

УДК 630*181.28:581.132.1

БИОИНДИКАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СТАБИЛЬНОСТИ РАЗВИТИЯ НАСАЖДЕНИЙ В НАРУШЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ

© 2014 г. Л. Н. Скрипальщикова, В. В. Стасова

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН

660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

E-mail: lara@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 20.02.2014 г.

Проведена оценка изменений стабильности развития березы повислой, тополя бальзамического и сосны обыкновенной, произрастающих в антропогенно-нарушенных ландшафтах, по величине флуктуирующей асимметрии (ФА). Установлена четкая закономерность изменения асимметрии в листьях и хвое исследуемых пород в насаждениях естественного происхождения, а также в городских посадках в зависимости от величины техногенной нагрузки и удаления объектов от источников загрязнения. Впервые проведены измерения флуктуирующей асимметрии для хвои сосны обыкновенной по показателям морфолого-анатомической структуры в насаждениях в зоне интенсивных техногенных нагрузок. Предложена шкала оценки отклонений в состоянии развития сосны обыкновенной на нарушенных территориях.

Ключевые слова: *береза повислая, тополь бальзамический, сосна обыкновенная, индекс флуктуирующей асимметрии, стабильность развития, морфолого-анатомические показатели, техногенные нагрузки.*

ВВЕДЕНИЕ

При проведении оценки качества окружающей среды применяются различные химические и физические методы, используется высокоточная аппаратура, 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 (Дружкина, 2007). 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 (Захаров и др., 2000). Листовая пластинка – сложное структурное образование растительного организма, отражающее физиологическую пластичность растения в условиях

изменяющейся окружающей среды (Биоиндикация..., 1988). В России и за рубежом метод биоиндикации, основанный на определении флуктуирующей асимметрии листовой пластинки, широко применяется в популяционных исследованиях (Василевская, Тумарова, 2005).

Под флуктуирующей асимметрией (ФА) понимается случайное небольшое отклонение от симметрии по любому признаку двусторонне симметричного организма (органа) (Захаров, 1987). Явление флуктуирующей асимметрии связано с нарушением стабильности развития организма в результате воздействия внешних факторов, в первую очередь антропогенного. Степень выраженности ФА напрямую зависит от силы воздействия фактора: чем он сильнее, тем большие значения имеет показатель ФА. Это позволяет на макроскопическом уровне использовать ФА в качестве меры в оценке стабильности развития организма (Методические рекомендации..., 2003).

Отсутствие симметрии может быть результатом случайных событий в развитии организ-

ма. При нормальных условиях развитие защищено от таких случайностей и асимметрия минимальна. При стрессе эффективность защитных механизмов снижается, что приводит к повышению уровня асимметрии (Захаров и др., 2000).

Отклонения в билатеральной симметрии и наличие стресса определены для березы повислой (*Betula pendula* Roth) (Захаров, Крысанов, 1996), для березы плосколистной (*Betula platyphylla* Sukacz.) в условиях Якутии (Солдатова, 2006), березы Черепанова (*Betula czerepanovii* Orlova) в районе г. Мончегорска (Мурманская обл.) (Лукина, 2007; Лукина, Василевская, 2011), березы повислой в Шелеховском р-не Иркутской обл. (Гавриков, Баранов, 2006), в Брянской и Орловской областях (Иванов и др., 2009), в городских березовых насаждениях г. Кисловодска (Мандра, Еременко, 2010). Кроме того, ФА изучалась для других лиственных пород, растущих в условиях антропогенного стресса. Так, для липы мелколистной определена степень отклонения от нормы в условиях городов Саратова (Дружкина, 2007), Ижевска и Воткинска (Хузина, 2011). Вопрос стабильности развития хвойных пород изучался с помощью данной методики на техногенно-нарушенных территориях Кольского полуострова РФ (Василевская, Лукина, 2001, 2004; Соболева и др., 2009; Костюк, 2010; Кизеев, 2011). В Европе метод флуктуирующей асимметрии используется в промышленной экологии (Freedman, 1989; Freeman et al., 1994; Kozlov et al., 1996; Kozlov, Niemela, 1999; Kozlov et al., 2001, 2002; Zvereva et al., 1997a, b; Valkama, Kozlov, 2001). При идентификации билатеральных признаков и верификации их флуктуирующего характера особенно важен правильный подбор объектов исследования, тем более если они подвергаются анализу впервые (Гелашвили и др., 2007).

Особое место среди лесных территорий занимают зеленые зоны вокруг промышленных городов, выполняющие важнейшие средообразующие функции. Мощное антропогенное влияние и рост комплексных нагрузок на лесные ресурсы приводят к постепенной их деградации и появлению зон экологического риска.

