

# МОНИТОРИНГ ЛЕСОВ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ РЕГУЛЯРНОЙ БИОИНДИКАЦИОННОЙ СЕТИ ПРОБНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ПО ПРОГРАММЕ ICP-FORESTS

А.С. Алексеев<sup>\*</sup>, Р.Ф. Трейфельд<sup>\*\*</sup>, А.Е. Синкевич<sup>\*</sup>

*\*Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия,  
194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., 5,  
e-mail: a\_s\_alekseev@mail.ru*

*\*\*ФГУП «Севзаплеспроект»*

## **Введение**

В 2005 году отмечалось 20 лет со дня начала реализации крупнейшего международного проекта в области лесного хозяйства — проекта экологического мониторинга лесов по единой методике, известной в России как методика Международной кооперативной программы по оценке и мониторингу воздействия загрязнений атмосферы на леса (ICP-Forests). Указанная программа мониторинга лесов осуществляется под эгидой Экономической комиссии ООН для Европы в рамках Международной конвенции по трансграничному загрязнению атмосферы (CLTAP) с 1985 года [1, 2].

Экологический мониторинг лесов по программе ICP-Forests начал осуществляться еще в бывшем СССР с 1987 г. в республиках Прибалтики, так как в соответствии с CLTAP СССР должен был создать систему мониторинга лесов на глубину 500 км от своих западных границ [3]. С 1995 года мониторинг по программе ICP-Forests рекомендован для осуществления бывшей Федеральной службой лесного хозяйства РФ, а с 1998 года он рекомендован ею как инструмент для контроля за критерием №2 — поддержание приемлемого санитарного состояния и жизнеспособности лесов, из списка Критериев и Индикаторов устойчивого управления лесами, утвержденного приказом № 21 от 5 февраля 1998 года Федеральной службы лесного хозяйства [4,5].

Наиболее широкое распространение экологический мониторинг лесов по программе ICP-Forests [6] получил в Ленинградской области, некоторые его итоги и возможные перспективы излагаются в настоящей статье.

## **Основы методики регионального мониторинга лесов с применением регулярных биоиндикационных сетей [7]**

Регулярные биоиндикационные сети пробных площадей являются наиболее простым и понятным способом организации отбора модельных деревьев с некоторой заданной относительно большой территории по строгим и однозначным правилам. Выполнение таких правил позволяет

считать осуществленную по ним выборку случайной и, в том случае если деревьев отобрано достаточное количество — репрезентативной, а полученные выводы о состоянии лесов на данной территории будут статистически обоснованными. Применение регулярных биоиндикационных сетей аналогично широко применяемому в таксации механическому отбору деревьев в выборку (выбирается, например, каждое 5-е дерево в изучаемом насаждении), обеспечивающему с достаточной точностью ее случайность.

Обоснование необходимого числа модельных деревьев ( $N$ ) осуществляется с использованием неравенства Чебышева, которое справедливо для любого вида распределения деревьев по классам повреждения:

$$P(|x - x^*| > a) \leq s^2 / a^2 \cdot N,$$

где  $x$  — средний класс повреждения деревьев, определенный по  $N$  моделям в результате мониторинга,  $x^*$  — истинный средний класс повреждения деревьев на заданной территории,  $a$  — допустимая погрешность определения среднего класса повреждения,  $s^2$  — дисперсия распределения деревьев по классам повреждения,  $P$  — вероятность уклонения истинного значения среднего балла повреждения деревьев от рассчитанного по  $N$  моделям более, чем на  $a$ . Отсюда количество модельных деревьев равно:

$$N = s^2 / a^2 \cdot P$$

При определении  $N$  оценку дисперсии  $s^2$  целесообразно взять соответствующей равномерному распределению деревьев по классам повреждения, как имеющему максимальную дисперсию. Таким образом, при 4-х и 5-ти балльной шкале состояний  $s^2 = 1,25$  и  $2,0$ , предполагая допустимую погрешность определения среднего класса повреждения  $0,1$ , вероятность ошибки, большей чем допустимая —  $P = 0,05$ , получаем  $N = 2500-4000$  шт., что соответствует 104 и 167 пунктам постоянных наблюдений (ППН) по 24 дерева на каждом. На территории Ленинградской области было запроектировано 239 ППН, 158 по сосне и 81 по ели (рис.1). Как видно на карте наибольшее число ППН заложено на Карельском перешейке и в Западной части области, где имеет место быть наибольшая плотность населения и, соответственно, наибольшая интенсивность антропогенных воздействий.

