

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ (*LARIX SIBIRICA* LEDEB.) КАК БИОИНДИКАТОРА СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКИХ НАСАЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ХАКАССКО-МИНУСИНСКОЙ КОТЛОВИНЫ**

В статье приводится качественный анализ состояния окружающей среды с использованием лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) в качестве биоиндикатора. Выявлены различия морфометрических показателей листового аппарата, согласованности радиального прироста и климатического отклика городской среды от природной.

**Ключевые слова:** лиственница сибирская, хвоя, климатический отклик, дендроиндикация, реперные годы.

O.V. Abramenko

**THE USE OF SIBERIAN LARCH (*LARIX SIBIRICA* LEDEB.) AS THE BIOINDICATOR OF THE URBAN PLANTING STATE IN THE CONDITIONS OF THE FOREST-STEPPE ZONE IN THE KHAKASS-MINUSINSK HOLLOW**

The qualitative analysis of the environment condition using the Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) as a bio-indicator is given in the article. The differences of the leaf apparatus morphometric parameters, consistency of radial growth and urban environment climate response from natural environment is revealed.

**Key words:** Siberian larch, needles, climate response, dendroindication, reference years.

---

**Введение.** Выявление видов-индикаторов, отражающих изменения в экологической обстановке, до сих пор остается приоритетным направлением в исследованиях, касающихся установления качественных связей между видами и определяющим фактором воздействия. Одним из направлений в данной области является дендроиндикация [1]. Наиболее удобными биоиндикаторами атмосферного загрязнения среды остаются хвойные деревья, так как они отличаются высокой чувствительностью к повышенным концентрациям токсических веществ в окружающей среде [2, 3]. В городских условиях хвойным деревьям необходимы дополнительные затраты для компенсации воздействия стрессовых факторов, что снижает интенсивность роста и репродукцию биомассы [4, 5].

Республика Хакасия расположена в зоне повышенного природного потенциала загрязнения атмосферы, который характеризуется частой повторяемостью штилей и приземных инверсий, что затрудняет рассеивание вредных веществ и способствует их накоплению в атмосфере. Анализ проб атмосферного воздуха на содержание вредных веществ свидетельствует о неблагополучии экологической обстановки в г. Абакане [6].

В качестве биоиндикатора состояния природной среды в г. Абакане выбрали лиственницу сибирскую (*Larix sibirica* Ledeb.), обладающую высокой чувствительностью к стрессовым воздействиям городской среды [7].

**Цель исследований.** Выявить возможность использования для качественной оценки состояния окружающей среды лиственницу сибирскую в качестве биоиндикатора в условиях лесостепной зоны Хакасско-Минусинской котловины.

**Материалы и методы исследований.** Материалом для исследований послужили данные дендрохронологической станции в черте города Абакана и дендростанции «Биджа» (контрольный вариант), находящейся в 53 км к северо-западу от г. Абакана (с наветренной стороны от основных промышленных центров) в лесостепной зоне Усть-Абаканского района Хакасии. Анализ природно-климатических условий дендростанций показал их сходство. Исследуемый район относится к Алтае-Саянской области умеренного пояса с резко континентальным и засушливым климатом. Для оценки влияния климата на динамику прироста деревьев использованы ежемесячные данные ближайшей метеостанции «Хакасская» (#29862, 53°46' с.ш. 91°19' в.д.) за период 1959–2012 гг. На климатограмме (рис. 1) показано распределение осадков и температуры в течение года.