В результате многолетней интенсивной хозяйственной деятельности человека лесистость на территории Красноярско-Ачинской лесостепи стала значительно ниже оптимальной (Протопопов и др., 1988). Важно не допустить гибели существующих лесных массивов. В связи с этим актуальна разработка методов ранней диагностики жизненного состояния насаждений. Получение биоиндикационных показателей нарушенности насаждений позволит определять предельно допустимые нагрузки на древесную растительность и разрабатывать сценарии прогнозов ее состояния с учетом длительности и интенсивности антропогенного воздействия.

Цель исследований – оценить стабильность развития березы повислой, тополя бальзамического и сосны обыкновенной, произрастающих в Красноярско-Ачинской лесостепи в естественных насаждениях и в городских посадках, на основании индекса флуктуирующей асимметрии (ФА).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Определение асимметрии листовой пластинки у березы и тополя и оценку стабильности развития проводили по методике В. М. Захарова с соавторами (2000). Интегральный показатель ФА рассчитывали по следующим пяти признакам для левой и правой сторон листа: 1 – ширина половинки листа; 2 – длина второй от основания жилки второго порядка; 3 – расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка; 4 – расстояние между концами этих жилок; 5 – угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка. В каждом местообитании промерили по 100 листьев.

Индекс флуктуирующей асимметрии (ИФА) длины хвои вычисляли по формуле (Palmer, Strobeck, 1986):

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

где: WL – длина одной иглы в паре, WR – длина другой иглы в паре.

В тканях хвои сосны обыкновенной измеряли следующие морфолого-анатомические показатели: ширину и толщину хвои (на поперечном срезе), ширину и толщину проводящего цилиндра.

дра, число смоляных ходов, размеры проводящих пучков. Индекс ФА по тканевым показателям рассчитывали по приведенной формуле. Повторность измерений 100-кратная. Измерения проводили окуляр-микрометром на поперечных срезах средней части хвоинки с использованием светового микроскопа МБИ-15.

Отклонение от нормы развития для листовых определяли по пятибалльной шкале (Захаров, Крысанов, 1996), для хвои сосны обыкновенной нами предложена оценочная шкала.

В процессе исследований определяли уровни техногенных нагрузок по аккумуляции пыли в березовых насаждениях (Детри, 1973) и содержанию тяжелых металлов в листьях и хвое. Анализ образцов на содержание тяжелых металлов проводили на спектрометре «СПЕКТРОСКАН – МАКС G», утвержденном в качестве средства измерений Госстандартом РФ, в лаборатории физико-химической биологии древесных растений ИЛ СО РАН. Исследования проводили на мониторинговых пробных площадях (ПП), заложенных по стандартным лесотаксационным методикам (Анучин, 1982) в естественных насаждениях и в искусственных городских посадках, в которых обследовали только определенные породы на временных площадках.

В Красноярской лесостепи основное внимание в исследованиях уделяли лесным массивам в пределах зеленой зоны г. Красноярска в современных ее границах, в зоне многолетнего влияния выбросов теплоэнергетических, металлургических, цементных предприятий и разрабатываемых известняковых карьеров. Березняки здесь встречаются в виде небольших разрозненных массивов на склонах северной экспозиции, в логах и долинах рек. Преобладает разнотравная серия типов леса на серых лесных почвах с ярусом подлеска из желтой акации, спиреи, кизильника черноплодного, шиповника. Травяной покров образован видами лесостепного, лугово-лесного и степного разнотравья, имеет черты ксерофитизации. В городских лесах обследовали разнотравные березняки, продуцирующие в зоне влияния известняковых карьеров, цементного завода и тепловых станций. Березовые насаждения послевого происхождения, V–VI классов возраста с различной долей участия в составе

древостоя сосны и осины. Они окружают карьеры с западной и южной сторон, а с восточной и северной сторон расположены дачи горожан и заводские территории (Скрипальщикова и др., 2012). В настоящее время березняки испытывают высокие техногенные нагрузки. На поверхности и внутри листьев аккумулируется 3–11 г/кг сух. массы техногенной пыли (Скрипальщикова и др., 2012). Концентрации тяжелых металлов варьируют в широких пределах. Содержание никеля на поверхности и внутри листьев достигает критических концентраций, в почвах под березняками содержание некоторых канцерогенных элементов превышает их ОДК. Фоном для техногенно-нарушенных березняков в Красноярской лесостепи служили близкие по лесоводственно-таксационным показателям березняки Юкеевского, Емельяновского и Маганского лесничеств, произрастающие вне зоны основного переноса загрязняющих веществ от промышленных объектов Красноярска.

Ненаправленные различия билатеральной симметрии хвои сосны обыкновенной изучали в Березовском и Есаульском нарушенных сосновых борах, расположенных по основному переносу промышленных выбросов Красноярска на расстоянии 10 и 30 км от городской черты соответственно. Березовский бор подвергается в основном действию выбросов промышленных предприятий правобережья города: трех тепловых станций, целлюлозно-бумажного комбината и других предприятий. Есаульский бор, несмотря на большую удаленность от границ города, находится под прямым действием выбросов алюминиевого завода и из-за орографических особенностей местности является основным стоком фтористых соединений (Скрипальщикова и др., 2013). Насаждения чистые по составу, разнотравные, III класса бонитета, средняя высота 23–26 м, диаметр 38–43 см. По санитарному состоянию характеризуются как ослабленные и сильно ослабленные (Экологическое состояние..., 2009). В условиях фона изучали насаждения Юкеевского бора в 100 км от города вне основного переноса и сосняки естественного происхождения Академгородка.

