ЛЕСОВЕДЕНИЕ, 2013, № 5, с. 62–75

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

УДК 630*577.4

ОЦЕНКА КРИТЕРИЕВ УСТОЙЧИВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛЕСАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНДИКАТОРОВ МЕЖДУНАРОДНОЙ ПРОГРАММЫ ICP FORESTS*

© 2013 г. Н. В. Лукина[1], М. А. Орлова[1], А. В. Горнов[1], А. М. Крышень[3], П. В. Кузнецов[1], С. В. Князева[1], В. Э Смирнов.[2], О. Н. Бахмет[3], С. П. Эйдлина[1], В. В. Ершов[4], Н. В. Зукерт[1], Л. Г. Исаева[4]

[1] Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН
117997 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32, e-mail:lukina@cepl.rssi.ru
[2] Институт математических проблем биологии РАН
142290 Пущино Московской обл., ул. Институтская, д. 4
[3] Институт леса КарНЦ РАН
185910 Петрозаводск, Республика Карелия, ул. Пушкинская, 11
[4] Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН
184209 Апатиты Мурманской обл., Академгородок, 14а
E-mail:nv107@yandex.ru.
Поступила в редакцию 15.01.2013г.

В статье дана оценка международных критериев устойчивого управления лесами на основе индикаторов программы ICP Forests. Данная программа позволяет оценивать Критерий 2 – сохранение здоровья и жизнеспособности лесов и Критерий 4 – сохранение и увеличение биологического разнообразия лесных экосистем. Информативными индикаторами Критерия 2 являются степень дефолиации крон древесных растений, параметры состава атмосферных выпадений, почв, фотосинтезирующих органов доминирующих древесных растений. Оценка Критерия 4 проведена на основе показателей биоразнообразия, включая распределение лесов по возрасту и породному составу, набор основных групп лесных сообществ (групп типов леса) и их количественную представленность на территории регионов, число видов деревьев и кустарников, встречающихся в лесах, видовое богатство и видовую насыщенность. Предпринята попытка показать, отражает ли сеть пунктов постоянного наблюдения в полной мере типологическую и возрастную структуру лесов Карелии и Карельского перешейка.

Леса, устойчивое управление, критерии, индикаторы, ICP Forests, дефолиация, почвы, биоразнообразие.

Международные политические процессы, направленные на успешное развитие лесного хозяйства, связаны с совершенствованием систем оценок устойчивого управления лесами [26, 29].

В отчете для Министерской конференции по защите лесов Европы 2011 года [29] дан анализ оценки шести критериев управления лесами: Критерий 1 – сохранение и увеличение лесных ресурсов и их вклад в глобальные циклы углерода; Критерий 2 – сохранение здоровья и жизнеспособности лесов; Критерий 3 – сохранение и возрастание продуктивных функций лесов (древесные и недревесные ресурсы); Критерий 4 – сохранение и увеличение биологического разнообразия лесных экосистем; Критерий 5 – сохранение и возрастание защитных функций в управлении лесами; Критерий 6 – сохранение других социально-экономических функций. Мониторинг лесов по международной программе оценки и мониторинга воздействия загрязнения воздуха на леса – ICP Forests – позволяют оценивать Критерий 2 и Критерий 4 из этого списка Критериев. Для оценки Критерия 2 используются индикаторы состояния древесных растений, состава атмосферных выпадений, почв; для оценки

* РФФИ № 12-433193-мол_а_вед, РФФИ 13-04-01644А, Программы Президиума РАН “Биологическое разнообразие”

Критерия 4 применяются различные индикаторы биоразнообразия.

Программа ICP Forests была учреждена ЕЭК ООН в рамках Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния (CLRTAP) в 1985 г. В настоящее время ICP Forests – одна из самых крупных в мире программ биомониторинга, в которой участвует 41 страна, в том числе Российская Федерация. Мониторинг лесов по ICP Forests начал осуществляться в СССР с 1987 г. (Указ Верховного Совета СССР, 1980). В соответствии с Конвенцией СССР должен был создать систему мониторинга лесов на глубину 500 км от своих западных границ. Федеральная служба лесного хозяйства как единственное ведомство, отвечающее за мониторинг лесов России, начала реализацию этой программы. В 1995 г. Положение о мониторинге по программе ICP Forests утверждено Федеральной службой лесного хозяйства РФ [22].

Значительный вклад в продвижение и организацию работ по ICP Forests на новом этапе, начавшемся в 2006 году, когда ЦЭПЛ РАН был назначен национальным координационным центром программы, внес Георгий Николаевич Коровин. Мониторинг по программе ICP Forests в России проводится на двух уровнях: экстенсивном – уровне 1 и интенсивном – уровне 2. Мониторинг уровня 1 состоит из 4 блоков: 1 – оценка состояния крон древесных растений; 2 – оценка состояния почв; 3 – оценка питательного режима древесных растений; 4 – оценка биоразнообразия растений. Мониторинг уровня 2 проводится с учетом оценки всех индикаторов уровня 1, дополнительно оценивается состав атмосферных выпадений и почвенных вод. Подробно методика изложена в документе, утвержденном Рослесхозом в 2009 г. под названием “Методические рекомендации по мониторингу лесов в соответствии с международной программой ICP Forests” [16].

Регулярный мониторинг уровня 1 осуществляется на пунктах постоянного наблюдения (ППН), расположенных в узлах сети, размер ячейки которой варьирует от 16*16 до 64*64 км в шести субъектах Российской Федерации: Мурманской, Ленинградской, Псковской, Новгородской, Калининградской областях и Республике Карелия [2] (рис. 1). Сеть охватывает все подзоны тайги (северную, среднюю и южную), а также хвойно-широколиственные леса. На основе сумм температур воздуха за период со средними суточными температурами более 10° С (*ST*) на сети выделены следующие климатические зоны: очень холодная (*ST* = 0–500° С), холодная (*ST* = 500–1000° С), умеренная (*ST*=1000–1500° С), теплая (*ST* = 1500–2000° С), очень теплая (*ST* > 2000° С) [18]. Мониторинг состояния древесных растений проводит Российский центр защиты леса, координатор работ – руководитель Центра защиты леса Ленинградской области Р.Н. Глебов. Оценка остальных показателей, обсуждаемых в этой статье, проводится в сотрудничестве тремя институтами: Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Институт леса Карельского научного центра РАН, Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН. Цель данной статьи – продемонстрировать возможности оценки Критерия 2 и Критерия 4 из списка международных Критериев и индикаторов устойчивого управления лесами на основе наиболее информативных показателей программы ICP Forests. Наличие на сегодняшний день данных определяют регионы, на примере которых демонс-