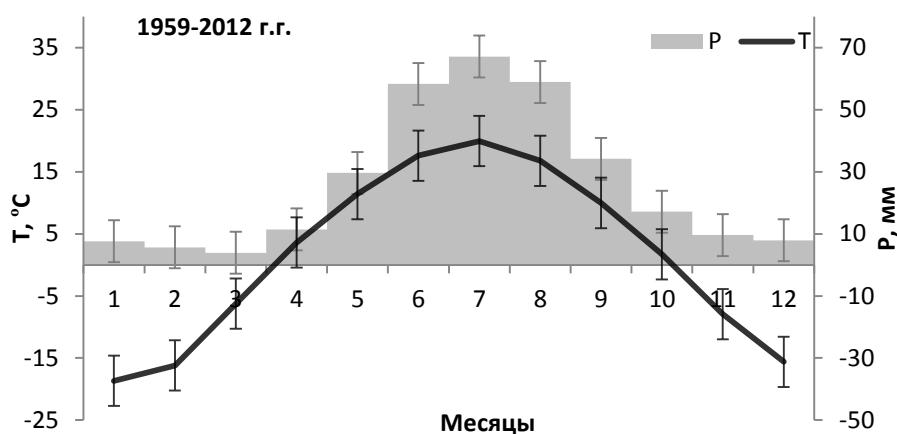


Рис. 1. Климатограмма исследуемого района в период 1959–2012 гг. (планками погрешностей показаны стандартные отклонения температуры и осадков)

Для исследования изменчивости радиального прироста и морфологических характеристик хвои в зависимости от степени загрязненности воздуха были выбраны по 15 модельных деревьев на каждой дендростанции, с каждого дерева взяты по 15 кернов и по 15 образцов хвои. Сбор, транспортировка, обработка кернов, измерение и стандартизация ширины годичных колец проводились по стандартным методикам, используемым в дендрохронологии [8]. Морфометрические показатели хвои измеряли на установке LINTAB-5 «RINNTECH» (Германия). Ширину хвоинок была измерена в пятикратной повторности (равномерно по длине хвоинки) и затем усреднена. Длину измеряли с учетом изгиба хвоинки.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Анализ индивидуальных древесно-кольцевых хронологий показал, что процент выпавших колец на дендростанции в Абакане больше, чем на дендростанции «Биджа» (1,7 и 1,1 % соответственно). Поскольку природно-климатические условия на исследуемых дендростанциях однородны, можно сделать вывод, что количество выпавших колец увеличивается при антропогенной нагрузке и может служить одним из показателей качества среды, тем более, что на дендростанции «Биджа» выпавшие кольца могут быть обусловлены не только неблагоприятными погодными условиями, но и пирогенным фактором (лесными пожарами), который в Абакане практически исключен.

Значения коэффициента чувствительности и выраженного сигнала популяции для обеих хронологий достаточно высоки (около 0,3 и более 0,85 соответственно), следовательно, хронологии пригодны для дендроклиматического анализа (табл. 1).

Таблица 1  
Статистические характеристики локальных индексированных хронологий в период 1951–2012 гг.

Показатель	Дендростанция г. Абакан	Дендростанция «Биджа»
Стандартное отклонение, SD	0,32	0,23
Коэффициент чувствительности, Kr	0,34	0,29
Средний межсерийный коэффициент корреляции, R	0,28	0,45
Отношение сигнала к шуму, SNR	5,79	12,34
Выраженный сигнал популяции, EPS	0,85	0,93

Стандартное отклонение и коэффициент чувствительности индексов радиального прироста в Абакане выше, что указывает на большую изменчивость, вызванную внешними факторами, в том числе и антропогенными. Однако межсерийные коэффициенты корреляции, отношение сигнала к шуму и выраженный сигнал популяции в городских насаждениях ниже, что может быть вызвано неоднородностью антропогенной нагрузки в различных частях города. Между индексированными локальными хронологиями двух дендростанций существует положительная корреляционная связь ( $R = 0,34$ ), что объясняется наличием сходного климатического сигнала.

При сравнении индивидуальных хронологий были выделены годы минимального и максимального прироста у большей части деревьев – реперные годы. На дендростанции «Биджа» за период 1951–2012 гг. количество реперных лет больше, чем в Абакане, что объясняется согласованностью приро-

ста в отсутствие антропогенной нагрузки. Тем не менее значительная часть реперных лет совпадает для обеих станций (около 55 % от общего количества в Абакане как для максимумов, так и для минимумов прироста) и, следовательно, имеет климатическую природу.