Обследованные сосняки в Юкеевском лесничестве разнотравного типа леса, V класса

возраста, I–Ia классов бонитета, средняя высота 26–30 м, диаметр 26–43 см, здоровые. Сосновые насаждения Академгородка зеленомошно-осочкового типа леса, высокополнотные, с высокими эстетическими и санитарно-гигиеническими качествами. Пылевые нагрузки на эти объекты минимальные. На пробных площадях Юкеевского бора отмечено незначительное рекреационное воздействие (Экологическое состояние..., 2009). В Академгородке лесные участки, примыкающие к жилым районам, характеризуются второй и третьей стадией рекреационной дигрессии.

В условиях Красноярска отклонения от симметрии изучали в искусственных придорожных и парковых насаждениях тополя и березы в Октябрьском (Ветлужанка, Академгородок), Свердловском (Пашенный), Железнодорожном и Советском (парк «Гвардейский») районах города, характеризующихся разной степенью загрязнения.

Парк «Гвардейский» расположен в 5 км от КраЗа в зоне сильного загрязнения, на местности с равнинным и слабоволнистым рельефом, с неглубокими и замкнутыми понижениями. Возраст насаждений составляет в ос-

Таблица 1. Значение интегрального показателя стабильности развития березы и сосны в насаждениях Красноярска-Ачинской лесостепи

| Объект исследований | Источник антропогенного воздействия | Интегральный показатель стабильности развития (ФА) | Отклонение организма от условий нормы, балл |
|--|---|--|---|
| Красноярская лесостепь | | | |
| Березовые насаждения | | | |
| <i>Городские леса (район р. Базаиха)</i> | | | |
| Березняк осочково-разнотравный, ПП 1 | Известняковые карьеры, ТЭЦ-2, цементный завод | 0.068 | 5 |
| Березняк разнотравный, ПП 2 | | 0.068 | 5 |
| Березняк осочково-разнотравный, ПП 3 | Известняковые карьеры, ТЭЦ-2 | 0.045 | 3 |
| <i>Емельяновское лесничество</i> | | | |
| Березняк разнотравный, ПП 1 | – | 0.016 | 1 |
| <i>Маганское лесничество</i> | | | |
| Березняк разнотравно-орляковый, ПП 1 | Автотранспорт, рекреация | 0.040 | 1 |
| Березняк осочково-разнотравный, ПП 2 | – | 0.042 | 2 |
| Березняк орляково-разнотравный, ПП 3 | – | 0.041 | 2 |
| <i>Юкеевское лесничество</i> | | | |
| Березняк разнотравный, ПП 1 | – | 0.023 | 1 |
| Сосновые насаждения | | | |
| Березовский бор | Промышленные выбросы правобережья Красноярска | 0.007 | 5* |
| Есаульский бор | КраЗ, ТЭЦ-3, автотранспорт | 0.005 | 4* |
| Академгородок | Автотранспорт | 0.003 | 1* |
| Юкеевский бор | – | 0.002 | 1* |
| Ачинская лесостепь | | | |
| Березовые насаждения | | | |
| Березовская ГРЭС-1, березовые полосы пос. Дубинино, березняк разнотравный, ПП 1 г. Шарыпово, березняк орляково-коротконожковый, ПП 2 д. Озеро Большое, березняк орляково-осочковый, ПП 3 | Березовская ГРЭС-1, автотранспорт, угольный транспортер | 0.057 | 5 |
| | | 0.045 | 3 |
| | Березовская ГРЭС-1, автотранспорт | 0.054 | 4 |
| | Автотранспорт, рекреация | 0.037 | 1 |

* – оценка по шкале (см. табл. 4).

новном 25–35 лет. Парк относится к наиболее крупным массивам насаждений, которые выполняют важные средообразующие и оздоровительные функции.

В условно чистой зоне в Октябрьском районе города в микрорайонах Академгородок и Ветлужанка оценку стабильности развития проводили в березовых рощах естественного происхождения на 60-летних модельных деревьях. В зоне среднего загрязнения в микрорайоне Пашенный Свердловского района образцы листьев брали с берез по ул. Судостроителей.