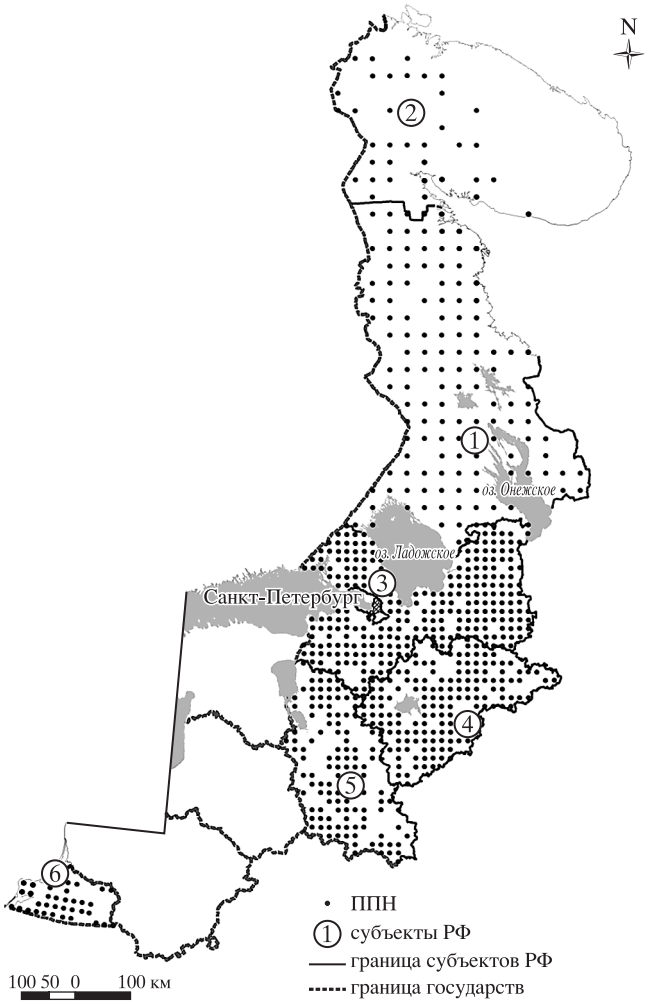

Рис. 1. Сеть пунктов постоянного наблюдения на сети первого уровня Международной программы мониторинга лесов ICP Forests

трируется информативность показателей. Так, параметры состояния древесных растений получены для ППН всей сети, тогда как показатели состава атмосферных выпадений в многолетней динамике – пока только для Мурманской области, а состояния почв – для Мурманской области, Карелии и Карельского перешейка.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

1. Оценка Критерия 2 – сохранение здоровья и жизнеспособности лесов

1.1. Оценка состояния древесных растений

Состояние древесных пород оценивали на основе таких показателей, как степень дефолиации, степень обесцвечивания (дехромации), категория состояния и др. [21]. Анализ параметров состояния древесных пород показал, что более 50% деревьев на всей сети мониторинга характеризуются той или иной степенью дефолиации (рис. 2, 3). Древесные растения с высоким уровнем дефолиации приурочены к озерно-ледниковым ландшафтам низменных платформенных равнин и к ландшафтам возвышенных платформенных равнин (докембрийские щиты и кряжи с ледниковой обработкой) в Карелии и Ленинградской области [20]. Здесь произрастают в основном деревья хвойных пород в возрасте от 80 до 190 лет. Анализ динамики средних оценок дехромации деревьев свидетельствует, что этот показатель не превышает уровень 5%. Дехромации подвержено от 10 до 40% деревьев; наиболее часто встречающиеся классы – 0–5 и 5–10%.

Распределение деревьев основных лесообразующих пород по категориям состояния в 2008–2010 гг. показало, что доля здоровых деревьев на сети мониторинга варьирует от 75 до 80%, ослабленных – от 14 до 20%, сильно ослабленных – от 3 до 6%, доля сухостоя и усыхающих деревьев не превышала 3%. Санитарное состояние деревьев на ППН за период 2008–2010 гг. варьирует только в двух регионах (Карелия и Ленинградская область) от категории “здоровые” до “сильно ослабленные”. Большая часть деревьев преобладающих пород на ППН отнесена к категории “здоровые”. В Ленинградской области в 2009 г. на половине обследованных ППН идентифицируются деревья, относящиеся к категории санитарного состояния “ослабленные” и “сильно ослабленные”. В 2008–2010 гг. на подавляющем большинстве ППН (77%) категория состояния деревьев не изменилась. Основные изменения этого показателя приурочены к Карельскому перешейку Ленинградской области и югу Карелии: здесь расположены ППН как с негативной, так и с положительной тенденцией изменения категорий санитарного состояния деревьев. На территориях остальных субъектов РФ расположено по 1–3 ППН, на которых категория санитарного состояния древостоя изменялась в период 2008–2010 гг. В целом по всем шести регионам большая часть ослабленных деревьев на ППН представлена хвойными породами возраста от 80 до 200 лет, число ППН с ослабленными деревьями лиственных пород (в основном береза и осина) значительно ниже. Из рассмотренных индикаторов наибольшую чувствительность демонстрирует степень дефолиации. Так, не более 60% деревьев на всей сети характеризуются той или иной степенью дефолиации, как правило, не превышающей 10%, тогда как дехромации подвержено от 10 до 40% деревьев. Согласно значениям индикатора “категория состояния”, около 80% деревьев на сети относятся к “здоровым”. Исключительным был 2011 г., отличающийся ветровалами, особенно в Ленинградской области, где учеты показали резкое возрастание доли деревьев категории “погибшие” [21].

1.2. Оценка состава атмосферных выпадений

Состав атмосферных выпадений является информативным индикатором Критерия 2 [26, 29]. Воздушное промышленное загрязнение – крупномасштабный фактор, определяющий современное состояние лесов. Приоритетным воздушным кислотообразующим поллютаном в России является сернистый газ. На территории Мурманской области функционируют медно-никелевые комбинаты “Североникель” и “Печенганикель” – самые мощные источники выбросов в атмосферу загрязняющих веществ в Северной Европе. Выбросы комбинатов оказывают на лесные экосистемы прямое (фумигация, выщелачивание элементов питания из ассимилирующих органов и др.) и опосредованное (изменение кислотности и питательного режима почв, снижение устойчивости к грибным болезням, экстремальным климатическим условиям и т.д.) воздействие. Воздушное промышленное загрязнение, вызывая образование значительных объемов горючего материала, способствует возникновению пожаров. Поэтому, как правило, в окрестностях источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу наблюдаются не чисто техногенные, а мозаика техногенно-пирогенных сукцессий. В этих условиях наблюдается дигрессия лесов, при этом идентифицируются три основные стадии: дефолиирующие леса, техногенные редколесья и пустоши [12, 13, 14].

