i> L. — Чина лесная	3	9
139	<i>Leontodon autumnalis</i> L. — Кульбаба осенняя	3	9
140	<i>Leontodon hispidulus</i> L. — Кульбаба щетинистая	1	7
141	<i>Lunaria rediviva</i> L. — Лунник оживающий	6	11
142	<i>Lycopus europaeus</i> L. — Зюзник европейский	4	9
143	<i>Melandrium album</i> (Mill.) Garcke — Дрема белая	5	11
144	<i>Melampirum nemorosum</i> L. — Марьянник дубравный	3	7
145	<i>Melampirum pretense</i> L. — Марьянник луговой	1	7
146	<i>Myosotis spasiiflora</i> Pohl. — Незабудка редкоцветковая	0	0
147	<i>Pastinaca sativa</i> L. — Пастернак посевной	3	9
148	<i>Poa nemoralis</i> L. — Мятлик дубравный	1	7

О к о н ч а н и е т а б л и ц ы

№ вида	Эколого-ценоотические группы	Диапазон значений по шкале богатства почв азотом	
		Nt1	Nt2
149	<i>Polygonum persicaria</i> L. — Горец почечуйный	5	10
150	<i>Potentilla erecta</i> (L.) Racusch. — Лапчатка прямостоячая	1	5
151	<i>Primula veris</i> L. — Первоцвет весенний	1	7
152	<i>Prunella vulgaris</i> L. — Черноголовка обыкновенная	1	9
153	<i>Ranunculus acris</i> L. — Лютик едкий	1	9
154	<i>Ranunculus repens</i> L. — Лютик ползучий	1	9
155	<i>Rumex confertus</i> Willd. — Щавель конский	0	0
156	<i>Rumex obtusifolius</i> L. — Щавель туполистный	7	11
157	<i>Scutellaria hastifolia</i> L. — Шлемник обыкновенный	5	11
158	<i>Silene dioica</i> L. — Смолевка двудомная	0	0
159	<i>Silene nutans</i> L. — Смолевка поникшая	1	7
160	<i>Steris viscaria</i> (L.) Rafin. — Смолка обыкновенная	1	5
161	<i>Trifolium pratense</i> L. — Клевер луговой	1	10
162	<i>Trifolium repens</i> L. — Клевер ползучий	5	11
163	<i>Trollius europaeus</i> L. — Купальница европейская	5	9
164	<i>Veronica chamaedrys</i> L. — Вероника дубравная	1	9
165	<i>Vicia cracca</i> L. — Горошек мышиный	1	9
166	<i>Vicia sepium</i> L. — Горошек заборный	3	9
167	<i>Viola canina</i> L. — Фиалка собачья	1	5
168	<i>Viola collina</i> Bosser — Фиалка холмовая	1	5
169	<i>Viola hirta</i> L. — Фиалка опушенная	1	5
Сорные (рудеральные) виды			
170	<i>Alliaria petiolata</i> (M. Dieb.) Cavara & Grande — Чесночница черешковая	8	11
171	<i>Arctium tomentosum</i> Mill. — Лопух паутинистый	7	11
172	<i>Artemisia absinthium</i> L. — Полынь горькая	7	10
173	<i>Artemisia vulgaris</i> L. — Полынь обыкновенная	7	10
174	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medicus — Пастушья сумка	5	10
175	<i>Carduus crispus</i> L. — Чертополох курчавый	7	11
176	<i>Chelidonium majus</i> L. — Чистотел большой	7	10
177	<i>Chenopodium album</i> L. — Марь белая	5	10
178	<i>Cirsium setosum</i> (Willd.) Besser — Бодяк щетинистый	0	0
179	<i>Elytrigia repens</i> L. — Пырей ползучий	7	10
180	<i>Galeopsis ladanum</i> L. — Пикульник ладанниковый	1	7
181	<i>Galeopsis speciosa</i> Mill. — Пикульник красивый, зябра	7	11
182	<i>Galium mollugo</i> L. — Подмаренник мягкий	1	11
183	<i>Geranium sibiricum</i> L. — Герань сибирская	4	10
184	<i>Lapsana communis</i> L. — Бородавник обыкновенный	5	10
185	<i>Plantago major</i> L. — Подорожник большой	1	11
186	<i>Plantago media</i> L. — Подорожник средний	1	7
187	<i>Poa annua</i> L. — Мятлик однолетний	7	11
188	<i>Polygonum convolvulus</i> L. — Горец вьюнковый	4	10
189	<i>Rumex acetosella</i> L. — Щавель малый	1	5
190	<i>Senecio vulgaris</i> L. — Крестовник обыкновенный	7	10
191	<i>Stellata media</i> (L.) Vill. — Звездчатка средняя, или мокрица	5	11
192	<i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg. — Одуванчик лекарственный	5	11
193	<i>Tussilago farfara</i> L. — Мать-и-мачеха	1	9
194	<i>Veronica agrestis</i> L. — Вероника пашенная	5	11
Заносные виды			
195	<i>Aquilegia vulgaris</i> L. — Водосбор обыкновенный	3	7
196	<i>Armoracia rusticana</i> P.G. Gaerth. — Хрен обыкновенный	7	11
197	<i>Galinsoa quadriradiata</i> Ruiz & Pav. — Галинсога реснитчатая	7	11
198	<i>Impatiens glandulifera</i> Royle — Недотрога железистая	5	11
199	<i>Impatiens parviflora</i> DC. — Недотрога мелкоцветковая	5	9
200	<i>Solidago canadensis</i> L. — Золотарник канадский	5	11