В Ачинской лесостепи изучали березняки осочково-злаковые, произрастающие в Шарыповском р-не на разном удалении от Березовской ГРЭС–1. Березняки V–VI классов возраста, III класса бонитета, средняя высота 17 м, средний диаметр 26–43 см. В зависимости от расстояния до источника загрязнения березняки способны аккумулировать поверхностью фитоценоза до 60 % техногенной пыли, поступающей в атмосферу с выбросами тепловых станций, с угольных разрезов и транспортеров (Скрипальщикова, 1997; Скрипальщикова и др., 2009).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследований выявлены значительные различия в интегральных индексах флук-

туирующей асимметрии березы повислой, тополя бальзамического и сосны обыкновенной в фоновых и нарушенных насаждениях Красноярско-Ачинской лесостепи (табл. 1). Расчеты ФА березы повислой, произрастающей в различных местообитаниях, и сравнительный анализ результатов показали, что отклонение в асимметрии наиболее характерно проявляется у берез, произрастающих в городских лесах, под воздействием пылевых выбросов известняковых карьеров, ТЭЦ-2 и цементного завода (рис. 1).

В Ачинской лесостепи в Шарыповском районе на различном удалении от Березовской ГРЭС-1 при детальном исследовании по выявлению флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой также выявлена тенденция изменения ФА в зависимости от условий произрастания. Так, в чистом районе – дер. Озеро Большое – показатель варьирует от 0.016 до 0.039 и указывает на норму в развитии. В загрязненных районах ФА листьев березы – 0.075, характеризующая состояние как критическое (см. табл. 1).

В зоне пылевых нагрузок и повышенного содержания тяжелых металлов в листьях березы повислой флуктуирующая асимметрия листовой пластинки варьирует от 0.045 до 0.068 и характеризует нестабильность развития березы в условиях слабого и критического воздействия антропогенного фактора. В чис-

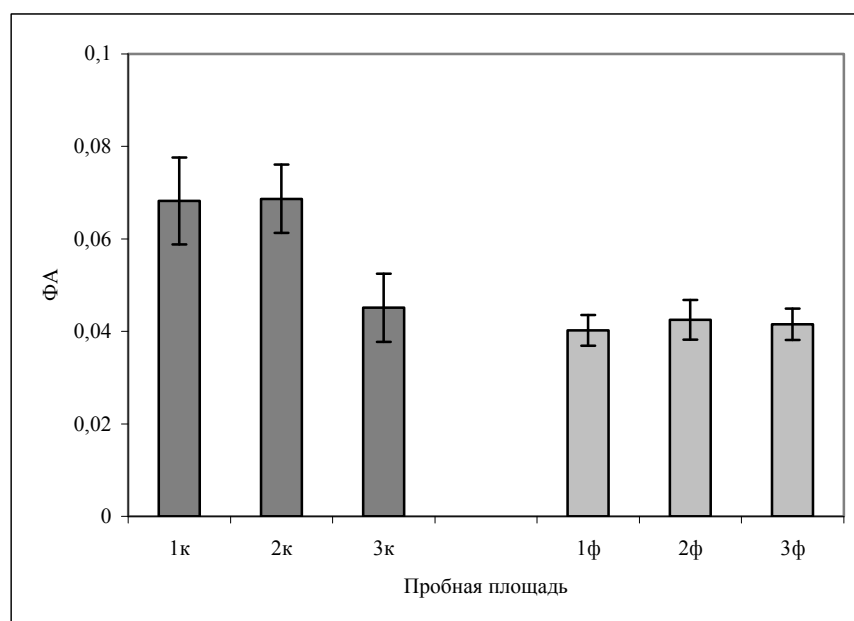


Рис. 1. Интегральный показатель флуктуирующей асимметрии березы повислой в зоне воздействия карьеров (1к–3к) и в условиях фона в Маганском лесничестве (1ф–3ф).

Таблица 2. Значение интегрального показателя стабильности развития листьев березы, тополя и хвой сосны обыкновенной в зеленых насаждениях г. Красноярск

| Район города | Местоположение | Источник антропогенного воздействия | Интегральный показатель стабильности развития (ФА) | Отклонение организма от условий нормы, балл |
|---------------|-------------------------|---|--|---|
| Береза | | | | |
| Октябрьский | Академгородок | Автотранспорт, рекреация | 0.027 | 1 |
| | Ветлужанка | Автотранспорт | 0.017 | 1 |
| Свердловский | Пашенный | Завод медпрепаратов, лесопереработка, железнодорожный и автомобильный транспорт | 0.050 | 4 |
| Советский | парк «Гвардейский» | КрАЗ, автотранспорт | 0.065 | 5 |
| Тополь | | | | |
| Советский | СЗЗ КрАЗа | КрАЗ, автотранспорт | 0.073 | 5 |
| | парк «Гвардейский» | | 0.060 | 5 |
| | ул. Партизана Железняка | | 0.069 | 5 |
| Октябрьский | Ветлужанка | Автотранспорт | 0.044 | 2 |
| Сосна | | | | |
| Советский | Зеленая Роща | КрАЗ, автотранспорт | 0.008 | 5 |

тых местообитаниях в Маганском лесничестве ФА в среднем составляет 0.041 – условная норма. Развитие березы в Емельяновском и Юксеевском лесничествах характеризуется как нормальное (ФА составляет 0.016 и 0.023 соответственно).

