

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 630*181 574 504

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО МЕЖДУНАРОДНОЙ ПРОГРАММЕ ICP-FORESTS В КАРЕЛИИ

О.Н. Бахмет, Н.Г. Федорец, А.М. Крышень

Институт леса Карельского научного центра РАН

В 2007 г. Институт леса КарНЦ РАН присоединился к выполнению международной программы по оценке и мониторингу влияния загрязнения воздуха на леса (ICP-Forests), которая в настоящее время является одной из крупнейших в мире систем биомониторинга. Полученные в результате проведенных работ материалы сопоставимы с данными других стран, что позволяет делать необходимые сравнения и заключения. Параметры, определяемые по методикам программы ICP-Forests, используются в оценках состояния лесов, углеродного цикла и биологического разнообразия, для выполнения международных обязательств. Созданную мониторинговую сеть предлагается рассматривать как основу для развития экологических исследований в республике и использовать материалы для сравнительного анализа влияния природопользования на лесные экосистемы в европейских странах и Карелии.

Ключевые слова: мониторинг, состояние лесов, загрязнение воздуха, международная программа ICP-Forests.

O. N. Bakhmet, N. G. Fedorets, A. M. Kryshen'. INVESTIGATIONS WITHIN THE INTERNATIONAL PROGRAM ICP-FORESTS IN KARELIA

In 2007, Forest Research Institute of Karelian Research Centre of RAS joined the International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests (ICP-Forests), which is now one of the world's biggest biomonitoring systems. The data obtained are comparable with data from other countries, so that necessary comparisons and conclusions can be drawn. The indices determined according to ICP-Forests techniques are used to assess the state of forests, the carbon cycle and biological diversity, to fulfill international commitments. We suggest that the newly established monitoring network is viewed as the basis for developing ecological studies in Republic and that the materials are used for comparative analysis of nature use in European countries and Karelia on forest ecosystems.

Key words: monitoring, forest state, air pollution, international programme ICP-Forests.

В конце 1970-х гг. в ряде областей Европы отмечалось ухудшение состояния лесов, вызванное неизвестными причинами. Широкое распространение таких повреждений, независимо от видов деревьев, привело к тому, что описанное явление было названо «новое усыхание лесов» [Overrein и др., 1981]. Все известные факторы, которые могли воздействовать на древесные насаждения, как, например, экстремальные климатические условия, распространение определенных насекомых и грибов, не могли привести к таким негативным последствиям. Предположение о влиянии на состояние лесов воздушных поллютантов даже в районах, удаленных от источников промышленного загрязнения, было подтверждено результатами исследований в рамках норвежского проекта «Кислотные осадки, действие на лес и рыб». Материалы проведенных ранее в Германии работ по международной биологической программе также показали негативное воздействие загрязнителей на биогеохимические циклы в лесах [Ulrich et al., 1979].

В связи с этим на основе Конвенции по долговременному трансграничному загрязнению воздуха Экономическая комиссия по Европе Организации Объединенных Наций в июле 1985 г. приняла решение о создании международной программы по оценке и мониторингу влияния загрязнения воздуха на леса (International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests – ICP-Forests). Эта программа должна была обеспечить сбор на национальном уровне всеобъемлющих и сопоставимых данных по изменению состояния лесов в связи с условиями среды (в частности с загрязнением воздуха, включая кислотные осадки). Такие мероприятия позволили бы оценить тенденции повреждения лесов в результате загрязнения и лучше понять причинно-следственные связи.

Для выполнения программы была создана рабочая группа (Task Force) во главе с учеными из ФРГ. На первом же совещании рабочей группы в октябре 1985 г. во Фрайбурге было решено подготовить единое для всех участников программы руководство по методам и критериям отбора проб, оценки, мониторинга и анализа воздействия загрязнения воздуха на леса. За прошедшие 25 лет руководство неоднократно редактировалось и улучшалось, последняя редакция была сделана в 2010 г.

В настоящее время цель программы ICP-Forests – мониторинг влияния загрязнения воздуха на леса для лучшего понимания причинно-следственных связей. В соответствии с целью поставлены следующие задачи:

- получить знания о пространственной и временной изменчивости состояния лесов, о влиянии на них стрессовых факторов, в том числе загрязнителей воздуха, на региональном, национальном и международном уровнях;

- добиться лучшего понимания механизмов воздействия загрязнителей воздуха и других факторов повреждения на лесные экосистемы;
- оценить взаимодействия компонентов лесных экосистем между собой под влиянием загрязнения воздуха и других повреждающих факторов.