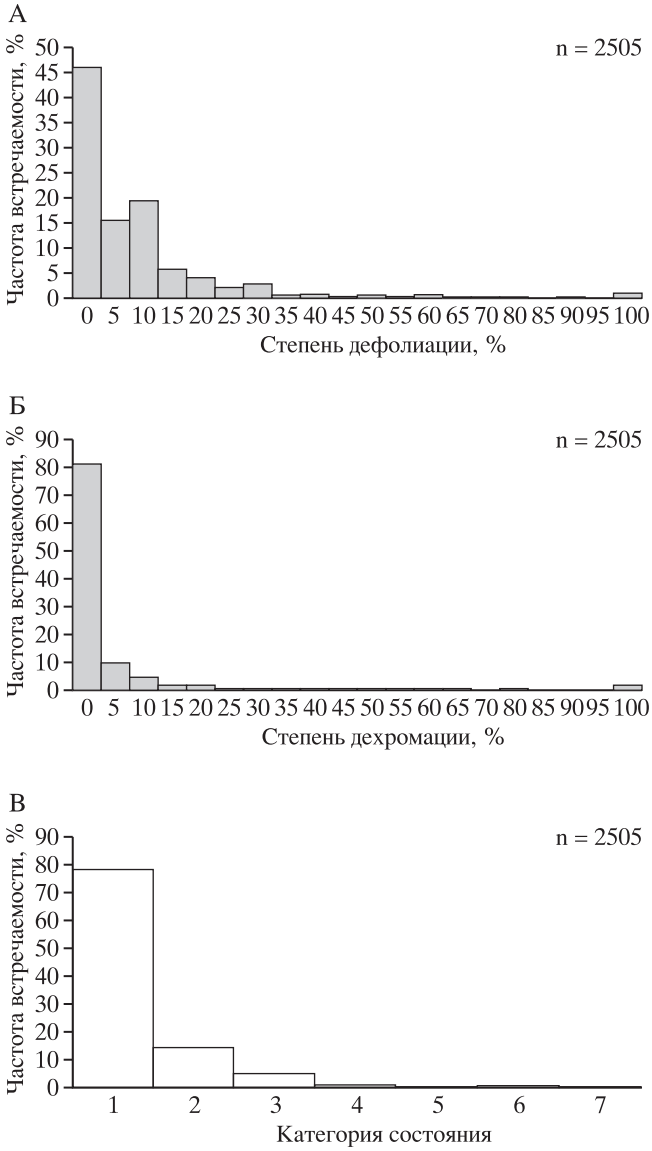

Рис. 2. Гистограммы частот распределения параметров состояния деревьев ели, 2009 г.: А – степень дефолиации, Б – степень дехромации, В – категории состояния.

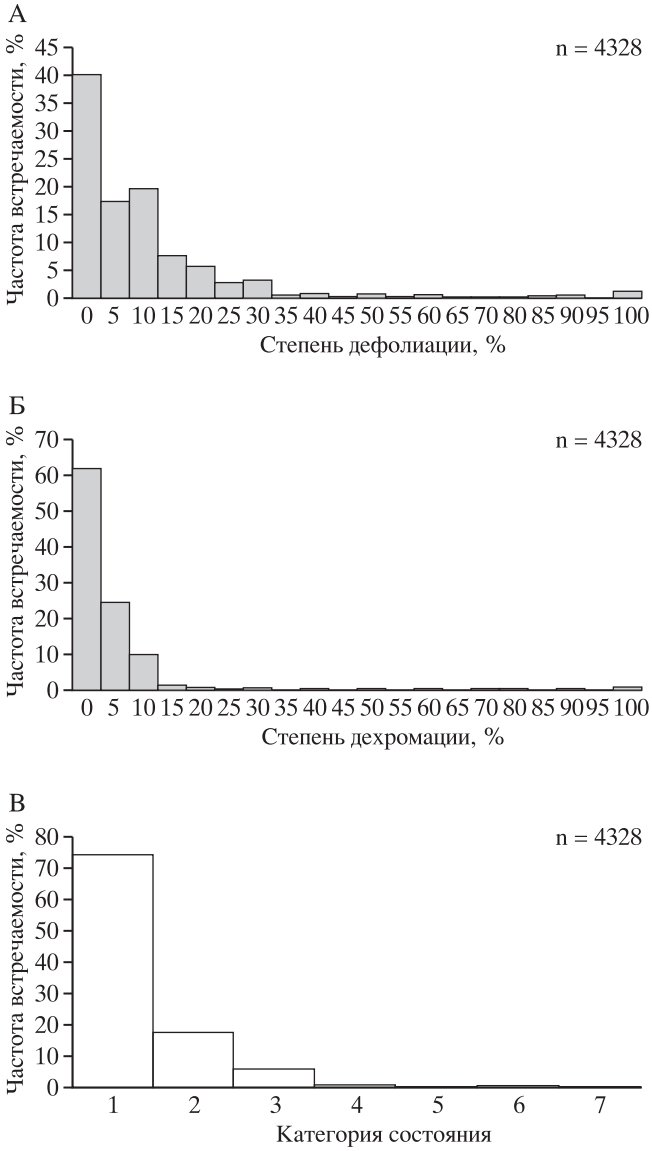

Рис. 3. Гистограммы частот распределения параметров состояния деревьев сосны, 2009 г.: А – степень дефолиации, Б – степень дехромации, В – категории состояния.

В дефолиирующих лесах и техногенных редколесьях обнаруживается значительное возрастание концентраций поллютантов в атмосферных выпадениях. По сравнению с фоновыми значениями концентрации меди и никеля возрастали на 1–2 порядка, а сульфатов – в 2–2.5 раза. В табл. 1 на примере снеговых выпадений показано, что концентрации поллютантов в атмосферных выпадениях в еловых лесах чаще всего выше, чем в сосновых. При этом в древесных элементарных биогеоценотических ареалах (ЭБГА) содержание поллютантов в выпадениях выше, чем в межкроновых, что связано с сорбирующей способностью крон древесных растений [11, 12, 13].

В последние два десятилетия происходит снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на комбинате “Североникель” (www.nornik.ru). Об этом свидетельствует динамика содержания поллютантов в снеговых выпадениях на фоновых территориях, тогда как в дефолиирующих лесах, редколесьях и на пустошах наблюдаются лишь незначительные тренды к снижению содержания поллютантов в межкроновых выпадениях (рис. 4). В начале 1990-х годов площади превышений критических нагрузок соединений серы в Мурманской области достигали 90 000 км^2, а на площади около 39 000 км^2 (40% лесной территории области) обнаруживались визуальные призна-

