Таблица 3.

**Морфологическая характеристика яиц полициклических кладок, разделенных
увеличенным интервалом в откладке очередных яиц**

Время снесения яиц	Масса			Объем			Удельный вес		
	n	$\bar{X} \pm x$	C%	n	$\bar{X} \pm x$	C%	n	$\bar{X} \pm x$	C%
До перерыва	21	15,91±0,40	11,38	19	14,84±0,44	13,0	17	1,050±0,001	0,5
После перерыва	21	25,11±0,48	14,55	17	14,78±0,48	13,46	17	1,051±0,002	0,8
t_{st}		1,3			3,1			0,4	

Сравнение масс составных частей яиц также не выявило существенных различий. По массе белка и желтка яйца оказались идентичными с более высокой вариабельностью показателей во второй группе. Большее значение коэффициента вариации выявлено для каратиноидов – 78,6%. Масса скорлупы претерпевает изменения в статистически не значимых величинах и уменьшается у яиц второй группы ($t > 1$).

Полученные материалы свидетельствуют, что процентное соотношение полициклических и моноциклических кладок в поселениях грачей меняется в разные годы и различно для отдельных колоний в один сезон размножения. Неблагоприятные условия увеличивают количество полициклических кладок в колониях. Объем полициклических кладок значительно превышает объем моноциклических кладок, при этом желтка и содержание каратиноидов остаются разными для первых и последний яиц в кладке. В моноциклических кладках содержание каратиноидов значительно снижается в последних яйцах по сравнению с первыми.

Увеличение интервала в откладке очередных полициклических кладок способствует снижению гетерогенности яиц в кладке.

1. Родимцев А.С., Константинов В.М. Экология раннего онтогенеза врановых птиц. Монография. – М.: Прометей, 2006. – 312 с.
2. Шураков А.И. Особенности раннего онтогенеза и успешность размножения грача в Прикамье // Материалы X Всесоюз. орнитол. конф. – Минск, 1991. – Ч. 2. – Кн. 2. – С. 302 – 303.
3. Дьяконова И.В. Фенология размножения и морфологические качества яиц грача (*Corvus frugilegus* L.) // Рецензируемый научный журнал «Тенденции развития науки и образования». Май 2020 г. №61, Часть 1 Изд. НИЦ «Л-Журнал», 2020. С. 12 – 15.
4. Дьяконова И.В., Дьяконов Ю.В. Состояние репродуктивной системы грача в период размножения // Научный альманах 2016. № 2 – 3 (16). С. 204 – 208.

Елькина Н.А., Серкова А.А.

**Использование показателей флуктуирующей асимметрии листьев липы
мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) для оценки экологического состояния городских
территорий (на примере г. Петрозаводска)**

*Петрозаводский государственный университет
(Россия, Петрозаводск)*

doi: 10.18411/lj-11-2020-16

idsp: ljjournal-11-2020-16

Аннотация

Получены результаты исследования флуктуирующей асимметрии листьев липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) 16 пробных площадок в г. Петрозаводска и контрольной зоне (Ботанический сад ПетрГУ). В соответствии со шкалой стабильности развития большинство районов города (10 из 15) характеризуются наличием критического уровня загрязнения.

Ключевые слова: биоиндикация, загрязнение, шкала стабильности развития, урбанизированные территории.

Abstract

The obtained results of a study of leaf fluctuating asymmetry of *Tilia cordata* Mill. within 16 sample plots in the territory of Petrozavodsk city and the control zone (Botanical Garden of PetrSU) are presented. According to the development stability scale, most of the city's districts (10 from 15) are characterized by critical level of pollution.

Keywords: bioindication, pollution, development stability scale, rural territories.

В следствие научно-технического прогресса и увеличения численности населения неизбежен и рост поступления в окружающую природную среду соединений антропогенного происхождения. Разнообразие и количество токсикантов и загрязнителей постоянно увеличивается, что ведет к нарушению сложившихся в биосфере круговоротов вещества, энергии и информации и, как следствие, к потере равновесия и устойчивости [1].

Перспективным подходом для объективной характеристики качества природной среды считается оценка стабильности развития живых организмов. Некоторые виды животных и растительных организмов могут быть использованы как индикаторы степени загрязненности среды [3]. Именно реакция живого организма, а не только результаты инструментального измерения изменений характеристик окружающей среды, позволяет оценить силу антропогенного влияния на среду обитания в показателях, имеющих биологический смысл [5].

Достаточно часто в исследованиях стабильность развития растительных организмов оценивается по уровню асимметрии их морфологических структур. Например, флуктуирующая асимметрия (ФА) листовой пластинки – показатель, характеризующий ненаправленные отклонения от билатеральной симметрии между правой и левой сторонами листа. Известно, что у растений, обитающих в нормальных условиях уровень асимметрии незначителен, но возрастает при стрессирующих воздействиях [2].

В условиях постоянного роста техногенных нагрузок в г. Петрозаводске, что характерно и для большинства других крупных городов России, состояние растительности служит достоверным индикатором экологического благополучия урбанизированной среды, а так же инструментом её оптимизации и регулирования.