Для получения столь всеобъемлющей информации необходимы разные в методологическом плане подходы к мониторингу и его интенсивность. Экстенсивный мониторинг большого числа пробных площадей отражает широкомасштабное длительное развитие повреждения лесов. Интенсивный мониторинг на меньшем количестве участков позволяет выявить причинно-следственные связи, которые, в свою очередь, нельзя экстраполировать на большие территории без данных широкомасштабного наблюдения.

В связи с этим исследования лесных экосистем в рамках данной программы осуществляются на трех различных уровнях интенсивности мониторинга.

Уровень I – широкомасштабное наблюдение за первичными параметрами разных компонентов леса (состояние кроны, почвы, содержание элементов в листе/хвое). Цель – получение данных, характеризующих изменение состояния лесов в пространстве и времени. Мониторинг осуществляется с помощью сети систематически выбираемых участков, покрывающих лесные территории страны (национальные сетки разной густоты) и Европы, при низком уровне интенсивности исследований на каждом участке.

Уровень II – интенсивный мониторинг, цель которого – определение ключевых факторов и процессов в функционировании лесных экосистем. Проводится в основном на постоянных участках мониторинга, выбранных так, чтобы они были репрезентативны для определенного региона.

Уровень III – специальный анализ лесных экосистем ставит своей целью добиться более глубокого понимания причинно-следственных связей, с углубленным изучением воздействия загрязнителей воздуха. Осуществляется на немногих постоянных участках, подходящих для тщательного детального изучения сложных взаимодействий между всеми компонентами экосистемы.

Требования к исследованиям на уровнях I и II приведены в таблице.

Виды наблюдения и их частота по программе

| Вид наблюдения | Уровень I | Уровень II |
|--------------------------------|---------------|-------------------------|
| Оценка состояния крон | Ежегодно | Ежегодно |
| Анализ почв (твердая фаза) | Каждые 10 лет | Каждые 10 лет |
| Анализ почвенных растворов | – | Непрерывно (ежемесячно) |
| Анализ листвы/хвои | Каждые 2 года | Каждые 2 года |
| Измерения осадков | – | Непрерывно (ежемесячно) |
| Оценка наземной растительности | – | Каждые 5 лет |

В настоящее время 39 европейских стран, а также Канада и Соединенные Штаты Америки принимают участие в данной международной программе (рис. 1). Экологический мониторинг лесов по программе ICP-Forests начали проводить еще в бывшем СССР с 1987 г. в республиках Прибалтики. В соответствии с Конвенцией по долговременному трансграничному загрязнению воздуха СССР должен был создать сис-

тему мониторинга лесов на глубину 500 км от своих западных границ [Вайчис, 1989]. С 1995 г. мониторинг по программе ICP-Forests рекомендован для осуществления бывшей Федеральной службой лесного хозяйства РФ, а с 1998 г. и как инструмент для контроля за поддержанием приемлемого санитарного состояния и жизнеспособности лесов. В 1990-е гг. исследования по этой международной программе проводились только по отдельным компонентам лесных экосистем и лишь в Ленинградской области. В 2000-е гг. в России был создан Национальный координационный центр на базе Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, возглавила российское представительство программы д.б.н. Н. В. Лукина. Российские исследования финансирует Федеральное агентство лесного хозяйства.

Республика Карелия (РК) стала первым регионом, в котором были осуществлены комплексные исследования по программе ICP-Forests. Работы по I и II уровням, за исключением изучения состояния крон, проводятся Институтом леса (ИЛ) КарНЦ РАН. Координируют