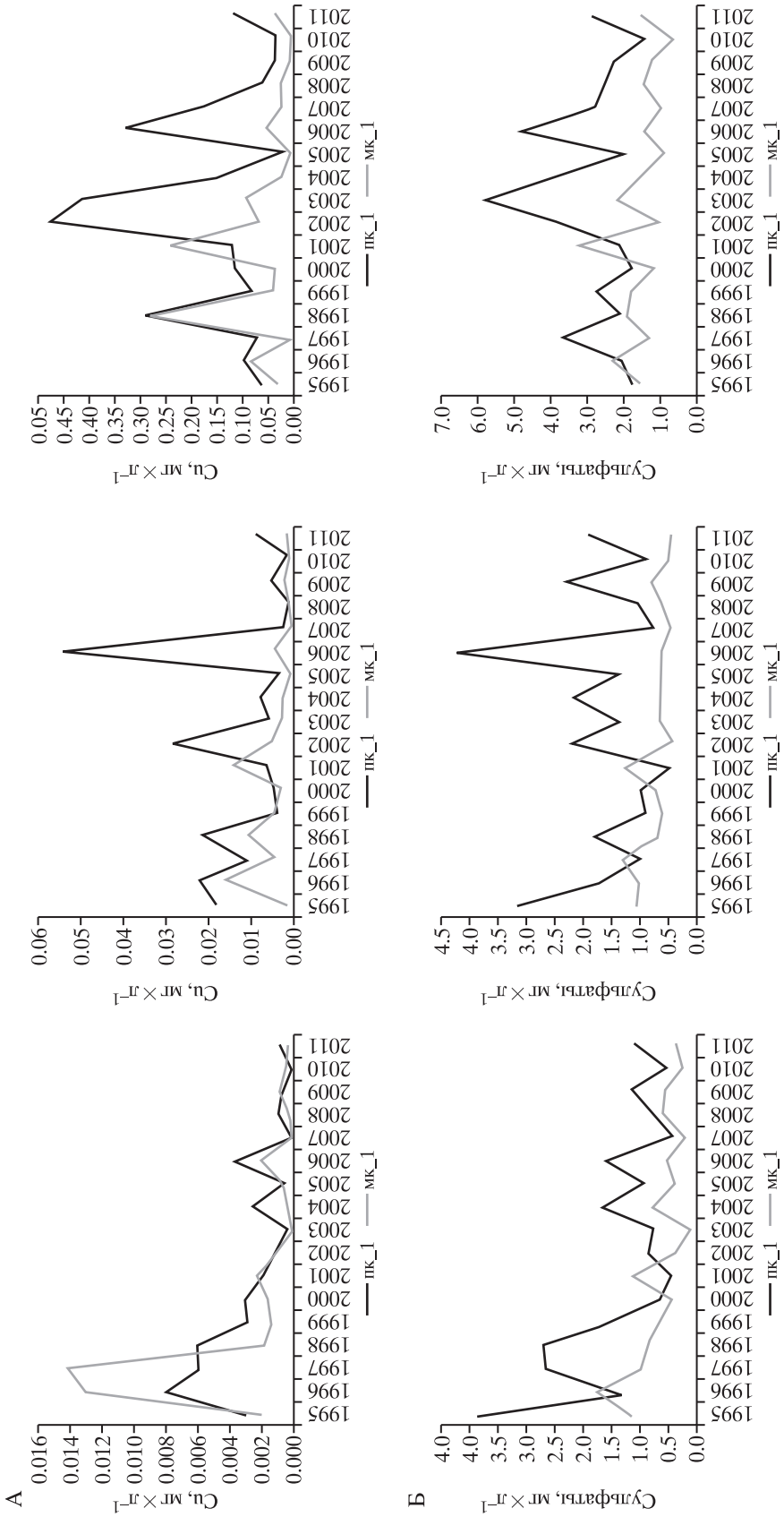

Рис. 4. Динамика концентрации меди (А) и сульфатов (Б) в снеговых выпадения в еловых лесах Мурманской области с 1995 по 2011 г.
Фоновые условия: пк_1 – подкроновые пространства, мк_1 – межкроновые пространства;
Дефолиирующие леса: пк_2 – подкроновые пространства, мк_2 – межкроновые пространства;
Редколесье/пустошь: пк_3 – подкроновые пространства, мк_3 – межкроновые пространства.

Таблица 1. Средние концентрации поллютантов в снеговых выпадениях в еловых и сосновых лесах за период 1994–2011 гг., мг · л$^{-1}$

Объект	Фоновые территории						Дефолиирующие леса						Техногенное редколесье					
	Cu		Ni		$SO4^{2-}$		Cu		Ni		$SO4^{2-}$		Cu		Ni		$SO4^{2-}$	
	пк	мк	пк	мк	пк	мк	пк	мк	пк	мк	пк	мк	пк	мк	пк	мк	пк	мк
Еловые леса	0.002	0.001	0.001	0.000	0.95	0.50	0.021	0.006	0.021	0.009	1.86	0.72	0.169	0.069	0.305	0.134	2.86	1.58
Сосновые леса	0.001	0.001	0.001	0.000	0.69	0.46	0.011	0.004	0.015	0.008	1.42	0.76	0.109	0.062	0.159	0.080	2.34	1.39

Примечание. пк – подкроновое пространство, мк – межкроновое пространство

ки повреждения лесов [27]. Согласно недавним оценкам, проведенным Г.Н. Копцик с соавторами [9], зоны экологического риска охватывают лишь 20% площади полуострова (северо-западную и центральную части вблизи комбинатов “Печенганикель” и “Североникель”).

1.3. Оценка состояния почв

Информативность индикаторов состояния почв также продемонстрируем на примере Мурманской области, где доминируют подзолы. В условиях воздушного промышленного загрязнения изменение кислотности почв связано как с аллогенным (поступлением кислотообразующих веществ из атмосферы), так и с аутогенным (биогенным) факторами. Органогенные горизонты почв, как правило, характеризуются нелинейным изменением кислотности в ходе техногенной дигрессии [11]. Максимальный уровень кислотности почв наблюдается на стадиях интенсивной и затухающей дефолиации (ельники и сосняки луговиково-кустарничковые), что обусловлено увеличением количества опада из-за отмирания зеленых мхов и лишайников и интенсивной дефолиации ели и сосны, а также гидролизом аккумулятивных форм гумуса при каталитическом действии минеральных кислот (серная кислота) (табл. 2, 3) [12, 13, 14, 15]. Выявляются достоверные различия между пространственными структурно-функциональными элементарными единицами биогеоценоза – элементарными биогеоценотическими ареалами (ЭБГА) [17]: древесными и межкроновыми. Эти различия обусловлены: 1) интенсификацией потоков кислотообразующих агентов, поступающих под кроны деревьев с кроновыми и стволовыми водами; 2) снижением содержания оснований, что обусловлено не только вытеснением основных катионов “кислыми”, но и уменьшением концентрации кальция в хвое [11, 12, 13] в связи со снижением количества возрастных классов хвои, а также с более интенсивным вымыванием оснований из почв вследствие снижения густоты крон; 3) наличием или отсутствием напочвенного покрова, что также обусловливает интенсивность вымывания оснований из почв. В результате самыми кислыми становятся органогенные горизонты почв древесных ЭБГА. Разрушение растительного покрова, обусловленное действием как воздушного загрязнения, так и частых здесь пожаров, вызывает активное обеднение органогенных горизонтов органическим веществом и часто не возрастание, а снижение их кислотности (табл. 2, 3). Минеральные корнеобитаемые горизонты характеризуются более или менее однонаправленным увеличением кислотности, но в окрестностях комбината богатство почвообразующих пород основаниями может в некоторых случаях обусловливать снижение кислотности минеральных горизонтов.