В соответствии с вышеуказанной методикой ППН закладываются в центрах (с отклонением не более  $0,5$  км) пересечения координат биоиндикационной сети, не ближе  $35-40$  м от края таксационного выдела, опушки, дороги, ЛЭП, с привязкой к хорошо заметным в натуре ориентирам. При отсутствии в центре ППН дерева в землю вкапывается столбик.



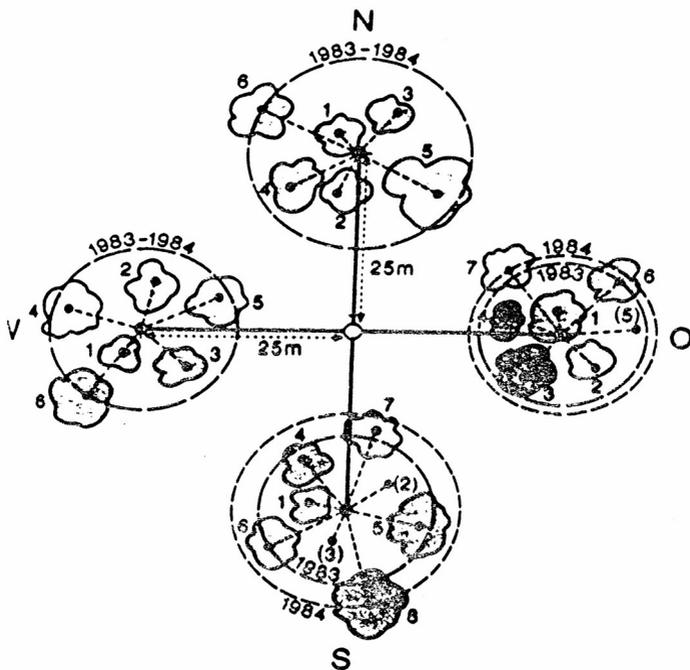


Рис. 2. Схема пункта постоянных наблюдений (ППН) регулярной сети экологического мониторинга лесов Ленинградской области

Показатели учетных деревьев заносились в учетную карточку, где все данные объединены в 10 макетов:

1. Географические координаты ППН.
2. Республика, область, район, землевладелец, лесхоз, лесничество, квартал, выдел, площадь выдела, группа лесов, категория защитности.
3. Природная зона, высота над уровнем моря, топография, рельеф, экспозиция, положение на склоне.
4. Тип почвы, ее механический состав, мощность, дренаж, глубина подстилающей породы.
5. Тип условий местопроизрастания, тип леса.
6. Состав древостоя, средняя высота, происхождение, ярусность, возраст, полнота, бонитет, запас, форма хозяйства, хозяйственные мероприятия за последние 5 лет.
7. Состояние второго яруса, наличие сухостоя, возобновление, состояние напочвенного покрова.
8. Дата закладки и данные об исполнителях.

9. Данные о средних по ТУ деревьях: номер, расстояние до центра ТУ, расстояние до первого и шестого дерева, возраст, диаметр кроны, высота, высоты до первых живых и сухих ветвей, соотношение прироста в высоту и прироста боковых ветвей, наличие мхов и лишайников, тип и угол ветвления (для ели).

10. Данные о модельных деревьях: порода, диаметр, класс Крафта, состояние вершины, наличие сухих ветвей, степень плодоношения, возраст хвои, дефолиация и дехромация кроны, доля повреждения насекомыми, болезнями и иными причинами.

Примерно на 20% ППН производился отбор образцов для почвенных анализов (в наиболее репрезентативных насаждениях). Для взятых образцов определялись: механический состав, гигроскопическая влажность, кислотность, органический углерод, общий азот, фосфор, калий, кальций, магний, количество гумуса.

