

ОГЛАВЛЕНИЕ

Аннотация	3
Введение	4
Материалы и методы исследования	6
Обсуждение результатов	7
1. Расчет показателя флуктуирующей асимметрии	7
2. Оценка возможности использования показателя «длина хвой» для оценки экологической обстановки региона	8
Вывод	9
Список литературы	10

Аннотация

Изучены изменения морфолого-анатомических характеристик, а также флуктуирующей асимметрии (ФА) хвои сосновых древостоев, произрастающих под влиянием промышленных выбросов г. Красноярска.

Фоновым объектом выбран сосняк в 100 км от городской черты, вне основного переноса выбросов промышленности города. Наблюдения проводили в 2019гг. в чистых по составу сосновых насаждениях разнотравного типа леса. На модельных деревьях измеряли длину хвои по парам. Показатели ФА хвои рассчитывали по методике [1].

Выявлено, что под влиянием промышленных выбросов города проявляются тенденции к уменьшению внешних размеров хвои по сравнению с фоновыми значениями. С другой стороны, через компенсаторный механизм идет адаптация морфологической и анатомической структур физиологически активной хвои к изменяющейся среде. Индексы ФА показателей анатомических структур хвои варьируют и в техногенной среде, и в условиях фона. Вариации обусловлены особенностями абиотических факторов мест произрастания насаждений и техногенными нагрузками.

Введение

На территории г. Красноярска функционируют крупные промышленные предприятия, выбросы вредных веществ которых вызывают загрязнение почвы на значительных площадях по основному воздушному переносу. Среди стационарных объектов наиболее значительными источниками загрязнения как городской среды, так и пригорода, являются предприятия теплоэнергетики (ТЭЦ, 2, 3, котельные, которых насчитывается более 10 в городе) и Алюминиевый завод. В холодный период года, большой вклад вносит печное отопление частного сектора, вклад которого подсчитать невозможно. Кроме стационарных источников, большой вклад вносит автомобильный транспорт, численность которого растет из года в год (Таблица 1) [9].

Таблица 1. Наличие автомобильного транспорта¹⁾ (тысяч единиц)

	2014	2015	2016	2017	2018
Автомобильный транспорт – всего	1072,7	1061,8	1029,7	1059,2	1022,8
в том числе:					
грузовой	141,9	139,5	136,3	140,8	133,7
легковой	914,9	906,6	878,4	902,8	874,7
автобусы	16,0	15,7	15,0	15,5	14,4

¹⁾ По данным Министерства внутренних дел Российской Федерации.

В окружающую среду поступают более двадцати канцерогенных веществ, концентрации которых во много раз превышают предельно допустимые [4].

Одним из перспективных направлений интегральной оценки уровня загрязнения среды является биологический мониторинг, при котором основным показателем стрессового воздействия является нарушение

развития организмов и их популяций. Стрессовые факторы вызывают изменение гомеостаза развития, которые могут быть оценены по нарушению морфогенетических процессов [6].

Главными показателями изменений гомеостаза с морфологической точки зрения являются показатели индекса флуктуирующей асимметрии (ИФА) - ненаправленных различий между правой и левой сторонами различных морфологических структур, в норме обладающих билатеральной симметрией. При нормальных условиях величина асимметрии минимальна, при любых стрессовых воздействиях она возрастает. Флуктуирующая асимметрия (ФА) возникает вследствие нарушения стабильности развития организма и может использоваться для оценки стрессового воздействия внешней среды на живые организмы [6]. Явление флуктуирующей асимметрии связано с нарушением стабильности развития организма в результате воздействия внешних факторов, в первую очередь антропогенного. Степень выраженности индекса ФА напрямую зависит от силы воздействия фактора: чем он сильнее, тем большие значения имеет показатель ФА. Это позволяет на макроскопическом уровне использовать индекса ФА в качестве меры в оценке стабильности развития организма [10].

