

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 Хакаско-Минусинской котловины.

Материалы и методы исследований. Материалом для исследований послужили данные дендро-хронологической 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.

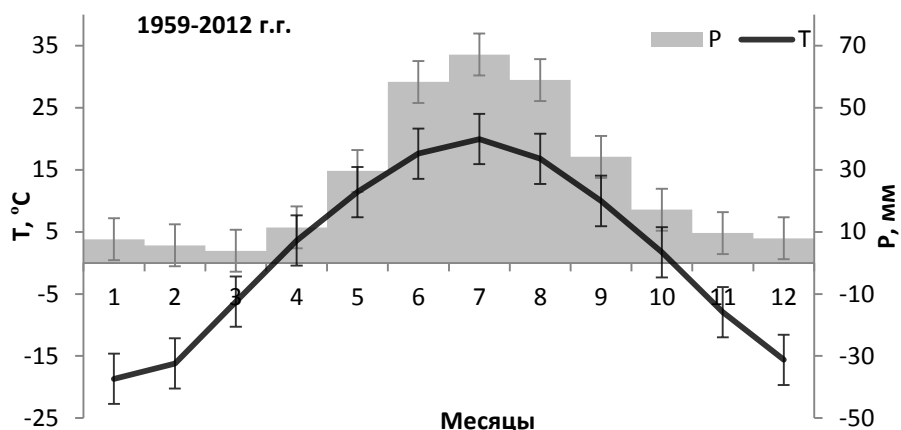


Рис. 1. Климатограмма исследуемого района в период 1959–2012 гг. (планками погрешностей показаны стандартные отклонения температуры и осадков)

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). Ширина 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, K _г	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 отличиями, характерными для городской среды в г. Абакане.

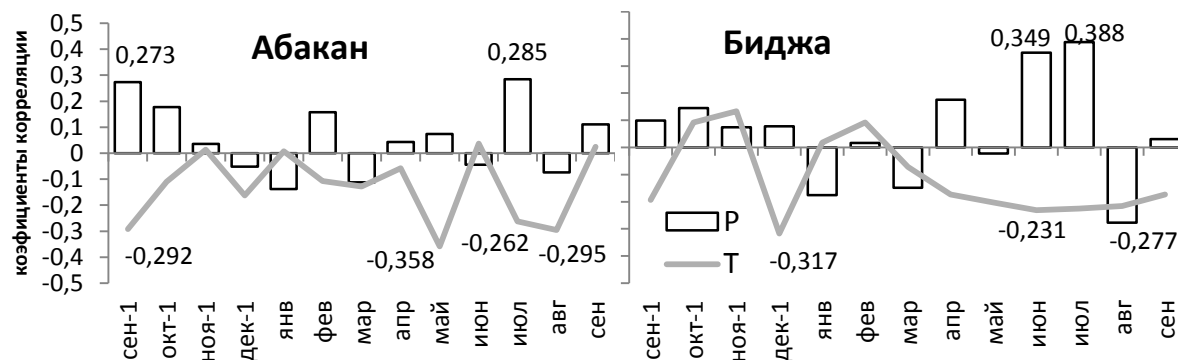


Рис. 2. Коэффициенты корреляции индексированных хронологий с климатическими факторами за 1959–2012 гг. (подписаны коэффициенты, значимые на уровне $p \leq 0,10$)

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°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 снежного 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 нарушении 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 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 ± 5,3	31,7 ± 7,8
Ширина хвоинки, мм	0,69 ± 0,12	0,68 ± 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, мм ²	20,8 ± 7,4	22,7 ± 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 (наблюдаемое 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).

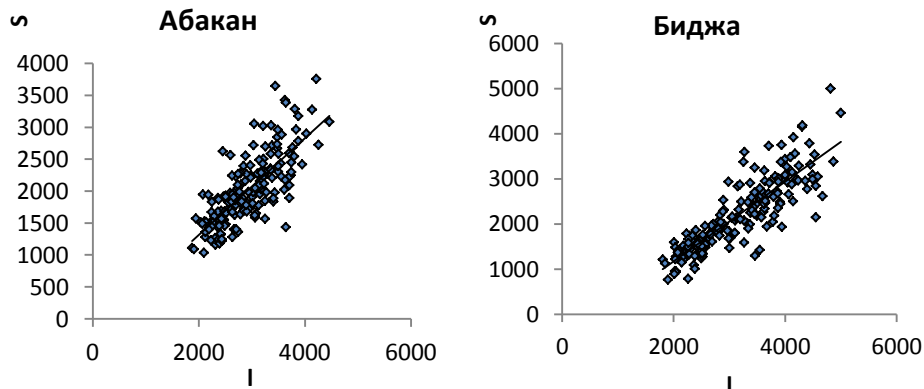


Рис. 3. Зависимость длины хвои от ее площади

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 Хакаско-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 bis 3. Juli 1979 in Dresden. – 1981. – P. 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., Кропачева 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. Eldeshteyn, 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-