банизированных территориях: для современных крупных городских агломераций с их развитой транспортной системой в большинстве случаев именно NO_x являются приоритетными загрязнителями атмосферного воздуха. При этом городские леса практически всегда граничат с автомобильными магистралями, а зачастую еще и фрагментированы участками автодорог.

При мониторинговых исследованиях с учетом взаимных превращений оксидов азота и того факта, что диоксид азота NO_2 является более токсичным газом, чем монооксид NO , заключения о загрязнении атмосферного воздуха часто делают на основании измерения и оценки концентрации NO_2 [15]. Так, в результате проведенного нами исследования [16], выявлено, что в границах островного лесного массива, соседствующего с автомагистралями (ельник Кунцевской дачи на западе Москвы в зоне воздействия Можайского шоссе, Кутузовского проспекта и Старовольнского шоссе), уровень значений концентраций NO_2 в целом снижается (рис. 1). Но, во-первых, это снижение не столь велико, во-вторых, выявляются зоны повышенной концентрации поллютанта (в среднем $80,6 \pm 8,6$ мкг/м³, а максимально — 137 мкг/м³) в участках леса, удаленных от источника загрязнения и отличающихся существенной нарушенностью биогеоценотической структуры вследствие рекреационной трансформации и техногенного воздействия (прокладка коммуникаций). О достаточно высоких концентрациях оксидов азота в подпологовом пространстве городских лесов сообщается и в публикациях других авторов [17, 18].

Выявление всех факторов такого положения — задача специальных исследований и тема отдельных публикаций. Здесь же целесообразно ограничиться следующими сведениями.

Можно констатировать, что защитное действие лесной растительности в отношении NO_x , проникающих в границы лесного массива со стороны автотранспортных магистралей по принципу «краевого эффекта», существует, но оно в определенной мере преувеличено. Основную же роль в судьбе поллютанта играет постепенное сухое осаждение на почвенную поверхность с последующей трансформацией в нитратные формы. Существенно, что и рекреационное воздействие на лесные биогеоценозы сопряжено с трансформацией локального азотного цикла, в том числе — с усилением денитрификации. Процесс денитрификации усиливается во второй половине вегетационного сезона, когда лесная растительность меньше нуждается в азоте (наши исследования проводились с июля по август), и на вытопанных участках он протекает наиболее интенсивно [20]. Вероятно, поступления техногенного азота под

полог рекреационного леса «редактируют» почвенный азотный цикл в направлении увеличения возвратных NO_x как промежуточных продуктов денитрификации. В результате из-за автотранспортного загрязнения в экосистеме городского лесного массива возникают предпосылки для эвтрофирования почвы и одновременно — для снижения полезных санитарно-гигиенических функций городских лесов в отношении NO_x .