При проведении оценки качества окружающей среды применяются различные химические и физические методы, но особенно важной является биологическая оценка. Именно состояние живых организмов позволяет прогнозировать такие изменения в окружающей среде, которые могут привести к нарушению равновесия природных систем и к необратимым последствиям [5]. С точки зрения простоты и эффективности проведения морфологические методы наиболее приемлемы из всего разнообразия методов, применяемых для биологического контроля состояния окружающей среды. При определении состояния деревьев в нарушенных насаждениях рекомендуется использовать морфологический способ как наиболее простой и широкодоступный [6].

Метод оценки устойчивости развития, основанный на измерении флуктуирующей асимметрии у хвойных растений, был разработан и впервые применен М. В. Козловым [1] для сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели европейской (*Picea abies* L. Karst) [2].

Сосна обыкновенная является одной из основных лесобразующих пород в Сибири. В пригородной зоне Красноярска сосновые насаждения занимают 105020 га [13], и большая их часть попадает под влияние промышленного и автомобильного загрязнения.

В связи с этим, была сформулирована **цель работы**: оценить экологическое состояние и устойчивость развития сосны обыкновенной, произрастающей в городе Красноярске и его пригородах в разных экологических условиях, на основе измерения флуктуирующей асимметрии хвои. Оценить возможность использования показателя «длина хвои» для оценки экологической обстановки региона.

В связи с поставленной целью выполняли следующие **задачи**:

- измерить морфологические показатели хвои;
- рассчитать индекс флуктуирующей асимметрии (ИФА);
- оценить возможность использования показателя «длина хвои» для оценки загрязненности исследуемого региона.

Объект и методы исследования

Сосна обыкновенная – одна из основных лесобразующих пород в лесостепной зоне Сибири. В Красноярской лесостепи это в основном насаждения, произрастающие на песках речных террас [8]. Исследуемый материал собран в июне – октябре 2019 г. в г. Красноярске Урванцева 12 (точка отбора «Красноярск»); село Степной Баджей, около пещеры Белая (точка отбора «Пещера»); во время сплава по реке Кан материал отбирался около реки Порожная Большого Канского порога (точка отбора «Сплав»); Емельяновский район от «Емельяновского озера» в западном направлении (точка отбора «Емельяново»).

С каждого модельного дерева брались по 2-3 боковых побега с 2-3 годовыми приростами в средней части кроны с юго-западной стороны. С них отбирались по 100 пар хвоинок первого и второго года жизни, В работе было обработано 1200 пар иголок: Емельяново – 300 пар, Слав – 400 пар, Пещеры - 300 пар, Красноярск -200 пар.

Ветви срезались со взрослых деревьев *P. sylvestris*, из нижней части кроны на уровне поднятой руки, с помощью секатора. Анализировали по 100 пар разновозрастной хвои сосны с 3-4 деревьев каждой пробной площади. У хвои измеряли длину и различие между длиной двух игл в паре по методике М. В. Козлова [1]. На основе полученных измерений рассчитывали индекс флуктуирующей асимметрии.

Величина флуктуирующей асимметрии оценивалась по формуле:

$$\text{ИФА} = 2 * (\text{WL} - \text{WR}) / (\text{WL} + \text{WR}),$$

где: WL – длина одной иглы в паре, WR – длина другой иглы в паре [1,2].

Статистическая обработка данных проводилась с помощью программы Excel 2003 (описательная статистика). Рассчитывалась разность между хвоинками, среднее значение длины правых и левых хвоинок, ошибка средней арифметической, с помощью данного показателя можно определить неоднородность выборки.