Расчет коэффициентов корреляции остаточных хронологий со среднемесячными климатическими переменными показал, что в лесостепной природной зоне на погодичную изменчивость радиального прироста влияют температуры и осадки нескольких периодов (рис. 2). В целом для обеих дендростанций наблюдается значимое положительное влияние осадков и отрицательное влияние температур первой половины сезона роста, именно это влияние обуславливает корреляции между хронологиями дендростанций г. Абакана и «Биджа». Однако наблюдаются и индивидуальные климатические реакции, обусловленные как более северным расположением дендростанции «Биджа», так и микроклиматическими различиями, характерными для городской среды в г. Абакане.

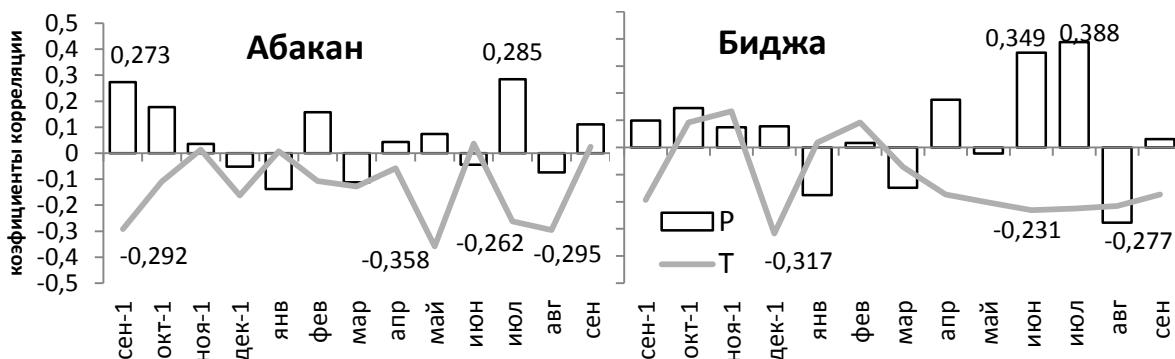


Рис. 2. Коэффициенты корреляции индексированных хронологий с климатическими факторами за 1959–2012 гг. (подписаны коэффициенты, значимые на уровне  $p \leq 0,10$ )

На дендростанции «Биджа» погодные условия в мае не оказывают значимого влияния, так как формирование древесины начинается несколько позже, чем в г. Абакане. Сочетание положительного воздействия осадков и отрицательного (иссушающего) температур в июне–июле характерно для лесостепной зоны при континентальном климате. В августе наблюдается отрицательное воздействие осадков, которое можно объяснить тем, что в отдельные годы осадки августа достигают 120–150 мм, что является избыточным для древостоя, адаптированного к умеренному увлажнению, и угнетает процессы роста; при исключении же этих экстремальных лет взаимосвязи радиального прироста лиственницы с осадками не наблюдаются. Угнетение радиального прироста после зим с высокой температурой декабря (выше  $-10^{\circ}\text{C}$ ) может быть вызвано стаиванием большей части снежного покрова во время оттепелей, которое впоследствии приводит к промерзанию почвы и повреждению поверхностной корневой системы лиственницы.

В Абакане, как видно по наличию значимого влияния погодных условий в мае и сентябре, формирование древесины лиственницы начинается раньше, а заканчивается позднее. Это связано с повышением температуры, характерным для городского микроклимата [9]. Кроме того, в городе почвы более бедные, чем в природных условиях, что приводит к необходимости накопления ассимилятов в конце вегетационного сезона (сентябрь) и к повышению значимости климата в этот период. Отсутствие негативного влияния избытка осадков в сентябре может быть связано с наличием в городе ливневой канализации, а таяние снегового покрова при оттепелях в начале зимы компенсируется позднее распространенной в городе практикой складирования снега, убранного с дорожного полотна, а также в зоне зеленых насаждений.