В условиях воздушного промышленного загрязнения нарушение функционирования фитоценоза приводит к изменению питательного режима почв. Эти нарушения характеризуются: а) возрастанием количества растительного опада из-за дефолиации хвойных деревьев и гибели чувствительных видов (лишайников и мохообразных); б) дисбалансом в поглощении элементов питания растениями [11, 14]. Наиболее значительные нарушения наблюдаются в древесных ЭБГА. Интенсивные потоки кислотообразующих веществ и тяжелых металлов в подкроновые пространства, выщелачивание основных катионов из растений и органогенных горизонтов почв и дисбаланс в поглощении элементов питания поврежденными древесными растениями определяют специфику нарушения питательного режима почв древесных ЭБГА. Органогенные горизонты почв древесных и межкроновых парцелл в дефолиирующих лесах активно обогащаются медью, никелем и обедняются основными катионами (табл. 2, 3), а также марганцем, цинком, фосфором, азотом [15, 18]. В межкроновых ЭБГА различия, как правило, менее выражены из-за формирования относительно

Таблица 2. Кислотность и содержание доступных для биоты соединений элементов (в вытяжке 1М CH_3COONH_4, pH = 4,65) в почвах еловых лесов по стадиям дигрессии (по данным [9])

ЭБГА	Горизонт	pH	ОК	СУМ	СНО	Cu	Ni	S
			мг экв 100 г$^{-1}$		%	мг кг$^{-1}$		
Фоновые территории								
Кустарничково-зеленомошный	O	4.22	10.0	18.8	65	3.3	2.3	142
	B	5.12	2.4	0.6	19	0.6	0.6	38
Еловый	O	4.32	9.0	20.7	70	4.4	4.0	153
	B	4.84	3.2	0.9	21	1.1	0.6	48
Дефолиирующие леса								
Злаковый	O	4.16	14.0	12.9	48	255	242	104
	B	4.47	1.3	0.5	29	2.1	5.0	59
Еловый	O	3.85	17.6	11.2	39	331	141	117
	B	4.58	2.2	0.5	17	10	8.3	58
Злаково-кустарничковый	O	4,10	12.6	14.2	53	109	145	113
	E	4.26	1.3	0.4	21	0.4	2.4	10
	B	4.66	2.1	0.3	11	0.5	1.6	59
Техногенное редколесье								
Пустошь	O	4.00	17.5	72.6	81	655	586	138
	B	4.77	2.0	0.4	18	3.2	17	102
Еловый	O	3.99	21.7	6.2	22	1205	587	172
	B	4.85	1.4	0.8	37	9.0	35	109
Злаково-кустарничковый	O	3.85	15.0	16.0	52	404	640	140
	B	4.74	1.7	0.9	33	0.7	7.0	108
Злаковый	O	4.00	17.4	13.9	44	200	633	135
	B	4.85	1.8	0.8	31	1.6	16	130

Здесь и в табл. 3: ОК – обменная кислотность, СУМ – сумма обменных оснований, СНО – степень насыщенности основаниями

устойчивых к загрязнению растительных микрогруппировок: луговиковых, луговиково-кустарничковых, вороничных.

В условиях аэротехногенного загрязнения происходит снижение содержания оснований и изменение кислотности почв, поэтому информативным показателем их состояния служит степень насыщенности основаниями, которая в таких условиях снижается (табл. 2, 3). Содержание тяжелых металлов в органогенных горизонтах свидетельствует об уровне атмосферных выпадений, поскольку эти горизонты являются барьером на пути нисходящей внутрипрофильной миграции элементов. Иллювиальные горизонты почв дефолиирующих лесов обедняются основаниями и, напротив, обогащаются никелем, медью и серой. Обнаруженные в фоновых условиях различия между ЭБГА в содержании подвижных соединений элементов питания в минеральных горизонтах почв дефолиирующих лесов углубляются, что связано с интенсификацией потока кислотообразующих веществ под кронами деревьев. В техногенных редколесьях и на пустошах природные закономерности формирования питательного режима почв нарушаются повсеместно, что обусловлено практически полным разрушением существующих в природных условиях взаимосвязей. В почвах техногенных редколесий и пустошей, где потоки кислотообразующих и загрязняющих веществ максимальны, а древесные растения очень сильно повреждены, ярко выражены тенденции обеднения органогенных горизонтов биофилами и их обогащение тяжелыми металлами. В минеральных горизонтах возрастают содержания никеля, меди, серы. Увеличение содержания никеля и меди могут объясняться нарушением биогеохимического барьера – органогенных горизонтов, а также обогащением этими элементами почвообразующей породы. Возрастание содержания подвижных соединений серы в иллювиальных горизонтах, уровень которых в органогенных горизонтах практически не изменяется, связано с наличием геохимического барьера. Согласно существующим представлениям, важная роль в сорбции сульфатов в почвах принадлежит гидроксидам алюминия и железа, поверхность коллоидных частиц которых положительно заряжена

Таблица 3. Кислотность и содержание доступных для биоты соединений элементов (в вытяжке 1М CH_3COONH_4, pH = 4.65) в почвах сосновых лесов по стадиям дигрессии (по данным [9])

ЭБГА	Горизонт	pH	ОК	СУМ	СНО	Cu	Ni	S
			мг-экв 100 г$^{-1}$		%	мг кг$^{-1}$		
Фоновые территории								
Сосновый	О	4.24	9.4	15.7	63	4.0	4.0	132
	В	5.04	1.5	0.5	23	0.7	0.6	48
Лишайниково-кустарничковый	О	4.29	8.7	11.0	56	3.0	2.0	115
	В	5.22	0.9	0.3	27	0.6	0.5	44
Лишайниковый – пустошь	О	4.42	8.4	8.4	50	1.0	3.0	83
	В	5.18	1.7	0.2	12	0.2	0.2	25
Дефолиирующие леса								
Сосновый	О	4.10	11.8	9.0	43	35	53	77
	В	4.85	1.4	0.2	10	0.9	1.2	41
Лишайниково-кустарничковый	О	3.89	12.9	10.6	45	22	30	115
	В	5.00	1.3	0.1	8	0.7	1.9	37
Лишайниковый – пустошь	О	4.04	13.3	8.3	38	16	43	97
	В	5.11	1.1	0.1	9	5.0	0.5	3.0
Техногенное редколесье								
Сосновый	О	4.03	13.4	6.9	34	641	320	118
	В	4.76	1.7	0.4	18	9.0	8.0	56
Лишайниково-кустарничковый	О	4.45	9.2	7.0	43	270	293	85
	В	4.74	2.0	0.3	14	2.1	6.0	43
Лишайниковый – пустошь	О	4.56	9.7	3.4	26	482	223	88
	В	4.75	1.7	0.2	12	7.0	7.0	47
Сосновый	О	4.37	10.8	1.0	8	156	60	91
	В	4.79	2.7	0.2	8	10	10	63
Лишайниково-кустарничковый	О	4.52	10.2	6.1	37	455	246	127
	В	4.98	0.6	0.6	52	6.3	13.5	37
Лишайниковый – пустошь	О	4.12	5.0	0.6	11	103	21	33
	В	4.61	1.4	0.2	12	9.0	5.0	66

[28]. При этом содержание оснований и кислотность в иллювиальных горизонтах почв техногенных редколесий и пустошей, формирующихся в окрестностях комбината “Североникель”, могут быть сопоставимы с фоновыми значениями из-за влияния габбро и габбро-норитов (магматическая интрузивная основная горная порода) [15].

Нами установлено, что пожары и техногенное загрязнение вызывают сходные изменения питательного режима почв: возрастание подвижности элементов питания при снижении активности их биологического поглощения приводит к обеднению почв, интенсифицируются процессы элювиирования и оподзоливания [14]. Поэтому рассмотренные индикаторы могут быть также использованы для идентификации стадий пирогенных сукцессий.