Проникновение, седиментация и аккумуляция как техногенной пыли, так и разного рода токсичных аэрозолей в нарушенных насаждениях, произрастающих под влиянием крупных промышленных городов, зависят от особенностей ветрового режима региона, климатических инверсий, количества фитомассы в самих насаждениях и расположения их относительно источников загрязнения (Скрипальщикова,

1997; Экологическое состояние..., 2009; Скрипальщикова и др., 2013).

В условиях Красноярска в результате различий природно-климатических условий произрастания и уровней антропогенных нагрузок проявляются отклонения от нормы в стабильности развития листовой пластинки у березы и тополя бальзамического. Индекс нарушения развития листовой пластинки березы повислой изменяется по годам. Критическое состояние по показателю билатерального отклонения для березы установлено в парке «Гвардейский» – 0.065, для тополя – в насаждениях санитарно-защитной зоны Красноярского алюминиевого завода – 0.073 (табл. 2).

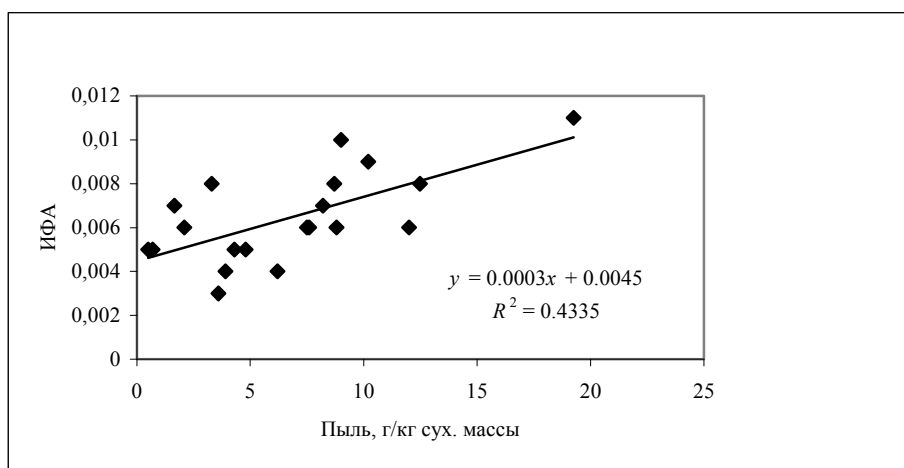

Рис. 2. Интегральный показатель стабильности развития хвой сосны обыкновенной в зависимости от количества седиментации техногенной пыли в градиенте загрязнения выбросами КрАЗа и ТЭЦ-3 г. Красноярск.

Таблица 3. Флуктуирующая асимметрия анатомо-морфологических показателей хвои сосны обыкновенной

| Показатель | Объект исследования | |
|------------------------------|---------------------|----------------|
| | Академгородок | Есаульский бор |
| Длина хвои | 0.0028±0.0006 | 0.0051±0.0027 |
| Ширина хвои | 0.0277±0.0044 | 0.0301±0.0040 |
| Толщина хвои | 0.0462±0.0063 | 0.0557±0.0103 |
| Ширина проводящих пучков | 0.1235±0.0067 | 0.1385±0.0066 |
| Толщина проводящих пучков | 0.1120±0.0065 | 0.1519±0.0136 |
| Ширина проводящего цилиндра | 0.0621±0.0126 | 0.0725±0.0038 |
| Толщина проводящего цилиндра | 0.0522±0.0038 | 0.0561±0.0010 |
| Число смоляных ходов | 0.1119±0.0136 | 0.1093±0.0106 |

В районах города, где отмечено влияние только автотранспорта, развитие березы нормальное, ФА изменяется от 0.017 (Ветлужанка) до 0.027 (Академгородок).

В условиях высокого уровня загрязнения для хвои сосны обыкновенной установлена четкая закономерность увеличения асимметрии хвои в насаждениях естественного происхождения (Есаульский и Березовский боры) в зависимости от величины техногенной пылевой нагрузки. Повышение уровня асимметрии свидетельствует об ухудшении качества среды (см. табл. 1, рис. 2).

В обследованных городских посадках (микрорайон Зеленая Роща) по показателю ФА про-

является высокое и очень высокое влияние антропогенного фактора на стабильность развития сосны (см. табл. 2). Слабое влияние антропогенного фактора (рекреация и выбросы автотранспорта) установлено в сосновых насаждениях естественного происхождения Академгородка. В анализе различий мест произрастания нормальное развитие хвои второго года отмечено в Юксеевском бору на расстоянии 100 км от города, вне основного переноса токсичных ингредиентов.