Повышение азотного статуса почвы сопровождается как увеличением числа нитрофильных видов, так и обилием данных растений. Это касается прежде всего травяно-кустарничкового яруса как наиболее реактивной в отношении эвтрофирования части фитоценоза [7, 8, 21]. Поэтому о степени обеспеченности почв азотом можно судить по объему доли видов, стенобионтных в отношении богатства почв азотом. По данным публикаций о видовом разнообразии травяно-кустарничкового яруса в лесных биогеоценозах в границах московских особо охраняемых природных территорий [22–25] составлены индикационные таблицы, приведенные ниже (таблица). В них учитываются принадлежность видов к эколого-ценотическим группам (в трактовке С.А. Ильинской и А.А. Матвеевой [26, 27]) и диапазоны толерантности (Nt1–Nt2) по шкале богатства почв азотом Д.Н. Цыганова [28]. Такой подход позволяет по данным геоботанических описаний оценить одновременно и степень рекреационной трансформации экосистемы (по соотношению обилий лесных видов к количеству лесолуговых, сорных и заносных видов), и азотный статус почв (по доле участия нитрофильных стенобионтов). К последним относят виды с диапазонами толерантности по шкале богатства почв азотом «5–9» (почвы, достаточно обеспеченные азотом) и «7–11» (почвы, богатые азотом) [29].

Выводы

Используя результаты регулярных наблюдений изменения видового разнообразия травяно-кустарничкового яруса, можно отслеживать экосистемные изменения — как в связи с рекреационным воздействием, так и в связи с изменением азотного статуса лесных почв, а также исследовать сопряженную динамику лесных экосистем под действием обоих факторов в урбанизированных условиях. В качестве примера можно привести результаты мониторинговых исследований в ельнике Кунцевской дачи, опубликованные в работе [22]: установлено, что нитрофильные виды преобладают в травяно-кустарничковом ярусе и за десятилетний период доля их участия возросла независимо от принадлежности к определенной эколого-ценотической группе и выраженности рекреационной дигрессии.

Автор будет признательна за замечания и рекомендации по добавлению содержания публикуемых индикационных таблиц.