При осмотре хвои исследованных деревьев было замечено, что на дендростанции в г. Абакане на 30–40 % хвоинок присутствуют однотипные точечные повреждения – хлорозы (осветленные или поменявшие цвет участки ткани, образующиеся при нарушениях биосинтеза хлорофилла и пластидного аппарата), появление которых связано с повышенной запыленностью от интенсивного дорожного движения в городе и печного отопления частного сектора, где непосредственно находится дендростанция. На дендростанции «Биджа» повреждения хвои не наблюдаются. Данные морфологические изменения наряду с размерами хвои могут быть использованы для биоиндикации, так как длина хвои варьирует от индивидуальных и возрастных особенностей того или иного дерева [10]. Многие исследования показывают, что значительно снижены ростовые процессы побегов хвойных пород, подвергающихся действию атмосферного загрязнения. Так, под действием нитратов хвоя удлиняется, под действием  $\text{SO}_2$  – укорачивается, соединения серы отрицательно влияют на размеры хвои [3, 7]. По результатам наших исследований видно, что воздействие городской сре-

ды отрицательно сказывается на ростовых процессах в хвое лиственницы: в среднем длина и площадь хвои в Абакане меньше, чем в контрольной зоне, при тех же значениях ширины хвоинки (табл. 2).

Таблица 2  
Средние значения и стандартные отклонения морфометрических показателей хвои

Показатель	Дендростанция г. Абакан	Дендростанция «Биджа»
Длина хвоинки, мм	$29,4 \pm 5,3$	$31,7 \pm 7,8$
Ширина хвоинки, мм	$0,69 \pm 0,12$	$0,68 \pm 0,13$
Max длина хвоинки, мм	44,61	50,00
Min длина хвоинки, мм	18,73	18,46
Max ширина хвоинки, мм	1,07	1,04
Min ширина хвоинки, мм	0,39	0,35
Площадь поверхности хвоинки, $\text{мм}^2$	$20,8 \pm 7,4$	$22,7 \pm 9,8$

Показатель точности для обеих выборок меньше 5 % [11]. Значит, можно сделать вывод о достаточно высокой точности полученных данных. Уровень достоверности различий данных выборок рассматривался по критерию Колмогорова-Смирнова (наблюданное значение статистики равно 0,896 при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ ) [12]. Расчеты показали, что нет оснований для заключения о наличии существенных различий в длине хвои на двух изученных дендростанциях.

Известно, что в однородных условиях у более молодых деревьев наблюдаются большие размеры ассимиляционного аппарата [3], однако в данном случае наблюдается обратная картина. Эта тенденция хорошо просматривается на графике зависимости длины от ширины хвои. Такую разницу можно объяснить действием загрязняющих веществ, например, действием бенз(а)пирена и взвешенных веществ от прилегающей автотрассы, а также действием соединений серы от печного отопления жилого сектора (рис. 3).

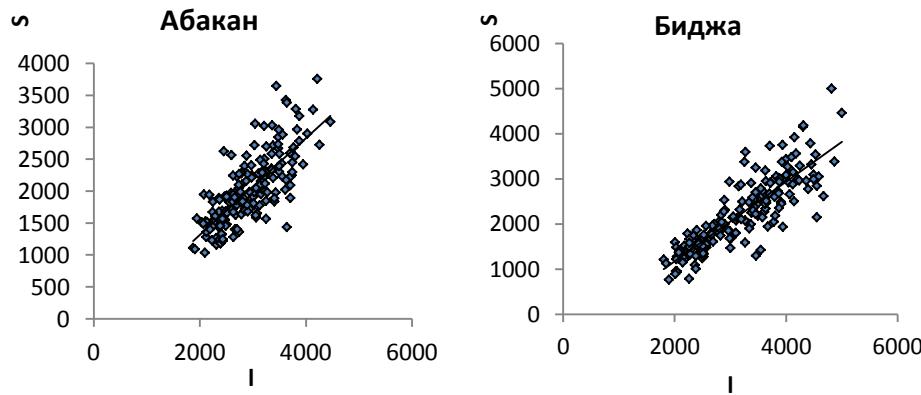


Рис. 3. Зависимость длины хвои от ее площади

Рассматривая изменчивость морфометрических показателей хвои лиственницы в зависимости от антропогенной нагрузки, можно отметить, что в городских условиях среднестатистические морфометрические показатели хвои меньше за счет влияния загрязняющих веществ.