Результаты исследований и их обсуждение

1. Расчет показателя флуктуирующей асимметрии

Таблица 2. Индекс ФА и среднее значение показателя «длина хвоинки»

Место сбора	Длина левой хвоинки (WL)	Длина правой хвоинки (WR)	ИФА
Емельяново 1	60,38	59,89	0,035
Емельяново 2	65,04	65,39	0,017
Емельяново 3	64,69	64,707	0,034
Среднее значение	63,37±1,498	63,32±1,73	0,028±0,005
Сплав 1	47,63	48,23	0,027
Сплав 2	57,89	58,12	0,015
Сплав 3	57,66	57,86	0,011
Сплав 4	56,62	57,26	0,024
Среднее значение	54,95±2,455	55,36±2,38	0,019±0,003
Пещеры 1	71,81	71,77	0,013
Пещеры 2	71,38	71,07	0,015
Пещеры 3	72,69	71,93	0,031
Среднее значение	71,96±0,385	71,59±0,26	0,019±0,005
Красноярск 1	56,82	57,13	0,025
Красноярск 2	56,8	57,1	0,024
Среднее значение	56,81±0,01	57,15±0,15	0,024±0,0005

Индекс ФА характеризует морфологические изменения в ответ на стрессирующие факторы [6]. В наших исследованиях наибольшие значения ИФА длины хвои выявлены на точке отбора «Емельяново» (0,028) и «Красноярск» (0,024), расположенных в зоне антропогенного загрязнения от таких предприятий, как Аэропорт Красноярск, КРАЗ, ТЭЦ-3 и большой автомобильной нагрузкой. Повышение ИФА длины хвои сосны по мере приближения к промышленным комбинатам показано в работах других авторов [3,5]. У сосен, взятых в точках «Сплав» и «Пещера» значения ИФА ниже (0,019). Однако, оно не соответствует показателям экологически чистого региона. Это может быть связано с тем, что река Кан протекает по

городу Зеленогорск. Согласно проведенным исследованиям, представленным в работе [7] из-за неправильного расположения АО «ПО ЭХЗ» ("Производственное объединение «Электрохимический завод») химические соединения выбросов распространяются на территорию города, а вода р. Кан содержит избыточное количество металлов. В работе [7] было выявлено, что: в атмосферу выбрасываются озоноразрушающие вещества и химические соединения повышенной степени опасности – углерод, фтористый водород и оксид железа; в поверхностных водах р. Кан города нормы ПДК_{рх} превышают в два раза и более такие вещества, как Cu, Al, Mn, Zn и Fe.

Данные выводы подтверждаются и в нашем исследовании.

2. Оценка возможности использования показателя «длина хвои» для оценки экологической обстановки региона

Хвоинки сосны обыкновенной в длину достигают в среднем 4-7 см. Установлено, что максимальные значения длины хвои характерны для сосны, произрастающей в точке сбора хвои – «Пещеры» (71,96 правая и 71,59 левая хвоинки) (Таблица 2). Однако минимальная величина отмечена в точке отбора «Сплав» \approx 55 см. В таких загрязненных точках отбора, как «Емельяново» и «Красноярск» длина хвои была 63 и 57 см соответственно (Таблица 2). Уменьшение длины хвои при техногенном воздействии отмечено многими исследователями [3, 8].

Однако, предполагаемая точка отбора «Сплав» как фоновая (т.е. не подверженная воздействию техногенных загрязнителей) оказалась не подходит по показателям ИФА и длина хвои. Тут мы можем делать пока только предположения и данная проблема требует дополнительного изучения в следующем году. Возможно, в точке «Сплав» существует недостаток в почве таких важных элементов как серы, азота или фосфора. Это могло привести к снижению длины хвоинок.

Другим предположением, поясняющим низкую длину хвоинок в точке отбора «Сплав» может быть низкая адаптивная перестройка к поллютантам,

попадающим в реку Кан или воздух, из близлежащих промышленных городов [7,8,11]. Это подтверждается выводами, сделанными авторами работы [7], о том, что в реку Кан попадает большое число поллютантов. В связи с тем, что невозможно учесть все загрязнители в регионах, которые мы считали чистыми, и низкую адаптивную перестройку к поллютантам некоторых особей, использование показателя «длина хвои» для оценки экологической обстановки региона не представляется возможным.