При изучении тканей хвои практически для всех измеренных морфолого-анатомических показателей отмечены отклонения от билатеральной симметрии. Достоверных различий

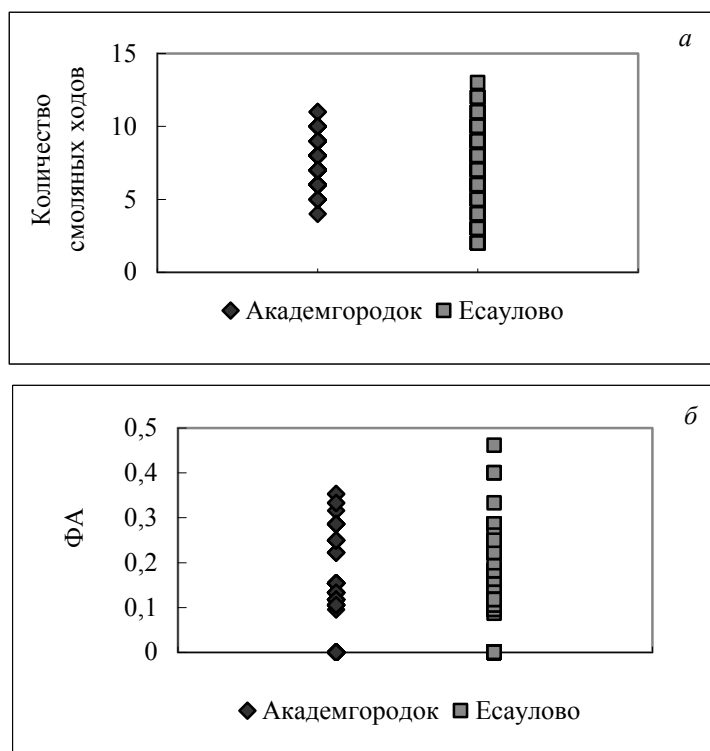


Рис. 3. Количество смоляных ходов (а) и индекс ФА этого показателя (б) в чистом местообитании (Академгородок) и в зоне прямого воздействия КрАЗа (Есаульский бор).

между показателями анатомической структуры хвои фонового и нарушенного местообитаний не обнаружено, в то же время изменчивость всех признаков в условиях загрязнения резко (почти в 2 раза) возрастает (табл. 3).

Следует отметить такой показатель, как количество смоляных ходов. Так, число смоляных ходов в хвое сосен в Есаульском бору варьирует намного сильнее, чем в хвое сосен Академгородка (рис. 3, а). Средние показатели ФА практически не различаются, но вариативность их в Есаульском бору заметно сильнее (рис. 3, б).

Основная функция смолывыводящей системы – защита от вредителей и болезней. Можно предположить, что защитная система хвои в загрязненном местообитании нарушена и проявляются признаки адаптации на тканевом уровне к условиям загрязненности широким спектром поллютантов от нескольких промышленных источников.

Анатомические признаки адаптивного характера у хвои сосны обыкновенной выявлены А. А. Онучиным и Л. Н. Козловой (1993) в зоне выбросов точечного источника – Назаровской ГРЭС. Установлено, что в тканях хвои происходит увеличение количества устьиц, числа смоляных каналов, а также средней и суммарной площади их поперечных сечений.

В основном исследователи применяют шкалу для листовых (Захаров и др., 2000, 2011), для хвойных пород такой информации нет. По результатам наших измерений асимметрии хвои сосны обыкновенной Красноярской лесостепи предложены критерии оценки в баллах стабильности ее развития (табл. 4).

Результаты наших исследований подтверждают возможность использования в целях био-

индикации для раннего обнаружения стресса индекса флуктуирующей асимметрии листьев березы и хвои сосны, а также анатомо-морфологических характеристик.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях длительных техногенных нагрузок в Красноярско-Ачинской лесостепи выявлена низкая стабильность развития в насаждениях березы повислой – древесной породы, толерантной к техногенным выбросам. Значительное проявление билатеральных отклонений в развитии листьев березы повислой и тополя бальзамического отмечено в городских условиях.

Для сосны обыкновенной в техногенно-нарушенных местообитаниях выявлено увеличение изменчивости билатеральных морфологических и анатомических признаков хвои. Полученные данные указывают на нестабильность развития сосны обыкновенной под действием антропогенного стресса и подтверждают ранее отмеченные нарушения гомеостаза в этих сосновых насаждениях (Стасова и др., 2009; Экологическое состояние..., 2009). Значительное снижение стабильности развития сосен проявляется в Березовском и Есаульском борах в зоне прямого влияния Красноярского алюминиевого завода и теплоэлектростанций.