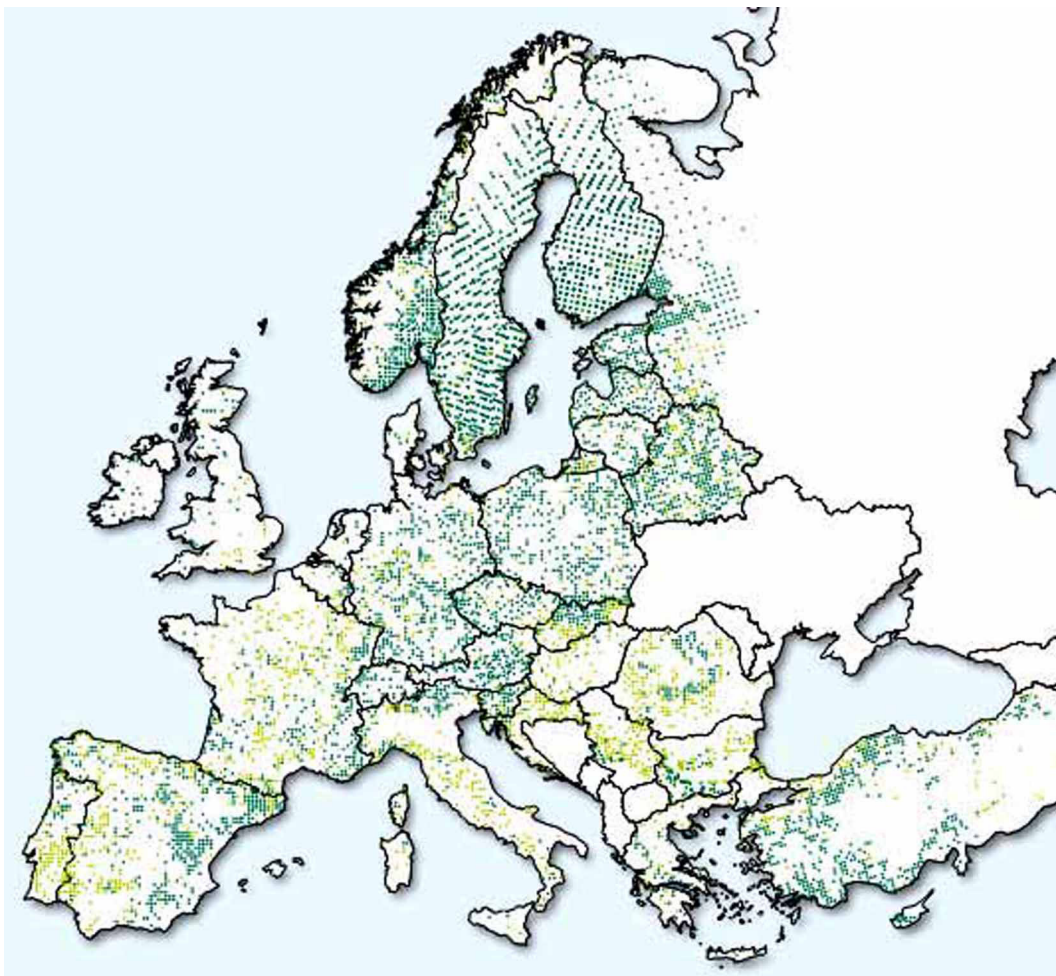


Рис. 1. Распространение программы ICP-Forest в Европе

международную программу ICP-Forests в РК сотрудники лаборатории лесного почвоведения и микробиологии ИЛ КарНЦ РАН д.с.-х.н. Н. Г. Федорец и к.б.н. О. Н. Бахмет (является также экспертом программы по изучению почв в России). Для получения репрезентативных данных лаборатория участвует в международных ринг-тестах по химическим анализам почв, атмосферных осадков и почвенных вод. Координатор по исследованию напочвенного покрова Карелии в рамках этой программы – д.б.н. А. М. Крышень.

Уровень II

В 2007 г. в нашем регионе для интенсивного мониторинга лесных экосистем на уровне II были заложены две пробные площади, на которых анализируется значительное число параметров и с высокой частотой отбора. Пробные площади были заложены в Кондопожском районе в наиболее распространенных в нашем регионе условиях – в сосняке и ельнике черничных, произрастающих на подзолах, сформировавшихся на моренных отложениях. Закладка пробных площадей включала их детальное описание, в том числе характеристики древостоя, места произрастания и др.

Ежемесячно в течение всего года на этих участках осуществляется отбор атмосферных осадков, в которых, согласно методике ICP-Forests, определяются: объем выпадений, pH, общая щелочность (для образцов с pH > 5), K, Ca, Mg, Na, N-NH₄, Cl, N-NO₃, S-SO₄, N_{общ.}, Al, Mn, Fe, P-PO₄, Cu, Zn, Pb, Co, Ni, Cd, S_{общ.}, C_{общ.}.

В безморозный период также ежемесячно отбираются почвенные воды, в которых измеряют: объем, pH, щелочность (для образцов с pH > 5), K, Ca, Mg, N-NO₃, S-SO₄, Al, Na, Fe, Mn, P, N-NH₄, Cl, Cr, Ni, Zn, Cu, Pb, Cd.