Информативными показателями состояния лесов являются также отношения C/N и индексы C/N в почвах. Отношение содержания органического углерода и азота характеризует скорость разложения органического вещества и циклы этих элементов. Более узкое значение отношения свидетельствует о благоприятных условиях для жизнедеятельности организмов, разлагающих органическое вещество. Кроме того, сужение величины этого отношения может свидетельствовать о воздушном загрязнении соединениями азота. Индекс **C/N** рассчитывается как отношение C/N в органогенных горизонтах к этому отношению в минеральных горизонтах. Значения индекса ниже 1 могут свидетельствовать о существенных изменениях в циклах азота, например, его высоких выпадениях из атмосферы и вымывании

Таблица 4. Отношение C/N и индекс C/N в почвах Карелии и Карельского перешейка [6]

Подзона тайги	Регион	C/N в горизонте A0	Индекс C/N (A0/E)	Индекс C/N (A0/B)
Северная	Республика Карелия	25–57	0.30–5.81	0.30–5.14
Средняя	Республика Карелия	18–56	0.31–13.81	0.52–4.01
Средняя	Карельский перешеек	15–57	0.81–8.73	1.03–9.84

в нижние горизонты, а также об изменениях режимов землепользования: зарастание сельскохозяйственных земель лесными растениями или перевод лесных земель в сельскохозяйственные.

Продемонстрируем вариации этих показателей на примере почв Карелии и Карельского перешейка. В северотаежной подзоне Карелии доминирующим типом лесных почв являются подзолистые почвы песчаного и супесчаного гранулометрического состава (56%), доля болотно-подзолистых почв – 19.7%, болотных – 17.8% [17]. Почвы среднетаежной подзоны Карелии представлены в основном подзолистыми и дерново-подзолистыми почвами разного гранулометрического состава – от песчаного до легкосуглинистого (58%), а также подбурами (2.1%), буроземами грубогумусовыми (7.6%). На Карельском перешейке также господствует подзолистый тип почвообразования [24]. Объекты исследований на сети мониторинга в основном представлены подзолами и подзолистыми почвами: так, в северотаежных лесах доля подзолов достигает 94%, в среднетаежных лесах Карелии и Карельского перешейка доля подзолистых почв – 68 и 65%, соответственно.

При сравнении значений предложенных индикаторов в органогенных горизонтах почв северотаежных и среднетаежных лесов Республики Карелия обнаруживается, что отношение C/N шире в почвах северотаежных лесов, что и следовало ожидать. Органогенные горизонты почв Карельского перешейка отличаются высоким содержанием азота и узким отношением C/N. Индекс C/N свидетельствует, что на части ППН циклы азота и углерода нарушены. Эти нарушения демонстрируют индексы со значениями ниже 1 (табл. 4), что, возможно, свидетельствует об изменениях режимов землепользования, в данном случае о зарастании сельскохозяйственных земель лесом в двадцатые годы и после Второй мировой войны.

2. Оценка Критерия 4 – сохранение и увеличение биологического разнообразия лесных экосистем. В настоящее время на территории Российской Федерации выполнены лишь однократные оценки биоразнообразия лесов на сети ППН, что не позволяет исследовать процессы в динамике. Поэтому мы посчитали возможным сосредоточить внимание на оценке репрезентативности сети по породному и возрастному составу древостоя, а также попытаться показать, отражает ли она типологическую структуру лесов Карелии и Карельского перешейка. Кроме этого приведем некоторые предварительные оценки видового разнообразия древесного, травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов.

Анализируемая территория целиком расположена в таежной зоне. Карелия делится на две неравные части – среднюю и северную подзоны тайги, где, соответственно, заложены 42 и 58 ППН. Карельский перешеек подвергался различному геоботаническому районированию: относился целиком к южной тайге [25] или делился границей на южную и среднюю подзоны [3]. Несмотря на то, что территория Карельского перешейка значительно меньше по площади, чем средне- и северотаежные части Карелии, на ней заложено 47 ППН. Это определяется более густой их сетью. Поскольку географическое положение территории во многом объясняет видовое и ценотическое разнообразие лесных экосистем, а также их динамику, показатели разнообразия рассматриваются отдельно для Карельского перешейка, средней и северной подзон тайги Карелии.

Распределение лесов по породному составу древостоя. В таежной зоне европейской части России преобладают еловые леса. Т.К. Юрковская и Г.А. Елина [25] относят их к зональным. В то же время природные условия Восточной Фенноскандии определяют доминирование на большей части ее территории сосновых лесов (по В.С. Куликову [10] южная граница проходит по рекам Свирь и Нева). На Карельском перешейке лесные сообщества с преобладанием сосны занимают около 50%, ели – 30%, березы – 15%, остальное приходится на осину и другие древесные породы [1, 8]. В результате анализа описаний ППН (рис. 5) складываются несколько иные соотношения – занижены площади березняков и завышены ельников. Причины такого несовпадения

могут быть как в выборе участка для закладки ППН, так и в методике их описания. Однако, учитывая регулярность сети ППН и особые требования к выборам участков для закладки, такие пропорции можно признать удовлетворительными.

В средней тайге на территории Карелии по разным данным ельники занимают от 37 [21] до 47% [6, 7]. Причина различия этих оценок заключаются в том, что первая дает площадь восстановленных по ландшафтным особенностям территории еловых лесов, а вторая указывает на реальную обстановку с учетом возобновляющихся через смену пород (березняки – 18%). Доля сосняков также варьирует от 42 до 53%. Но какие бы мы оценки не взяли, они отличаются от результатов обработки описаний ППН, где доля сообществ с преобладанием ели превышает 50%. Этот момент требует особого внимания при повторных работах геоботаников и лесоводов и ставит вопрос о необходимости увеличения густоты сети ППН в пределах среднетаежной подзоны территории Карелии.

В отношении северной тайги на территории Карелии сходство различных оценок максимально. Это объясняется не только очевидным преобладанием сосновых лесов, но и тем фактом, что естественное восстановление сообществ после рубки идет часто без смены пород. По всем упомянутым выше оценкам, а также по результатам обработки описаний ППН (рис. 5) доля сосняков превышает 70%, ельников – около 20%, березняков – 5%.

По официальным данным [4] покрытая лесом площадь в Республике Карелии делится по преобладающим породам следующим образом: сосна – 64.8%, ель – 23.3%, береза – 10.9%. Остальные площади заняты другими мелколиственными породами, а также культурами лиственницы, кедра и пихты.

Распределение лесов по возрасту древостоя. Возраст древостоя лесных сообществ как на территории Республики Карелия, так и на Карельском перешейке определяется антропогенным влиянием [5]. До начала XX в. здесь была распространена подсечная система земледелия. Затем брошенные сельскохозяйственные земли начали зарастать древесной растительностью. До и после Второй мировой войны широкое распространение получили сплошные рубки. Именно эти факторы определяют возрастную структуру лесов изучаемой территории. В Карелии молодняки распространены на 36.5% лесопокрытой площади, средневозрастные – 23.3%, приспевающие – 7.7%, спелые и перестойные – 32.5% [4]. Низкая доля приспевающих лесов как раз и объясняется

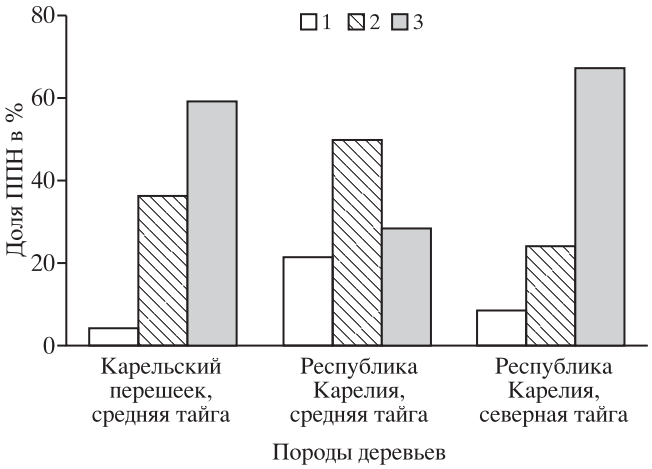

Рис. 5. Распределение ППН по преобладающей породе.
Породы деревьев: 1 – береза; 2 – ель; 3 – сосна;

отсутствием в соответствующий период времени массового восстановления леса на больших свободных площадях.