Таким образом, индексы флуктуирующей асимметрии листьев березы и хвои сосны могут быть использованы в целях биоиндикации для раннего обнаружения стресса. Предложена шкала оценки отклонений в состоянии развития сосны обыкновенной на нарушенных территориях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Анучин Н. П. Лесная таксация. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 552 с.
 Биоиндикация загрязнения наземных экосистем. М.: Мир, 1988. 350 с.
 Василевская Н. В., Лукина Ю. М. Флуктуирующая асимметрия листьев *Betula pubescens* ssp. *subarctica* Orlova как интегральный показатель качества среды г. Мурманска // Бо-

Таблица 4. Шкала оценки влияния антропогенного фактора на стабильность развития сосны обыкновенной по ФА

| Величина показателя стабильности развития | Оценка влияния антропогенного фактора | Балл |
|---|---------------------------------------|------|
| 0.00–0.003 | Норма | 1 |
| 0.0031–0.004 | Слабое | 2 |
| 0.0041–0.005 | Умеренное | 3 |
| 0.0051–0.006 | Высокое | 4 |
| 0.0061–0.009 | Очень высокое | 5 |
| > 0.0091 | Критическое | 6 |

- танические проблемы регионального природопользования: мат-лы чтений, посв. памяти проф. Н. И. Антипова. Рязань, 2001. С. 15–17.
- Василевская Н. В., Лукина Ю. М. Флуктуирующая асимметрия *Pinus sylvestris* L. как показатель стресса в условиях промышленного загрязнения Мурманской области // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: мат-лы Междунар. конф. 31 августа – 3 сентября 2004 г. Ч. 1. Апатиты, 2004. С. 95–97.
- Василевская Н. В., Тумарова Ю. М. Оценка стабильности развития популяции *Pinus sylvestris* L. в условиях аэротехногенного загрязнения (Мурманская область) // Тр. Карельского науч. центра РАН. Вып. 7. Биогеография Карелии. Петрозаводск, 2005. С. 19–23.
- Гавриков Д. Е., Баранов С. Г. Методика оценки стабильности развития на примере березы (*Betula pendula* Roth) // Бюл. ВСНЦ СО РАН. 2006. № 2(48).
- Гелаишвили Д. Б., Лобанова И. В., Ерофеева Е. Я., Наумова М. М. Влияние лесопатологического состояния березы повислой на величину флуктуирующей асимметрии листовой пластинки // Поволжский экол. журн. 2007. № 6. С. 106–115.
- Детри Ж. Атмосфера должна быть чистой. М.: Прогресс, 1973. 380 с.
- Дружкина Т. А. Скрининговая оценка экологического состояния городской среды по древесным культурам: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Астрахань, 2007. 23 с.
- Захаров В. М. Асимметрия животных (популяционно-феногенетический подход). М.: Наука, 1987. 216 с.
- Захаров В. М., Крысанов Е. Ю. Последствия Чернобыльской катастрофы: здоровье среды. М.: Центр экологической политики России, 1996. 170 с.
- Захаров В. М., Баранов А. С., Борисов В. И. и др. Здоровье среды: методика оценки. М.: Центр экологической политики России, 2000. 66 с.
- Захаров В. М., Кряжева Н. Г., Дмитриев С. Г., Трофимов И. Е. Оценка возможных изменений состояния популяций вследствие климатических изменений (на примере исследования стабильности развития березы повислой) // Успехи совр. биологии. 2011. Т. 131, № 4. С. 425–430.
- Иванов В. П., Марченко С. И., Акименков Н. В. Использование асимметрии площадей листовых пластинок *Betula pendula* в качестве индикатора экологического состояния природной среды // Вестн. МарГТУ. 2009. № 3. С. 68–74.
- Кизеев А. Н. Изменения морфологических и физиолого-биохимических показателей хвои сосны обыкновенной в условиях аэротехногенного загрязнения // Молодой ученый. 2011. Т. 1, № 3. С. 120–128.
- Костюк В. И. Влияние выбросов комбината «Североникель» на флуктуирующую асимметрию хвои сосны // Научное обозрение. 2010. № 2. С. 16–19.
- Лукина Ю. М. Флуктуирующая асимметрия листьев *Betula czerepanovii* Orlova как показатель качества среды в районе г. Мончегорска (Мурманская область) // Проблемы региональной экологии в условиях устойчивого развития: мат. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Вып. 5, ч. 1. Киров, 2007. С. 99–102.
- Лукина Ю. М., Василевская Н. В. Влияние промышленных выбросов комбината «Североникель» на стабильность развития *Betula czerepanovii* Orlova // Экологические проблемы промышленных городов. Саратов, 2011. С. 244–246.
- Мандра Ю. А., Еременко Р. С. Биоиндикационная оценка состояния окружающей среды города Кисловодска на основе анализа флуктуирующей асимметрии // Изв. Самарского науч. центра РАН. 2010. Т. 12, № 1(8). С. 1990–1994.
- 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.
- Онучин А. А., Козлова Л. Н. Структурно-функциональные изменения хвои сосны под влиянием поллютантов в лесостепной зоне