В 2009 г. на пробных площадях уровня II были проведены детальные почвенные исследования. Одновременно была отобрана хвоя, химический анализ которой осуществлялся в Институте леса КарНЦ РАН и Институте биологии Коми НЦ РАН.

Основная часть химического анализа почвенных образцов выполнялась в лаборатории лесного почвоведения и микробиологии и аналитической лаборатории Института леса КарНЦ РАН, частично – в Институте геологии КарНЦ РАН и Институте промышленной экологии Кольского НЦ РАН. Почвенные исследования включали:

- детальное морфологическое описание,
- определение веса органогенного слоя,
- изучение механического состава,

- определение кислотности,
- анализ содержания C_{общ.} и N_{общ.},
- определение валового содержания Ca, Mg, Na, K, Al, Fe, Mn,
- определение обменных форм ряда элементов,
- анализ их содержания в вытяжке «царской водки».

В дальнейшем планируется расширение комплекса параметров, по которым проводятся исследования по II уровню.

Уровень I

В соответствии с инструкциями ICP-Forests и соглашением стран-участниц целью программы в первую очередь является мониторинг I уровня для получения надежных и сравнимых данных. Такие исследования проводятся в Европе с 1986 г. С середины 1990-х гг. осуществляется мониторинг I уровня в Ленинградской области, но лишь в рамках наблюдения за состоянием древостоев. Впервые масштабные комплексные исследования I уровня проведены в Карелии в 2009 г. Они включали отбор листвы/хвои, изучение состояния почв (полевые исследования выполнены сотрудниками лаборатории лесного почвоведения и микробиологии ИЛ КарНЦ РАН) и напочвенного покрова (работы проводили сотрудники лаборатории лесовосстановления ИЛ и лаборатории болотных экосистем ИБ КарНЦ РАН).

Пробные площади (ПП) в Карелии были заложены по равномерной сети 32 x 32 км путем проекции на географические координаты.

Необходимо отметить, что хотя в большинстве стран Европы такие исследования проводятся по сетке 16 x 16 км, в бореальных лесах, как правило, используется сетка 32 x 16 или 32 x 32 кв. км (см. рис. 1). Изначально в Карелии планировалось заложить 129 пробных площадей, но в связи со слабым развитием транспортной сети в регионе и недоступностью некоторых районов часть участков была исключена. В итоге по такой сетке в Карелии было заложено 100 пробных площадей (рис. 2).

Расширение сети ПП в Карелии (переход к сетке 16x16 км) в будущем весьма вероятно, поэтому следует отметить очень важный для работы момент – труднодоступность отдельных ПП. По нашим оценкам, закладывать их необходимо на расстоянии не более 2–3 км от дороги. Исследования напочвенного покрова ограничены коротким вегетационным периодом, а в малонаселенных местах с редкой сетью дорог переезды могут занимать слишком много времени, и светового дня может не хватить для тщательного сбора материала, так как при