Список литературы

- [1] The European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP). Available at: <http://www.emep.int> (accessed 22 April 2017).
- [2] Sutton M.A. The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives. Cambridge: University Press, 2011. 612 p. DOI: 10.1017/CBO9780511976988
- [3] Chapuis-Lardy L., Wrage N., Metay A., Chotte J.L., Bernoux M. Soils, a sink for N₂O? A review // *Glob. Change Biol.*, 2007, vol. 13, pp. 1–17. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2006.01280.x
- [4] Bobbink R., Hettelingh J.P. Review and revision of empirical critical loads. Proc. of an expert workshop. Noordwijkerhout: RIVM Report, 2011, 244 p.
- [5] Magnani F., Mencuccin M., Borghetti M., Berbigier P. The human footprint in the carbon cycle of temperate and boreal forests // *Nature*, 2007, vol. 447, pp. 849–851. DOI: 10.1038/nature05847
- [6] Аверкиева И.Ю., Припутина И.В. Оценка влияния техногенной эмиссии NO_x на питательный режим лесных биогеоценозов // *Вестник КГУ им. Н.А. Некрасова*, 2011. № 3. С. 51–57.
- [7] Bobbink R., Hornung M., Roelofs J.G.M. The effects of air-borne nitrogen pollutants on species diversity in natural and semi-natural European vegetation // *Journal of Ecology*, 1998, vol. 86, pp. 717–738. DOI: 10.1046/j.1365-2745.1998.8650717.x
- [8] Effects of Nitrogen Deposition on Forest Ecosystems. Report 5067 / Ed. Ulla Bertills and Torgny Ndsholm. Stockholm: Swedish environmental protection agency, 2000, 162 p.
- [9] Федорев Н.Г., Бахмет О.Н. Экологические особенности трансформации соединений углерода и азота в лесных почвах. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. 240 с.
- [10] Веселкин Д.В., Колтунов Е.В., Кайгородова С.Ю. Разнонаправленное изменение активности патогенных и эктомикоризных грибов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) в урбанизированных лесах // *Проблемы лесной фитопатологии и микологии*. Матер. IX Междунар. конф.; под ред. В.Г. Стороженко. В.Б. Звягинцева. Минск: Белорусский гос. технологический университет, 2015. С. 53–56.
- [11] Ecosystem response to 15 years of chronic nitrogen additions at the Harvard Forest LTER, Massachusetts, USA / Magill A., Aber J.D., Currie W.S., Nadelhoffer K.J., Martin M.E., McDowell W.H., Melillo J.M., Stuedler P.S. // *Forest Ecology and Management*, 2004, vol. 196, pp. 7–28. DOI:10.1016/j.foreco.2004.03.033
- [12] Ваганов Е.А., Круглов В.Б. Экология древесных растений: учебник. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2007. 230 с.
- [13] Wallenda T., Kottke I. Nitrogen deposition and ectomycorrhizas // *New Phytologist*, 1998, vol. 139, pp. 169–187. DOI:10.1046/j.1469-8137.1998.00176.x
- [14] Lilleskov E.A., Fahey T.J., Horton T.R., Lovett G.M. Belowground ectomycorrhizal fungal community change over a nitrogen deposition gradient in Alaska // *Ecology*, 2002, vol. 83, pp. 104–115. DOI: 10.1890/0012-9658(2002)083[0104:BEFCCO]2.0.CO;2
- [15] Якубов Х.Г. Экологический мониторинг зеленых насаждений Москвы. М.: Стагирит, 2005. 264 с.
- [16] Беднова О.В., Кузнецов В.А. Эффективность экологических функций лесной экосистемы в границах современного мегаполиса // *Матер. XVII Междунар. науч.-практ. конф. «Проблемы озеленения крупных городов»*. М.: ВДНХ, 2016. С. 22–27.
- [17] Grundström M., Pleijel H. Limited effect of urban tree vegetation on NO₂ and O₃ concentrations near a traffic route // *Environmental Pollution*, 2014, vol. 189, pp. 73–76. DOI: 10.1016/j.envpol.2014.02.026
- [18] Setälä H., Viippola V., Rantalainen A.-L., Pennanen A., Yli-Pelkonen V. Does urban vegetation mitigate air pollution in northern conditions? // *Environmental Pollution*, 2013, vol. 183, pp. 104–112. DOI: 10.1016/j.envpol.2012.11.010
- [19] Беднова О.В., Кузнецов В.А., Тарасова Н.П. Трансформация лесных экосистем в урбанизированных условиях: индикация и интегральная оценка // *Доклады Академии наук*, 2015. Т. 463. № 6. С. 713–718. DOI: 10.7868/S0869565215240159
- [20] Егорова С.В., Лаврова В.А. Влияние рекреационного лесопользования на микрофлору и азотфиксирующую активность почв в сосняках // *Природные аспекты рекреационного использования леса*. М.: Наука, 1987. С. 108–126.
- [21] Припутина И.В., Зубкова Е.В., Комаров А.С. Ретроспективная оценка динамики обеспеченности азотом сосновых лесов ближнего Подмосковья по данным фитоиндикации // *Лесоведение*, 2015. № 3. С. 172–181. DOI: 10.1134/S1995425515070112
- [22] Беднова О.В. Оценка азотного статуса городской лесной экосистемы на основе геоботанических описаний // *Актуальные проблемы лесного комплекса*. Сб. науч. трудов. Вып. 44. Брянск: БГИТУ, 2016. С. 90–96.
- [23] Абатуров А.В., Меланхолин П. Естественная динамика леса на постоянных пробных площадях в Подмосковье. Тула: Гриф и К., 2004. 336 с.
- [24] Меланхолин П.Н., Быков А.В., Бочкин В.Д., Шашкова Г.В. Флора природного заказника «Долина реки Сетуны». М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 107 с.
- [25] Рысин Л.П. Мониторинг рекреационных лесов: коллективная монография. М.: ОНТИ ПНЦ РАН, 2003. 169 с.
- [26] Ильинская С.А., Матвеева А.А., Речан С.П., Казанцева Т.Н., Орлова М.А. Типы леса // *Леса западного Подмосковья*. М.: Наука, 1982. С. 20–150.
- [27] Ильинская С.А., Матвеева А.А., Казанцева Т.Н. // *Леса южного Подмосковья*. М.: Наука, 1985. С. 54–256.
- [28] Цыганов Д.Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М.: Наука, 1983. 197 с.
- [29] Жукова Л.А., Дорогова Ю.А., Гаврилова М.Н., Турмухаметова Н.В., Полянская Т.А. Экологические шкалы и методы анализа экологического разнообразия растений. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2010. 368 с.