Определение состояния обследуемых насаждений основано на использовании метода биоиндикации, при котором учитывают морфологические изменения деревьев. Важнейшими биоиндикационными признаками повреждения деревьев при мониторинге лесов являются дефолиация (потеря хвои и листья) и дехромация (изменение окраски) крон деревьев. На основе этих показателей формируют интегральные классы повреждения деревьев. Выделяют пять таких классов жизненного состояния, каждому из которых присваивается свой балл (0 — здоровое дерево, 1 — ослабленное, 2 — сильно ослабленное, 3 отмирающее, 4 — сухостой). Согласно вышеуказанной методике европейского мониторинга лесов, интегральным классам повреждения деревьев соответствуют следующие величины дефолиации и дехромации крон деревьев:

#### Интегральные классы повреждения деревьев

Степень дефолиации, %	Степень изменения окраски хвои или листьев, %			
	<10	11–25	26–60	>60
<10	0	0	1	2
11–25	0	1	2	2
26–60	1	2	3	3
61–99	3	3	3	3
100	4	4	4	4

Для оценки жизненного состояния древостоев применяется индекс состояния (I, баллы), представляющий собой средний взвешенный класс повреждения составляющих древостой деревьев:

$$I = \left( \sum_{i=0}^4 i w_i \right) / W ,$$

где  $i$  — номера классов повреждения деревьев, баллы;  $w_i$  — количество деревьев  $i$ -го класса повреждения в данном насаждении;  $W$  — общая численность деревьев.

Важным методическим вопросом при оценке жизненного состояния древостоев является отношение к включению в расчет индекса старого сухостоя, который сильно влияет на его величину и соответственно на окончательные выводы. Особенно это актуально для северных лесов, где стволы отмерших деревьев могут стоять несколько десятилетий, практически не влияя на жизненное состояние древостоя. Учет такого сухостоя сильно и недостаточно обоснованно ухудшает оценку жизненного состояния древостоев и поэтому рекомендуется включать в расчет индексов состояния сухостой с давностью его образования не более 10 лет.

По величине индекса состояния древостои классифицируются следующим образом:

#### **Классификация древостоев по величине индексов состояния**

Категория состояния древостоя	Величина индексов по категориям состояния	
	По отечественной методике	По европейской методике
Здоровые	1–1,5	0–0,5
Ослабленные	1,6–2,5	0,6–1,5
Сильно ослабленные	2,6–3,5	1,6–2,5
Отмирающие	3,6–4,5	2,6–3,5
Сухостой	>4,6	>3,6

#### **Основные результаты мониторинга состояния лесов Ленинградской области**

Территория Ленинградской области традиционно делится на три части, внутренними границами которых являются реки Нева и Волхов: Карельский перешеек (южная граница — река Нева), Западная часть и Восточная часть, разделяемые рекой Волхов. Состояние лесов в Ленинградской области в целом и по отдельные ее регионам характеризуется распределением модельных деревьев по классам состояния — экологической структурой лесов, которая приведена в табл. 1. В табл. 1 также представлены индексы состояния хвойных древостоев по области в целом, и по регионам в отдельности.

Данные таблицы показывают, что число модельных деревьев за анализируемый период времени сократилось с 5160 штук, расположенных на 215 ППН, до 5112 — на 213 ППН. Таким образом, 2 ППН были утрачены в результате их вырубки в нарушение их защитного статуса, как видно из таблицы одна на Карельском перешейке и одна в Западном регионе

области. Индекс состояния древостоев хвойных пород незначительно сократился по области в целом, за счет улучшения состояния лесов на Карельском перешейке, в то время как в Западном и Восточном регионах произошло их ухудшение.

Таблица 1

**Распределение модельных деревьев хвойных пород Ленинградской области в целом и регионов по классам состояния в 1995–1996 и 2001–2003 гг.**