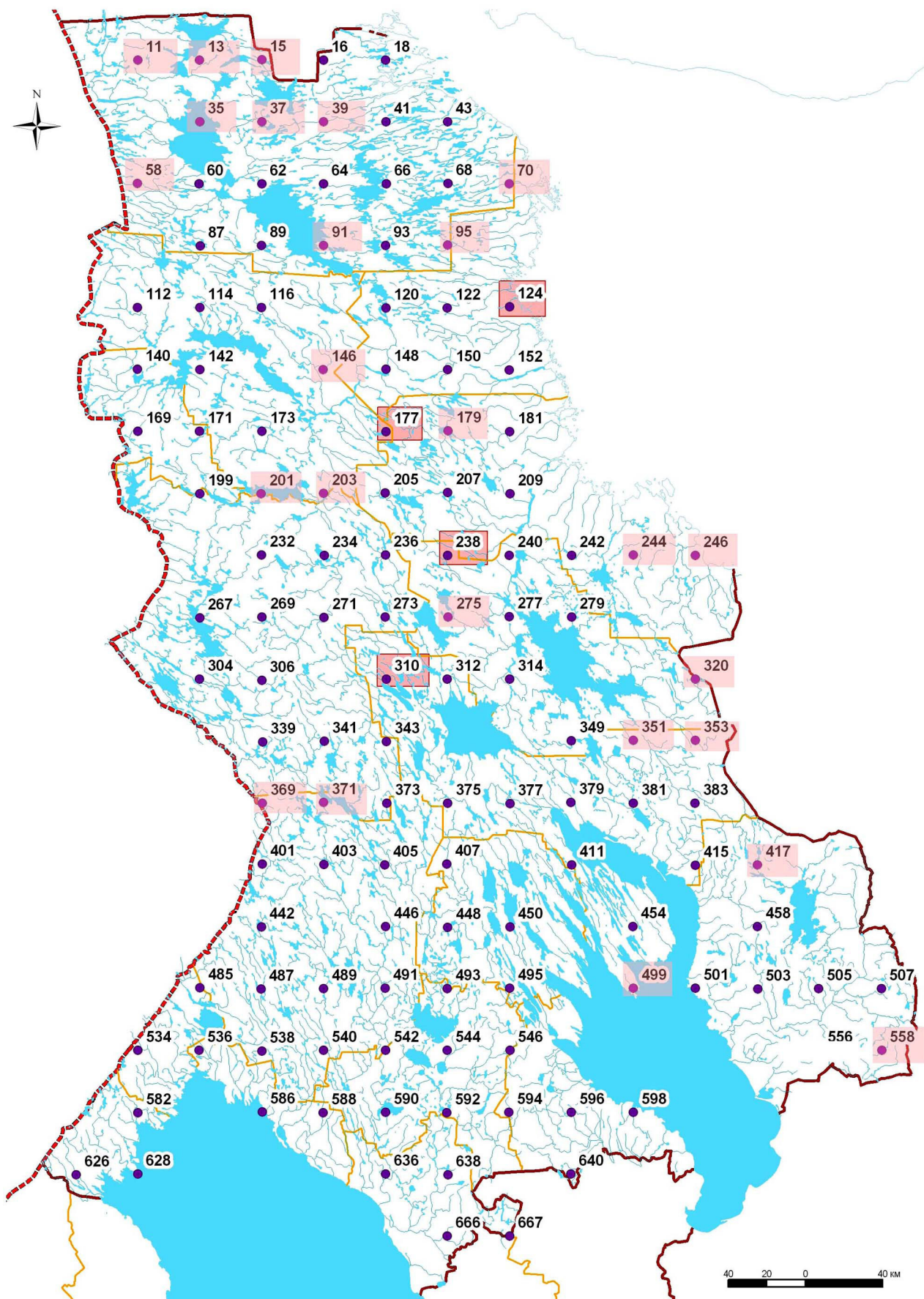


Рис. 2. Сеть ППН на территории Карелии (выделены ППН, где исследования не проводились)

работе двумя отрядами в день необходимо делать описание двух ПП, что часто бывает затруднительно и даже невозможно. В связи с этим при расширении сети ПП следует предусмотреть возможность увеличения числа работников (в Финляндии для этих целей приглашают студентов) и (или) распределить работы на несколько лет.

Хвоя отбиралась минимум в трехкратной повторности (с трех деревьев на пробной площадке), затем разделялась по возрасту. Частично ее анализ проводился в лаборатории лесного почвоведения и микробиологии ИЛ КарНЦ РАН, частично – в Институте биологии Коми НЦ РАН.

Полевые исследования почв предполагали не только детальное морфологическое описание и отбор образцов для лабораторного анализа, но и достаточно подробную характеристику условий формирования почв – особенности почвообразующих пород, уровень залегания грунтовых вод и др.

Подготовка к анализу отобранных почвенных образцов и часть химических анализов (по приведенной выше схеме) проводились в лаборатории лесного почвоведения и микробиологии ИЛ КарНЦ РАН. Кроме того, образцы анализировались в аналитической лаборатории ИЛ КарНЦ РАН, Институте геологии КарНЦ РАН и в Институте промышленной экологии Кольского НЦ РАН. Анализы полностью были завершены к середине 2010 г., после чего все материалы отослали в Европейский центр программы ICP-Forests.

Опыт проведения исследований по этой программе в Карелии был использован в аналогичных работах в Ленинградской области в 2010 г. Были обследованы 50 пробных площадей, заложенных ранее, на которых изучалось состояние почв, отбирались образцы почв и хвои для анализа химического состава.

Напочвенный покров на сети ПП в Карелии исследовался в вегетационные сезоны 2009 и 2010 г. сотрудниками лаборатории лесовосстановления ИЛ КарНЦ РАН и лаборатории болотных экосистем ИБ КарНЦ РАН. Выполнены работы на 100 ПП, на каждой из которых подробно описывались травяно-кустарничковый и мохово-лишайниковый ярусы на четырех пробных площадях по 100 кв. м. Методы описания детально изложены в специальной инструкции [<http://www.icp-forests.org/Manual.htm>], поэтому в данной публикации имеет смысл остановиться на некоторых общих моментах и перспективах использования полученных материалов.