Сведения об авторе

Беднова Ольга Викторовна — канд. биол. наук, доцент, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), e-mail: oliabednova@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 09.02.2017 г.

INDICATION OF EUTROPHICATION IN THE FOREST ECOSYSTEMS ON URBAN AREAS

O.V. Bednova

BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

oliabednova@rambler.ru

The consequences of increasing the forest ecosystems nitrogen status (eutrophication) due to aerotechnogenic growth of nitrogen compounds are discussed. Dynamic ecological changes are especially possible in urban forests. For modern large urban agglomerations with their highly-developed transport system NO_x is a main air pollutant. At the same time, urban forests almost always border highways and are often fragmented by road sections. The increased concentrations zone of nitrogen dioxide was detected in the urban forest by using passive dosimetry. This forest site is characterized by a strong recreational transformation. It should be assumed that the inputs of technogenic nitrogen under the canopy of the recreational forest «edit» the soil nitrogen cycle in the direction of increasing return NO_x as intermediate products of denitrification. As a result, in the urban forest ecosystem due to road transport pollution the conditions for eutrophication are formed and proper sanitary and hygienic functions are reduced. Eutrophication is accompanied by an increase in the abundance of the stenobiont species that require nitrogen constituents. Reference tables have been compiled for assessment the nitrogen status of the urban forest ecosystems based on geobotanical descriptions.

Keywords: emission of nitrogen oxides, eutrophication, urban forests, phytoindication, stenobionts.

Suggested citation: Bednova O.V. *Indikatsiya evtrofirovaniya lesnykh ekosistem na urbanizirovannykh territoriyakh* [Indication of eutrophication in the forest ecosystems on urban areas]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 3, pp. 4–14. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-3-4-14