Средний возраст древостоя лесных фитоценозов как Карельского перешейка (90 лет), так и средней и северной тайги Карелии (около 80 лет, по данным официальной статистики – 72 года) в целом отражает реальную ситуацию; распределение по возрастным группам требует дополнительного анализа. Условия закладки сети ППН на землях лесного фонда определили отсутствие участков на территории ООПТ, которые в Карелии зачастую приурочены к массивам старовозрастных лесов. Этим объясняется небольшое число ППН с древостоями возрастом 150 и более лет.

Набор основных групп лесных сообществ (групп типов леса). Одной из важных характеристик биоразнообразия лесов является набор и пространственное соотношение разных типов лесных сообществ, формирующих ценофонд той или иной территории. При анализе данных ICP Forests классификация проводилась при помощи электронного определителя типов леса Европейской России, который разработан Л.Б. Заугольновой и В.Б. Мартыненко [http://www.cepl.rssi.ru/cepl.htm]. Основная типологическая единица по этой классификации лесных сообществ – группа типов леса. Результаты представлены в табл. 5. Поскольку на исследуемой территории наиболее распространена эколого-фитоценологическая классификация, которая отличается не только названиями выделяемых типов леса, но и объемом синтаксонов, то возможна только приблизительная оценка репрезентативности сети ППН по типологической структуре. Так, по Карельскому

Таблица 5. Распределение ППН по основным группам лесных сообществ (группам типов леса) [5]

Группа типов леса		Регион, лесорастительная зона		
		Карельский перешеек, средняя тайга	Республика Карелия, средняя тайга	Республика Карелия, северная тайга
Березняки	березняки/осинники мелкотравные	2	5	1
	болотно-травяные	–	–	1
	высокотравные	–	1	–
	долгомошно-сфагновые	–	1	–
	кустарничково-зеленомошные	–	4	3
Ельники	высокотравные	–	2	–
	долгомошно-сфагновые	8	2	1
	кустарничково-зеленомошные	3	13	11
	мелкотравно-зеленомошные	6	3	1
	травяно-сфагновые	–	–	1
Сосняки	долгомошно-сфагновые	3	1	1
	зеленомошно-лишайниковые	–	1	5
	кустарничково-зеленомошные	15	6	25
	кустарничково-сфагновые	1	3	2
	лишайниковые	–	–	6
	мелкотравно-зеленомошные	9	–	–
	Всего ППН	47	42	58

перешейку в целом наблюдается совпадение. Однако сеть не выявила сосняки лишайниковые и зеленомошно-лишайниковые, распространенные по скалам и песчаным берегам Ладожского озера и Финского залива [1, 8]. Что касается средне- и северотаежной территорий Карелии, то здесь в целом наблюдается совпадение с имеющимися результатами анализа типологической структуры лесов [5].

Число видов деревьев и кустарников, встречающихся в лесах. Полнота списка видов деревьев и кустарников в некоторой степени определяет степень сохранности биологического разнообразия лесов. На Карельском перешейке отмечено 9 видов деревьев (*Acer platanoides, Alnus incana, Betula pendula, B. pubescens, Padus avium, Picea abies, Pinus sylvestris, Populus tremula, Quercus robur*), а в Карелии – 7 (*Alnus incana, Betula*

pendula, B. pubescens, Padus avium, Picea abies, Pinus sylvestris, Populus tremula). При этом на Карельском перешейке наибольшим числом видов в древесном ярусе обладают сосняки долгомошно-сфагновые и мелкотравно-зеленомошные, а также ельники кустарничково-зеленомошные (среднее число видов деревьев на ППН – 4); наименьшим – сосняки кустарничково-сфагновые (среднее число видов деревьев на ППН – 2). В лесах средней и северной тайги Карелии наибольшим разнообразием видов древесного яруса отличаются различные березняки (среднее число видов деревьев на ППН достигает 5). Общее число древесных и кустарниковых видов на Карельском перешейке и в Карелии в подлеске (19 и 18 видов), а также сомкнутость крон (12 и 10%, соответственно) сопоставимы. Эти же данные по группам типов леса в некоторых случаях значительно отличаются.

Видовое богатство и видовая насыщенность. Леса Карельского перешейка и средней тайги Карелии характеризуются близкими значениями видового богатства сосудистых растений (169 и 161 вид, соответственно) и превосходят по этому показателю леса северной тайги Карелии (115 видов). Это связано как с климатическими условиями в средней тайге, так и со значительным разнообразием местообитаний. Последнее объясняется и антропогенным влиянием – Карельский перешеек и южная часть Карелии наиболее освоены человеком, имеют более разветвленную сеть дорог. Близкие значения видового богатства Карельского перешейка и средней тайги Карелии определяются и равным числом заложенных ППН. Видовое богатство сосудистых растений по группам типов леса варьирует значительно. Это в первую очередь определяется числом ППН, отнесенных к той или иной группе типов леса: список видов тем полнее, чем больше сделано геоботанических описаний. Наибольшей видовой насыщенностью (среднее число видов на ППН – 50–60) характеризуются высокотравные леса: березняки и ельники, приуроченные к средней тайге Карелии. Как и ожидалось, наименьшие показатели видовой насыщенности (среднее число видов на ППН – 20–25) свойственны соснякам лишайниковым северной тайги Карелии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Индикаторы программы мониторинга лесов ICP Forests целесообразно использовать для оценки устойчивого управления лесами на основе Критерия 2 – сохранение здоровья и жизнеспособности лесов и Критерия 4 – сохранение и возрастание биоразнообразия лесных экосистем. Оценка состояния древесных растений на сети первого уровня мониторинга демонстрирует информативность следующих индикаторов: степень дефолиации и дехромации, категория состояния. Наиболее высокую чувствительность демонстрирует степень дефолиации.

Информативными индикаторами состояния почв являются показатели актуальной кислотности (pH), отношение C/N, индекс C/N, степень насыщенности основаниями, содержание тяжелых металлов в почвах.

На основе анализа данных по биразнообразию лесов выявлены следующие информативные индикаторы: распределение древостоев по возрасту; распределение древостоев по породному составу; набор основных групп лесных сообществ (групп типов леса) и их количественная представленность на территории регионов; видовое разнообразие лесов. Предварительный анализ результатов геоботанических описаний ППН показал, что в целом полученные данные отражают типологическую и возрастную структуру лесов Карельского перешейка и территории Республики Карелия.