На наш взгляд, принципиальным является то, что видовой состав определяется не толь-

ко в пределах учетных площадок, суммарная площадь которых равняется 400 кв. м, но и в остальной части общего мониторингового участка. В результате составляется список видов растений, который, как правило, шире представленных только на учетных площадках. Такой подход позволяет в будущем корректно интерпретировать изменения видового состава, а также представляет интерес при оценке уровня биоразнообразия, так как учитывает и редкие виды, по той или иной причине не попавшие на учетные площадки. Часто именно такие виды помогают оценить природоохранную значимость территории и уровень ее антропогенных изменений. Общий список включается в отчет, и при его составлении указывается приуроченность видов к учетным площадкам.

В настоящее время проводится статистический анализ полученных в Карелии и Ленинградской области в 2009 и 2010 г. данных.

Параметры, определяемые по методикам программы ICP-Forests, используются в оценках состояния лесов, углеродного цикла и биологического разнообразия для выполнения международных обязательств по министерской конференции по устойчивому управлению лесами (критерии и индикаторы устойчивого управления лесами, см. приказ по Рослесхозу от 1998 г.) (<http://www.rosleshoz.gov.ru/media/news/366>).

Международная программа по оценке и мониторингу влияния загрязнения воздуха на леса (ICP-Forests) на данный момент является одной из крупнейших в мире систем биомониторинга. На последнем совещании национальных координаторов, состоявшемся в Германии, г. Гармеш-Партенкирхен 28 мая – 2 июня 2010 г., свою заинтересованность в присоединении к программе мониторинга выразили азиатские страны (Япония, Китай и др.), которые также используют подходы и методы программы ICP-Forests в исследовании состояния лесов.

Заложенная сеть пробных площадей представляет собой важную научно-техническую инфраструктуру, позволяющую решать наряду с задачами мониторинга состояния лесов и другие проблемы. В будущем она, например, может послужить каркасом для применения выборочных методов статистической инвентаризации лесов [Алексеев и др., 2007], а также основой для развития комплексных исследований биоразнообразия региона.

Литература

Алексеев А.С., Трейфельд Р.Ф., Синкевич А.Е. Мониторинг лесов Ленинградской области на основе регулярной биоиндикационной сети пробных площадей по программе ICP-Forests // Лесобиологиче-

ские исследования на Северо-Западе таежной зоны России: итоги и перспективы: мат-лы науч. конф., посвящ. 50-летию Института леса Кар. научного центра РАН (3–5 октября). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 18–29.

Вайчис М.В. Программа-методика проведения работ по региональному мониторингу лесов европейской части СССР. Каунас: Гирионис, 1989. 56 с.

Титов А.Ф., Вдовицын В.Т., Крышень А.М. и др. Современные информационные технологии и разви-

тие сети особо охраняемых природных территорий (на примере Республики Карелия) // Тр. КарНЦ РАН. 2011. № 1. С. 82–86.

Overrein L.N., Seip H.M., Tollan A. Acid precipitation – effects on forest and fish. Final report of the SNSF-project 1972–1980. 2nd Ed. 1981.

Ulrich B., Mayer R., Khanna P.K. Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldokosystemen im Solling. Schriften aus der Forst 1. Fak. d. Univ. Gottingen, Bd. 58. 1979.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Бахмет Ольга Николаевна

ведущий научный сотрудник, к. б. н.
Институт леса Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: bakhmet@krc.karelia.ru
тел.: (8142) 768160

Федорец Наталия Глебовна

зав. лаб. лесного почвоведения и микробиологии, д. с.-х. н.
Институт леса Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: fedorets@krc.karelia.ru
тел.: (8142) 768160

Крышень Александр Михайлович

главный научный сотрудник, д.б.н.
Институт леса Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: kryshen@krc.karelia.ru
тел.: (8142) 769601

Bakhmet, Olga

Forest Research Institute, Karelian Research Centre, Russian
Academy of Science
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: bakhmet@krc.karelia.ru
tel.: (8142) 768160

Fedorets, Natalia

Forest Research Institute, Karelian Research Centre, Russian
Academy of Science
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: fedorets@krc.karelia.ru
tel.: (8142) 768160

Kryshen', Alexandr

Forest Research Institute, Karelian Research Centre, Russian
Academy of Science
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: kryshen@krc.karelia.ru
tel.: (8142) 769601