Регион	Годы учета	Класс состояния (число деревьев/доля)					Всего
		0	1	2	3	4	
Ленинградская область	1995-96	2348	2083	661	68	0	5160
		0,455	0,404	0,128	0,013	0,000	1,000
	2001-03	3093	1452	490	69	8	5112
		0,605	0,284	0,096	0,013	0,002	1,000
Карельский перешеек	1995-96	575	1021	531	57	0	2184
		0,263	0,467	0,243	0,026	0,000	1,000
	2001-03	1579	463	91	25	2	2160
		0,731	0,214	0,042	0,012	0,001	1,000
Западный	1995-96	1149	996	124	9	2	2280
		0,504	0,437	0,054	0,004	0,001	1,000
	2001-03	1266	676	274	35	5	2256
		0,561	0,300	0,121	0,016	0,002	1,000
Восточный	1995-96	621	66	6	2	1	696
		0,892	0,095	0,009	0,003	0,001	1,000
	2001-03	248	313	125	9	1	696
		0,356	0,450	0,180	0,013	0,001	1,000

Состояние древостоев хвойных пород Ленинградской области по отдельным ППН в 1995-96 и 2001–2003 годах представлено на рис. 3 и 4

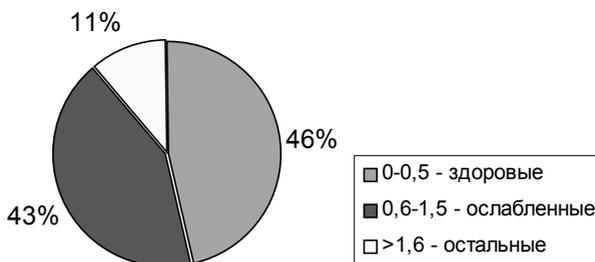


Рис. 3. Состояние древостоев хвойных пород Ленинградской области в 1995-96 г. г. (% ППН)

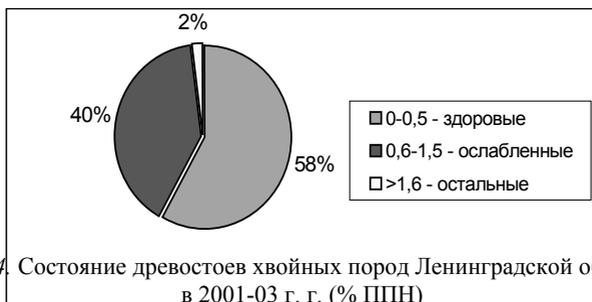


Рис. 4. Состояние древостоев хвойных пород Ленинградской области в 2001-03 г. г. (% ППН)

Рис. 3 и 4 показывают, что за анализируемый промежуток времени произошло увеличение числа ППН с здоровыми древостоями на 12% и сократилось с ослабленными на 3%, и более сильно поврежденными на 9%, что находится в соответствии с полученными выше результатами анализа распределения всех модельных деревьев по классам состояния.

Изменения состояния древостоев происходят конкретно на каждом ППН, поэтому в целом динамика состояния хвойных лесов по области и по регионам может быть оценена по процентам ППН, на которых произошли изменения в лучшую или худшую сторону. Эти результаты представлены на рис. 5, 6, 7 и 8.



Рис. 5. Изменение состояния древостоев хвойных пород Ленинградской области в целом за период с 1995 по 2003 г. г. (% ППН)

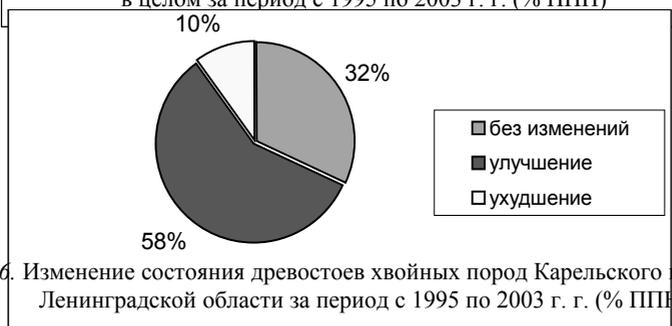


Рис. 6. Изменение состояния древостоев хвойных пород Карельского перешейка Ленинградской области за период с 1995 по 2003 г. г. (% ППН)



Рис. 7. Изменение состояния древостоев хвойных пород Западной части Ленинградской области за период с 1995 по 2003 г. г. (% ППН)



Рис. 8. Изменение состояния древостоев хвойных пород Восточной части Ленинградской области за период с 1995 по 2003 г. г. (% ППН)