**Заключение.** Для качественной оценки состояния окружающей среды возможно использовать лиственницу сибирскую в качестве биоиндикатора в условиях лесостепной зоны Хакасско-Минусинской котловины. Это подтвердили такие показатели, как морфометрические показатели листового аппарата хвойных, а также тот факт, что в городских условиях согласованность радиального прироста различных деревьев уменьшается, как и сами значения ШГК, за счет влияния загрязняющих веществ. Климатический отклик изменяется вследствие микроклиматических отличий городской среды от природной, когда как основными лимитирующими климатическими факторами, действующими на двух дендростанциях, являются избыточная и недостаточная увлажненность в отдельные месяцы года, малоснежные зимы, высокая температура в начале вегетации.

**Литература**

1. Трансформация климатического отклика в радиальном приросте деревьев в зависимости от топологических условий их произрастания / Е.А. Бабушкина, А.А. Кнорре, Е.А. Ваганов [и др.] // География и природные ресурсы. – 2011. – № 1. – С. 159–166.
2. Ваганов Е.А., Шашкин А.В. Рост и структура годичных колец хвойных. – Новосибирск: Наука, 2000. – 232 с.
3. Dässler H.G. Reaktionen von Gehölzen auf Immissionen und Schlußfolgerungen für den Anbau // Begründung in Industriegebieten: Ref. d. VII. Detrol. Kongr. soz. Länder 29. Jun ibis 3. Juli 1979 in Dresden. – 1981. – Р. 31–36.
4. Кузьмичев В.В., Авдеева Е.В. Реакция лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb) на техногенные воздействия городской среды // Хвойные бореальной зоны. – 2007. – № 1. – С. 36–42.
5. Матвеев С.М. Дендроиндикация состояния сосновых насаждений Центральной лесостепи: монография. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2003. – 272 с.
6. О состоянии окружающей среды Республики Хакасия в 2011 году: докл. – Абакан, 2012. – 126 с.
7. Собчак Р.О. Диагностика состояния видов хвойных в зонах техногенного загрязнения Республики Алтай // Вестн. ТГУ. – 2009. – № 325. – С. 185–190.
8. Методы дендрохронологии. Ч. 1. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: учеб.-метод. пособие / Е.А. Ваганов, С.Г. Шиятов, А.В. Кирдянов [и др.]. – Красноярск, 2000. – 80 с.
9. Бухарина И.Л., Журавлева А.Н., Большова О.Г. Городские насаждения: экологический аспект: монография. – Ижевск, 2012. – 206 с.
10. Абраменко О.В., Бабушкина Е.А., Кропачёва Ю.А. Индикация состояния городских насаждений на юге Сибири по морфометрическим показателям хвои лиственницы сибирской // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. – Брянск, 2013. – Вып. 35. – С. 31–34.
11. Зайцев Г.Н. Методика биометрических расчетов. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. – М.: Наука, 1973. – 256 с.
12. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 543 с.



УДК 630.3:002/764:002

*Ю.М. Ельдештейн, О.В. Болотов, А.С. Болотова*

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ОСВОЕНИЯ ЛЕСОВ С ПОЗИЦИИ ЛОГИСТИКИ**

*В статье рассматривается необходимость системного подхода при решении задач, возникающих на пути материального потока от лесозаготовок до конечного потребителя.*

**Ключевые слова:** оптимизация освоения лесов, расчетная лесосека, тип дорожного покрытия, грузосборочный участок, схема доставки, выбор транспортных средств.

*Yu.M. Eldeshtejn, O.V. Bolotov, A.S. Bolotova*

**THE SOLUTION TO THE OPTIMIZATION PROBLEM OF THE FOREST DEVELOPMENT  
IN THE VIEW OF LOGISTICS**

*The necessity for the system approach in the solution of the tasks arising on the material stream way from logging to the end user is considered in the article.*

**Key words:** optimization of forest development, rated cutting area, road surface type, cargo assembly site, scheme of delivery, choice of vehicles.

---

Основная цель логистики состоит в минимизации затрат ресурсов и времени путем оптимального сквозного управления материальными и информационными потоками на пути от первичного источника до конечного потребителя. Принцип системности предполагает формирование интегрированной системы управления материальными потоками в рамках производственно-сбытовой системы. Системный подход в логистике предполагает рассмотрение хозяйствующих субъектов как комплекса взаимосвязанных подсистем. В этих усло-