References

- [1] The European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP). Available at: <http://www.emep.int> (accessed 22 April 2017).
- [2] Sutton M.A. The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives. Cambridge: University Press, 2011, 612 p. DOI: 10.1017/CBO9780511976988
- [3] Chapuis-Lardy L., Wray N.A., Metay A., Chotte J.L., Bernoux M. Soils, a sink for N₂O? A review. *Glob. Change Biol*, 2007, vol. 13, pp. 1-17. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2006.01280.x
- [4] Bobbink R., Hettelingh J. P. Review and revision of empirical critical loads. Proc. of an expert Workshop. Noordwijkerhout: RIVM Report: 680359002, 2011, 244 p.
- [5] Magnani F., Mencuccin M., Borghetti M., Berbigier P. The human footprint in the carbon cycle of temperate and boreal forests. *Nature*, 2007, vol. 447, pp. 849-851. DOI: 10.1038/nature05847
- [6] Averkieva I.Yu., Pripulina I.V. *Otsenka vliyaniya tekhnogennoy emissii NOx na pitatel'nyy rezhim lesnykh biogeotsenozov* [Assessment of the impact of technogenic NO_x emissions on the nutritional status of forest biogeocenoses], *Vestnik KGU im. N.A. Nekrasova* [Bulletin of the Kostroma State University named after N.A. Nekrasov], 2011, no. 3, pp. 51-57.
- [7] Bobbink R., Hornung M.J., Roelofs G. The effects of air-borne nitrogen pollutants on species diversity in natural and semi-natural European vegetation. *Journal of Ecology*, 1998, vol. 86, pp. 717-738. DOI: 10.1046/j.1365-2745.1998.8650717.x
- [8] Effects of Nitrogen Deposition on Forest Ecosystems. Report 5067. Ed. Ulla Bertills and Torgny Ndsholm. Stockholm: Swedish environmental protection agency, 2000, 162 p.
- [9] Fedorets N.G., Bakhmet O.N. *Ekologicheskie osobennosti transformatsii soedineniy ugleroda i azota v lesnykh pochvakh* [Ecological settings of carbohydrate and nitrogen transformations in forest soils]. Petrozavodsk, Karelian Research Center of RAS Publ., 2003. 240 p.
- [10] Veselkin D., Koltunov E.V., Kaygorodova S. Yu. *Raznopravlennoe izmenenie aktivnosti patogennykh i ektomikoriznykh gribov sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris) v urbanizirovannykh lesakh* [Multidirectional changes in the activity of pathogenic and ectomycorrhizal pine fungi (Pinus sylvestris) in urban forests]. *Materialy IX Mezhdunarodnoy konferentsii "Problemy lesnoy fitopatologii i mikologii"* [Materials of the IXth International Conference "Problems of forest phytopathology and mycology"]. Minsk: Belarusian State Technological University Publ., 2015, pp. 53-56.
- [11] Magill A., Aber J.D., Currie W.S., Nadelhoffer K.J., Martin M.E., McDowell W.H., Melillo J.M., Steudler P.S. Ecosystem response to 15 years of chronic nitrogen additions at the Harvard Forest LTER, Massachusetts, USA. *Forest Ecology and Management*, 2004, vol. 196, pp. 7-28. DOI:10.1016/j.foreco.2004.03.033.
- [12] Vaganov E.A., Kruglov V.B. *Ekologiya drevesnykh rasteniy* [Ecology of woody plants]. Krasnoyarsk: Siberian Federal University Publ., 2007, 230 p.
- [13] Wallenda T., Kottke I. Nitrogen deposition and ectomycorrhizas. *New Phytologist*, 1998, vol. 139, pp. 169-187. DOI: 10.1046/j.1469-8137.1998.00176.x
- [14] Lilleskov E.A., Fahey T.J., Horton T.R., Lovett G.M. Belowground ectomycorrhizal fungal community change over a nitrogen deposition gradient in Alaska. *Ecology*, 2002, vol. 83, pp. 104-115. DOI: 10.1890/0012-9658(2002)083[0104:BEFCCO]2.0.CO;2
- [15] Yakubov Kh.G. *Ekologicheskiy monitoring zelenykh nasazhdeniy Moskvy* [Ecological monitoring of green plantings in Moscow]. Moscow: Stagirit Publ., 2005, 264 p.
- [16] Bednova O.V., Kuznetsov V.A. *Effektivnost' ekologicheskikh funktsiy lesnoy ekosistemy v granitsakh sovremennogo megapolisa* [Efficiency of ecological functions of the forest ecosystem within the boundaries of the modern megalopolis] *Materialy XVII*