Рис. 5-8 показывают, что по Ленинградской области в целом на 52% ППН не произошло изменений состояния древостоев хвойных пород, на 31% ППН произошло улучшение состояния и на 17% — ухудшение. На Карельском перешейке произошло улучшение состояния древостоев на 58% ППН при ухудшении на 10% и отсутствии изменений на 32% ППН. В западной и восточной частях области доли ППН с ухудшением состояния древостоев превосходят, таковые с улучшением. Интересно отметить, что в Восточной части области ухудшение состояния древостоев произошло на всего 3% ППН, однако, как следует из табл. 1., ухудшение в целом по региону было существенным, что позволяет предположить наличие относительно компактного повреждения насаждений хвойных пород, что, однако требует дополнительного анализа и изучения.

Изучалось состояние древостоев хвойных пород в зоне пятна радиоактивного загрязнения, которое образовалось на территории Ленинградской области в 1986 году. Результаты сравнения состояния древостоев в зоне загрязнения и за ее пределами, представлены на рис. 9. Видно, что в зоне загрязнения состояние древостоев существенно хуже, различия в состоянии статистически достоверны.

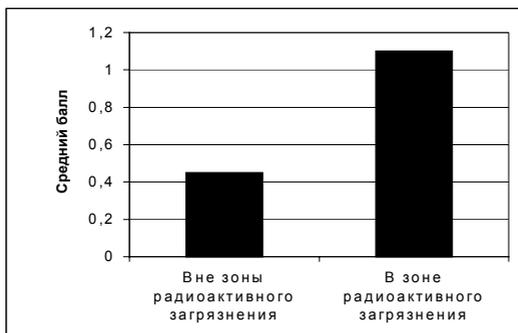


Рис. 9. Состояние древостоев хвойных пород в зоне пятна радиоактивного загрязнения

В целях изучения зависимости состояния древостоев хвойных пород от интенсивности антропогенного воздействия был проведен количественный анализ связи индекса состояния древостоев и места их расположения относительно населенных пунктов. Полученные данные обрабатывались с помощью метода регрессионного анализа, результаты которого представлены на рис.10.

Установлена достоверная зависимость состояния древостоев хвойных пород от расстояния до ближайшего населенного пункта, подавляющая часть ослабленных и поврежденных древостоев расположена на расстояниях 10 и менее километров от них. Закономерность оказалась одной и той же для данных 1996-96 и 2001-03 годов. В последний учетный период состояние древостоев немного улучшилось, но также закономерно оно ухудшается по мере приближения к населенным пунктам, как основным источникам антропогенного воздействия.

На основе полученных данных возможно сравнение состояния лесов Ленинградской области с состоянием их в других странах — участницах программы ICP-Forests. Наибольший интерес вызывает сравнение состояния наших лесов и лесов соседней Финляндии. По отчетным данным [8] доли модельных деревьев по классам состояния в Финляндии в 2002 году были следующими: здоровые (балл 0) — 0,543, ослабленные (1) — 0,338, сильно ослабленные (2) — 0,110, отмирающие и сухостой (3+4) — 0,009. Индекс состояния — 0,585. Данные по Ленинградской области приведены в табл.1, индекс состояния — 0,522. Таким образом, состояние хвойных лесов на соседних территориях приблизительно совпадает, оно немного лучше в Ленинградской области, что легко может быть объяснено меньшей концентрацией промышленности, сельского хозяйства и транспорта. Близкие значения характеристик состояния лесов в Финляндии и

Ленинградской области косвенно подтверждают высокое качество проведенных у нас работ по мониторингу лесов.