* * *

Авторы выражают благодарность за организационные и полевые работы, информационную поддержку проектов, связанных с реализацией Программы ICP Forests в России, д-ру биол. наук Федорец Н.Г., канд. биол. наук Алейникову А.А., канд. биол. наук Браславской Т.Ю., канд. биол.наук Кутенкову С.А., Беловой Е.А., Шашкову М.П., Гениковой Н.В., Костиной Е.Э., Миронову В.Л., Ткаченко Ю.Н., Солодовникову А.Н., благодарят за консультации при обработке данных по биоразнообразию лесов д-ра биол. наук, проф. Заугольнову Л.Б., канд. биол. наук Браславскую Т.Ю.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев А.С., Григорьева О.С., Егорова Г.Л., Трейфельд Р.Ф.* Оценка растительного разнообразия лесных экосистем (на примере Карельского перешейка Ленинградской области). СПб., 2002. 72 с.
2. *Бахмет О.Н., Федорец Н.Г., Крышень А.М.* Исследования по международной программе ICP-Forests в Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. 2011. № 2. С. 133–139.
3. Геоботаническое районирование Нечерноземья европейской части РСФСР / Отв. ред. В.Д. Александрова, Т.К. Юрковская. Л.: Наука, 1989. 64 с.
4. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2011 году / Отв.

ред. А.Н. Громцев. Петрозаводск: Андреев П.Н., 2012. 294 с.

5. *Громцев А.Н.* Ландшафтная экология таежных лесов: теоретические и прикладные аспекты. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2000. 144 с.
6. *Громцев А.Н.* Основы ландшафтной экологии европейских таежных лесов России. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2008. 238 с.
7. *Громцев А.Н.* Основы ландшафтной экологии европейских таежных лесов России // Современное состояние и перспективы развития сети особо охраняемых территорий европейского Севера и Урала: Матер. науч.-практич. конф. Сыктывкар, 2010. С. 20–22.
8. Заповедная природа Карельского перешейка / Отв. ред. Г.А. Носков. СПб.: НПО "Профессионал", 2004. 312 с.
9. *Копцик С.В., Копцик Г.Н., Алябина И.О.* Оценка риска избыточного поступления соединений серы в наземные экосистемы Кольского полуострова // Экология. 2008. № 5. С. 347–356.
10. *Куликов В.С.* Где юго-восточная граница Фенноскандии? // Доклады Академии наук. 1997. Т. 356. № 4. С. 545–547.
11. *Лукина Н.В., Никонов В.В.* Биогеохимические циклы в лесах севера в условиях аэротехногенного загрязнения. В 2 частях. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1996.Ч. 1. 213 с.; Ч. 2. 192 с.
12. *Лукина Н.В., Никонов В.В.* Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1998. 316 с.
13. *Лукина Н.В, Никонов В.В., Калацкая М.Н.* Химический состав хвои ели на Кольском полуострове // Лесоведение. 2000. № 3. С. 55–64.
14. *Лукина Н.В., Полянская Л.М., Орлова М.А.* Питательный режим почв северотаежных лесов. М.: Наука, 2008. 342 с.
15. *Лукина Н.В., Сухарева Т.А., Исаева Л.Г.* Техногенные дигрессии и восстановительные сукцессии в северотаежных лесах. М.: Наука. 2005. 245 с.
16. Методические рекомендации по мониторингу лесов в соответствии с международной программой ICP Forests, утвержденные приказом Рослесхоза от 15.07.2009. № 292.
17. *Морозова Р.М., Федорец Н.Г.* Земельные ресурсы Карелии и их охрана. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2004. 152 с.
18. *Никонов В.В., Лукина Н.В.* Пространственная и временная изменчивость питательного режима Al-Fe-гумусовых подзолов бореальных лесов // Почвоведение. 2000. № 12. С. 1309–1316.
19. *Орлова М.А.* Формирование плодородия почв – экосистемная функция лесов // Разнообразие и динамика лесных экосистем России / Под ред. акад. А.С. Исаева (в печати)
20. Отчет ЦЭПЛ РАН о НИР по теме "Разработка научно-обоснованных предложений по критериям и индикаторам ослабления лесов на основе результатов лесопатологического мониторинга, выполненного по международным стандартам, для оценки исполнения переданных полномочий в области лесных отношений". Ч. 1. 212 с. Ч. 2. 122 с. М., 2011.
21. Отчет ЦЭПЛ РАН о НИР по теме "Разработка научно-обоснованных предложений по критериям и индикаторам ослабления лесов на основе результатов лесопатологического мониторинга, выполненного по международным стандартам, для оценки исполнения переданных полномочий в области лесных отношений". Ч. 3. 172 с. Ч. 4. 299 с. М., 2012.
22. Положение о лесном мониторинге. Федеральная служба лесного хозяйства России. Письмо от 29.11.1995 года № МГ-1-17-6/287
23. Разнообразие биоты Карелии: условия формирования, сообщества, виды. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2003. 262 с.
24. *Рожнова Т.А.* Почвенный покров Карельского перешейка. М., 1963. 182 с.
25. *Юрковская Т.К., Елина Г.А.* Восстановленная растительность Карелии на геоботанической и палеокартах. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2009. 136 с.
26. Criteria and Indicators for the Conservation and Sustainable Management of Temperate and boreal Forests. The Montreal Process. Fourth Edition. 2009. 49 p.
27. *Rigina O.* Introduction into the environmental problems in the Kola Peninsula // Detection of pollution-induced forest decline in the Kola Peninsula using remote sensing and mathematical modeling. Licentiate Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Raport/report 9. 1998. P. 8–34.
28. *Singh S.S., Brydon J.E.* Activity of aluminium hydroxy sulfates and the stability of hydroxyaluminium interlayers in montmorillonite // Can. J. Soil Sci. 1970. V. 50. P. 219–225.
29. State of Europe's Forests Status and Trends in Sustainable Forest management in Europe. United Nations, UNECE, FAO. 2011. 337 p.

Assessment of Sustainable Forest Management Criteria with the ICP Forests Indicators

Lukina N. V., Orlova M. A., Gornov A. V., Kryshen' A. M., Kuznetsov P. V., Knyazeva S. V., Smirnov V. E., Bakhmet O. N., Eydlina S. P., Ershov V. V., Zukert N. V., Isaeva L. G.

This paper addresses the assessment of international criteria of sustainable forest management with ICP Forests indicators. The ICP Forests allows evaluation of the Criterion 2 – Maintenance of Forest Ecosystem Health and Vitality and the Criterion 4 – Maintenance, Conservation and Appropriate Enhancement of Biological Diversity in Forest Ecosystems. The informative indicators for the Criterion 2 are, as follows: crown defoliation extent, parameters of atmospheric precipitation and soil composition, and photosynthetic parts of dominant trees. The Criterion 4 is evaluated using the indicators of biological diversity such as the tree species composition and the age structure, number and areal share of the groups of forest vegetation associations, number of species of the trees and shrubs occurring in the forest, genetic resources and species richness. An attempt is made to show if the network of permanent plots reflected to the full extent the typological and age structure of forests in Karelia and Karelia Isthmus.

Forest, sustainable management, criterion, indicator, ICP Forests, defoliation, soil, biodiversity.