- Mezhdunarodnoy nauchn.-prakt. konf. «Problemy ozeleneniya krupnykh gorodov»* [Materials of the XVIIth International scientific-practical. conf. «Problems of greening large cities». Moscow, VДNY Publ., 2016, pp. 22-27.
- [17] Grundström M., Pleijel H. Limited effect of urban tree vegetation on NO₂ and O₃ concentrations near a traffic route. *Environmental Pollution*, 2014, vol. 189, pp. 73-76. DOI: 10.1016/j.envpol.2014.02.026
- [18] Setälä H., Viippola V., Rantalainen A.-L., Pennanen A., Yli-Pelkonen H. Does urban vegetation mitigate air pollution in northern conditions? *Environmental Pollution*, 2013, vol. 183, pp. 104-112. DOI: 10.1016/j.envpol.2012.11.010
- [19] Bednova O.V., Kuznetsov V.A., Tarasova N.P. *Transformation of urban forest ecosystems: indication and integral assessment* [Doklady Earth Sciences], 2015, vol. 463, part. 2. pp. 868-872. DOI: 10.1134/S1028334X15080176
- [20] Egorova C.B., Lavrova V.A. *Vliyaniye rekreatsiionnogo lesopol'zovaniya na mikrofloru i azotfiksiruyushchuyu aktivnost' pochv v sosnyakakh* [Influence of recreational forest use on microflora and nitrogen-fixing activity of soils in pine forests]. *Prirodnye aspekty rekreatsiionnogo ispol'zovaniya lesa* [Natural aspects of recreational forest use]. Moscow. Science Publ., 1987, pp. 108-126.
- [21] Priputina I.V., Zubkova E.V., Komarov A.S. *Retrospektivnaya otsenka dinamiki obespechennosti azotom sosnovykh lesov blizhnego Podmoskov'ya po dannym fitoindikatsii* [Dynamics of nitrogen availability of pine forests of Moscow Vicinities based on phytoindication: a retrospective assessment]. *Lesovedenie* [Forestry], 2015, no. 3, pp. 172-181.
- [22] Bednova O.V. *Otsenka azotnogo statusa gorodskoy lesnoy ekosistemy na osnove geobotanicheskikh opisaniy* [Assessment of the nitrogen status of the urban forest ecosystem based on geobotanical descriptions]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forestry complex]. Bryansk: BSITU Publ., 2016, no. 44. pp. 90-96.
- [23] Abaturov A.V., Melankholin P.N. *Estestvennaya dinamika lesa na postoyannykh probnykh ploshchadyakh v Podmoskov'e* [The natural dynamics of the forest on permanent test plots in the Moscow region]. Tula: Grif and K Publ., 2004, 336 p.
- [24] Melankholin P.N., Bykov A.V., Bochkin V.D., Shashkova G.V. *Flora prirodnogo zakaznika «Dolina reki Setun'»* [Flora of the Natural Reserve «Setun River Valley»]. Moscow: Partnership of scientific publications of KMC Publ., 2008, 107 p.
- [25] *Monitoring rekreatsiionnykh lesov*. Kollektivnaya monografiya [Monitoring of recreational forests]. Moscow: ONTI PNC RAS Publ., 2003, 169 p.
- [26] Il'inskaya S.A., Matveeva A.A., Rechan S.A., Kazantseva T.N., Orlova M.A. *Tipy lesa* [Types of forest]. *Lesa zapadnogo Podmoskov'ya* [Forests of the Western suburbs of Moscow]. Moscow: Science Publ, 1982, pp. 20-150.
- [27] Il'inskaya S.A., Matveeva A.A., Kazantseva T.N. *Tipy lesa* [Types of forest]. *Lesa yuzhnogo Podmoskov'ya* [Forests of the southern suburbs of Moscow]. Moscow: Science Publ, 1985, pp. 54-256.
- [28] Tsyganov D.N. *Fitoindikatsiya ekologicheskikh rezhimov v podzone khvoynno-shirokolistvennykh lesov* [Phytoindication of ecological regimes in the subzone of coniferous-broad-leaved forests]. Moscow, Science Publ., 1983, 197 p.
- [29] Zhukova L.A., Dorogova Yu.A., Gavrilova M.N., Turmukhametova N.V., Polyanskaya T.A. *Ekologicheskie shkaly i metody analiza ekologicheskogo raznoobraziya rasteniy* [Ecological scales and methods for the analysis of ecological diversity of plants]. Yoshkar-Ola: Mari State University Publ., 2010, 368 p.

Author's information

Bednova Ol'ga Viktorovna — Cand. Sci. (Biol.) Assoc. Prof, BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: oliabednova@rambler.ru

Received 09.02.2016