Выводы

- Проведен сбор исследуемого материала в 4 точках отбора в июне – октябре 2019 г. в г Красноярске Урванцева 12 (точка отбора «Красноярск»); село Степной Баджей, около пещеры Белая (точка отбора «Пещера»); во время сплава по реке Кан материал отбирался около реки Порожная Большого Канского порога (точка отбора «Сплав»); Емельяновский район от «Емельяновского озера» в западном направлении (точка отбора Емельяново).

- Измерена длина 1200 пар хвоинок.

- Рассчитан индекс флуктуирующей асимметрии. По результатам расчета оказалось, что наибольшие значения ИФА длины хвои выявлены на точке отбора «Емельяново» (0,028) и «Красноярск» (0,024), что объясняется высокой техногенной нагрузкой. Однако в точке отбора «Сплав», которая изначально планировалась как чистая зона, оказался высокий индекс ФА. Объяснением этого результата является г. Зеленогорск и его предприятия, которые оказывают техногенную нагрузку на исследуемый регион.

- По расчетным данным, использование показателя «длина хвои» для оценки экологической обстановки региона не представляется возможным. Экологическая изменчивость признаков древесных растений обусловлена неоднородностью факторов среды. В частности, она выражается в том, что абсолютные размеры большинства признаков древесных растений зависят от почвенно-гидрологических условий их произрастания.

Список литературы

1. Kozlov M.V., Niemela P. Difference in needle length – a new and objective indicator of pollution impact on Scots pine (*Pinus sylvestris*) // *Water, Air and Soil Pollution*. – 1999. – Vol. 116. – P. 365–370.
2. Kozlov M.V., Zvereva E.L., Niemela P. Shoot fluctuating asymmetry – a new and objective stress index in Norway spruce (*Picea abies*) // *Can. J. For. Res.* – 2001. – Vol. 31. – P. 1289–1291.
3. Василевская Н. В., Тумарова Ю. М. Оценка стабильности развития популяции *Pinus sylvestris* L. в условиях аэротехногенного загрязнения (Мурманская область) // *Тр. Карельск. науч. центра РАН. Вып. 7. Биogeография Карелии*. Петрозаводск, 2005. С. 19–23.;
4. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Красноярского края в 2010 году». – Красноярск, 2011. – 232 с.
5. Дружкина Т. А. Скрининговая оценка экологического состояния городской среды по древесным культурам: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Астрахань, 2007. 23 с.
6. Захаров В. М., Баранов А. С., Борисов В. И., Валецкий А. В., Кряжева Н. Г., Чистякова Е. К., Чубинишвили А. Т. Здоровье среды: методика оценки. М.: Центр экол. политики России, 2000. 66 с.
7. Заякина Е. А., Спицына Т. П., Тасейко О. В. Особенности природно-техногенного комплекса г. Зеленогорска Красноярского края // *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. – Красноярск, 2017. – Т.2, - №13. – С. 582 – 585.
8. Кизеев А. Н. Изменения морфологических и физиолого-биохимических показателей хвои сосны обыкновенной в условиях аэротехногенного загрязнения // *Молодой ученый*. 2011. № 3. Т. 1. С. 120–128.
9. Красноярский краевой статистический ежегодник, 2019: Стат.сб./Красноярскстат. – Красноярск, 2019. – 500 с.
10. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых

организмов по уровню асимметрии морфологических структур).

Утверждены Распоряжением МПР № 460-р от 16.10.2003. М., 2003.

11. Титов А. Ф., Казнина Н. М., Таланова В. В. Тяжелые металлы и растения. Петрозаводск: Карельск. науч. центр РАН, 2014. 194 с.
12. Чередникова Ю.С., Молокова Н.И., Перевозникова В.Д. Особенности типологической структуры лесов зеленой зоны г. Красноярск // Ботанические исследования в Сибири. – Красноярск, 1999. – С. 176–180.
13. Экологическое состояние пригородных лесов Красноярск. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2009. 179 с.