- Средней Сибири // Лесоведение. 1993. № 2. С. 39–45.
- Протопопов В. В., Лебедев А. В., Зюбина В. И. Использование лесов для экологической оптимизации // Человек и окружающая среда на этапе первоочередного развития КАТЭКа. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1988. С. 193–198.
- Скрипальщикова Л. Н. Пылеулавливающие свойства лесных экосистем в лесостепных районах Средней Сибири: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 1997. 19 с.
- Скрипальщикова Л. Н., Стасова В. В., Перевозникова В. Д. и др. Влияние комплекса техногенных и рекреационных нагрузок на развитие тканей ствола сосны обыкновенной в Красноярской лесостепи // Изв. РАН. Сер. биол. 2009. № 5. С. 1–8.
- Скрипальщикова Л. Н., Стасова В. В., Тамиринцев А. И., Пляшечник М. А. Аккумуляция техногенной пыли березняками разнотравными в зоне воздействия известняковых карьеров г. Красноярск // Вестн. КрасГАУ. 2012. № 10. С. 96–100.
- Скрипальщикова Л. Н., Стасова В. В., Тамиринцев А. И., Пляшечник М. А. Оценка экологического состояния сосны обыкновенной на урбанизированных территориях Красноярской лесостепи // Вестн. КрасГАУ. 2013. № 11. С. 177–182.
- Соболева О. М., Кондратенко Е. П., Пинчук Л. Г. Комплексная оценка состояния ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной в г. Новокузнецк // Вестн. АГАУ. 2009. № 7. С. 33–36.
- Солдатова В. Ю. Биоиндикационная оценка состояния городской среды по величине флуктуирующей асимметрии березы плосколистной (*Betula platyphylla* Sukacz) на примере Якутии: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Якутск, 2006. 19 с.
- Стасова В. В., Скрипальщикова Л. Н., Тамиринцев А. И. и др. Строение и развитие проводящих и запасяющих тканей в стволах сосны обыкновенной в антропогенно-нарушенных экосистемах // Лесн. вестн. Вестн. МГУЛ. 2009. № 1. С. 39–44.
- Хузина Г. Р. Характеристика флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков листа липы мелколистной (*Tilia cordata* L.) // Вестн. Удм. ун-та. 2011. Вып. 3. С. 47–52.
- Экологическое состояние пригородных лесов Красноярска. Новосибирск: Академ. изд-во «Гео», 2009. 179 с.
- Freedman B. Environmental ecology. The impact of pollution and other stresses on ecosystem structure and function. NY: Acad. Press, 1989. 310 p.
- Freeman D. C., Graham J. H., Emlen J. M. Developmental stability in plants: symmetries, stress and epigenesis // Developmental instability: its origin and evolutionary implications. 1994. P. 99–122.
- Kozlov M. V., Niemela P. Difference in needle length – a new and objective indicator of pollution impact on Scotch pine (*Pinus sylvestris*) // Water, Air and Soil pollut. 1999. V. 116. P. 365–370.
- Kozlov M. V., Niemela P., Junttila J. Needle fluctuating asymmetry as a sensitive indicator of pollution impact on Scots pine (*Pinus sylvestris*) // Ecol. Indicators. 2002. V. 1. P. 271–277.
- Kozlov M. V., Wilsey B. J., Koricheva J., Haukioja E. Fluctuating asymmetry of birch leaves increases under pollution impact // J. Appl. Ecol. 1996. V. 33. P. 1489–1495.
- 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. V. 31. P. 1289–1291.
- Palmer A. R., Strobeck C. Fluctuating asymmetry: measurement, analysis, patterns // Ann. Rev. Ecol. Syst. 1986. V. 17. P. 391–421.
- Valkama J., Kozlov M. V. Variation in fluctuating asymmetry of mountain birch: is cold spring more stressful than pollution? // J. Appl. Ecol. 2001. V. 38. P. 665–667.
- Zvereva E. L., Kozlov M. V., Haukioja E. Stress responses of *Salix borealis* to pollution and defoliation // Ibid. 1997a. V. 34. P. 1387–1396.
- Zvereva E., Kozlov M., Niemela P., Haukioja E. Delayed induced resistance and increase in leaf fluctuating asymmetry as responses of *Salix borealis* to insect herbivory // Oecologia. 1997b. V. 102. P. 368–373.

Bioindicative Parameters of Stand Growth Stability in the Disturbed Landscapes of Krasnoyarsk and Achinsk Forest-Steppe Regions

L. N. Skripalshikova, V. V. Stasova

*V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
Academgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation*

E-mail: lara@ksc.krasn.ru

Estimation of growth stability of *Betula pendula* and *Populus balsamifera* stands in anthropogenic landscapes in Krasnoyarsk and Achinsk forest-steppe regions was carried out by the values of fluctuating asymmetry (FA). Well-formed dependence of asymmetry increasing in leaves and needles of studied species in natural stands based on the value of technogenic loads and the distance from pollution sources was established. Indices of needle asymmetry at organismic and tissue levels were obtained for *Pinus sylvestris* from the zone of intensive technogenic loadings in Krasnoyarsk forest-steppe region for the first time. Rating scale of growth stability deviations was designed for pine stands in disturbed regions of Krasnoyarsk forest-steppe.

Keywords: *Betula pendula, Populus balsamifera, Pinus sylvestris, fluctuating asymmetry index, stand growth stability, morphological and anatomical characteristics, technogenic loadings.*