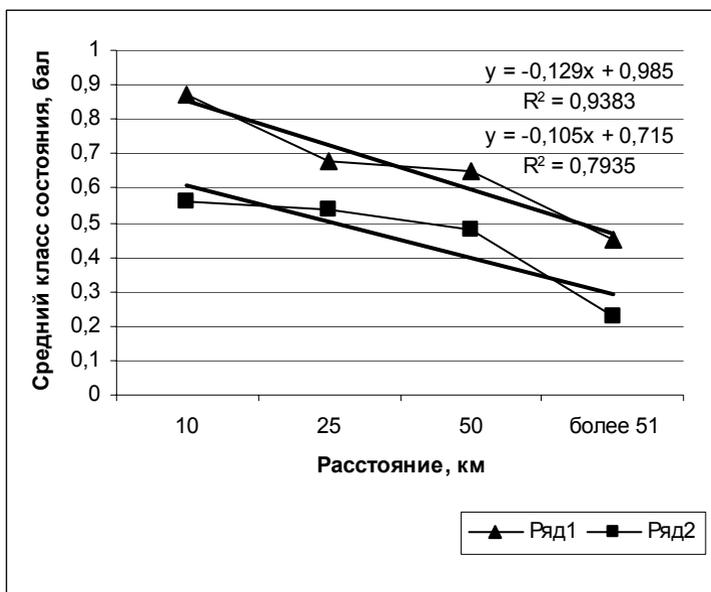


Рис. 10. Состояние древостоев хвойных пород Ленинградской области в зависимости от расположения относительно населенных пунктов. Ряд 1 — данные мониторинга 1995-96 г. г., ряд 2 — данные мониторинга 2001-2003 г. г.

Рамки статьи не позволяют привести все результаты анализа полученных данных, например, состояние древостоев и его изменения по породам, данные по дефолиации и дехромации крон деревьев, результаты картирования поврежденных древостоев и т. д., однако и приведенные выше материалы достаточно характеризуют состояние древостоев хвойных пород Ленинградской области и его динамику во времени.

### Заключение

В заключении можно сделать следующие выводы:

1. Мониторинг состояния лесов с помощью регулярных биоиндикационных сетей ППН является эффективным методом решения поставленных задач. Метод является достаточно чувствительным, так за период наблюдений с 1995 по 2003 годы изменения состояния древостоев в ту или иную сторону произошли на 48% ППН.

2. Результаты мониторинга дают информацию для оценки степени устойчивого управления лесами по критерию № 2 — поддержание приемлемого санитарного состояния и жизнеспособности лесов из списка, утвержденного приказом Рослесхоза в 1998 году. Получить информацию о состоянии лесов на территории сопоставимой с территорией субъекта Российской Федерации из других источников не представляется возможным.

3. Заложённая сеть ППН представляет собой важную научно-техническую инфраструктуру, позволяющую решать наряду с задачами мониторинга состояния лесов и другие проблемы, например, учет и инвентаризацию биоразнообразия [9]. В будущем она может послужить каркасом для применения выборочных методов статистической инвентаризации лесов области, а так же решения иных задач. Государственная инвентаризация лесов на основе выборочных статистических методов предусмотрена новым лесным кодексом и уже заложённая сеть ППН может снизить первоначальные затраты на ее проведение в Ленинградской области.

4. Полученные в результате проведенных работ данные являются сопоставимыми с данными других стран, что позволяет делать необходимые сравнения и заключения.

### Список литературы

- Алексеев А.С., Трейфельд Р.Ф., Синкевич А.Е.* Экологический мониторинг лесов Ленинградской области: итоги и перспективы // Лесное хозяйство. 2007. № 2. С. 35-37.
- Europe's Forests in a Changing Environment. Twenty years of Monitoring Forest Condition by ICP-Forests. UNECE, Geneva. 2005. 64 p.
- Вайчис М.В.* Программа-методика проведения работ по региональному мониторингу лесов Европейской части СССР. Каунас-Гирионис, 1989. 56 с.
- Методика организации и проведения работ по мониторингу лесов европейской части России по программе ICP-Forests (методика ЕЭК ООН), Москва, 1995. 42 с.
- Критерии и индикаторы устойчивого управления лесами. Приказ № 21 от 5 февраля 1998 года Федеральной службы лесного хозяйства РФ.
- Manual on methodologies and criteria for harmonized sampling assessment monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Hamburg/Prague: Programme Coordinating Centers/ UNECE. 1998. 177 p.
- Алексеев А.С.* Мониторинг лесных экосистем. 2-изд. СПб., 2003. 116 с.
- Forest condition in Europe. Report on the 2003 survey. UN/ECE, EC, Geneva, Brussels. 1994. 174 p.
- Алексеев А.С., Григорьева С.О., Егорова Г.Л., Трейфельд Р.Ф.* Оценка растительного разнообразия лесных экосистем. СПб., 2002. 72 с.