Цель настоящего исследования – оценка уровня загрязнённости разных районов г. Петрозаводска по результатам анализа показателей ФА листовых пластинок липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.). Липа мелколистная широко представлена на территории Петрозаводска, так как активно используется для озеленения городских территорий.

Исследование проводилось на 15 пробных площадках в разных районах города (рекреационные зоны города: Санкт-Петербургская и Пионерская аллеи; Сортавальский, Левашовский бульвары; парки: «Ямка», Победы, Липовый, Лососинский; сквер им. Молчанова; аллея у Лицея №1; озеленение на площади Жукова, а так же территория бывшего Онежского тракторного завода) и в зоне условного контроля (Ботанический сад ПетрГУ – заповедная зона, расположенная на берегу Онежского озера). Все они характеризуются разным уровнем антропогенной нагрузки: интенсивностью транспортного потока и наличием или отсутствием производств и рекреационных зон.

Листья липы были собраны в июле 2019 года после достижения полного развития листовой пластинки. Для сбора образцов выбирались деревья генеративного возраста. На одной пробной площадке с нижней части крон нескольких деревьев собирали листья (100 штук) примерно одинакового размера. Листья отделяли от ветвей, гербаризировали, а затем сканировали на миллиметровой бумаге. Измерения проводились в электронной среде QGIS по пяти параметрам:

- ширина левой и правой половинок листа;

- длина жилки первого порядка, первой от основания листа
- расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка;
- расстояние между концами этих же жилок;
- синус угла между главной жилкой и первой первого порядка.

Величина асимметрии у растений рассчитывается как отношение разницы в оценках слева и справа к сумме этих оценок. Для получения интегрального показателя стабильности развития рассчитывали среднюю относительную величину асимметрии по исследуемым признакам для каждого листа, складывая для этого относительные величины асимметрии по каждому признаку и разделив эту сумму на число признаков. Затем рассчитывали среднее значение показателя ФА для каждой пробной площадки.

Полученные результаты среднего значения ФА для всех признаков листовой пластинки липы мелколистной использовали для оценки уровня загрязненности на всех пробных площадках по 5-ти бальной шкале, согласно методическим рекомендациям по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур) [4]. Данные ФА для липы мелколистной отражены на рис 1.

Рисунок 1. Величина интегрального показателя стабильности развития липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) на пробных площадках (ПП)

Пробные площадки:

1 – Ботсад ПетрГУ (контроль); 2 – Площадь Жукова (р-н Октябрьский); 3 – Улица Чапаева (р-н Перевалка); 4 – Лососинский парк (р-н Голиковка); 5 – Пионерская аллея (р-н Центральный); 6 – Сквер им. Молчанова (р-н Первомайский); 7 – Лицей №1

(р-н Древянка); 8 – Санкт-Петербургская аллея (р-н Центральный); 9 – Левашовский бульвар (р-н Центральный); 10 – Парк Победы (р-н Центральный); 11 – Улица Ригачина (р-н Зарека); 12 – Липовый парк (р-н Перевалка); 13 – Аллея Отцов (р-н Ключевая); 14 – Парк «Ямка» (р-н Центральный); 15 – Сортавальский бульвар (р-н Куковка); 16 – территория бывшего Онежского тракторного завода (р-н Центральный).

Полученные результаты ФА позволяют сделать вывод, что качество среды г. Петрозаводска неоднородно. Зафиксированные значимые изменения величины интегрального показателя стабильности развития липы являются свидетельством значительного отклонения от нормального состояния исследуемых растений.

Критический уровень отклонения от нормы, что предполагает и высокий уровень загрязнения (ФА 0,055–0,086; 5 баллов по шкале оценки стабильности среды), зафиксирован для большей части исследованных районов г. Петрозаводска. Пробные площадки в этих районах располагались в рекреационных зонах или в непосредственной близости от них, что свидетельствует о значительном вкладе автотранспорта в загрязнение городских территорий. Но максимальное значение интегрального показателя стабильности развития липы выявлено на бывшей территории одного из старейших промышленных предприятий России – Онежского тракторного завода (основан в 1703 г.). Несколько лет назад производство было вынесено за черту города, но многолетнее загрязнение не исчезло, что требует принятия рекультивационных мер.

Для трех пробных площадок, расположенных поблизости от магистралей с высокой транспортной нагрузкой, зафиксирован значительный уровень отклонения от нормы, а, соответственно, и загрязнения (ФА 0,052–0,054; 4 балла по шкале оценки стабильности среды).

Средний уровень отклонения от нормы (ФА 0,049; 3 балла по шкале оценки стабильности среды) обнаружен только на одной пробной площадке, расположенной в парковой зоне на окраине города, вдали от автодорог с высокой проходимостью и промышленных предприятий.

В зоне условного контроля – на заповедной территории Ботанического сада ПетрГУ величина показателя стабильности развития составила 0,039, что соответствует условной норме (1 балл). Этот результат подтвержден и данными палиноиндикационного анализа, проведенного нами ранее ($88 \pm 1,2$ % нормально развитой пыльцы).

По результатам настоящего исследования практически всю территорию г. Петрозаводска (14 из 15 пробных площадок) можно охарактеризовать, как испытывающую критические или значительные антропогенные нагрузки. Полученные результаты показывают, что липа мелколистная достаточно чувствительна к изменениям экологического состояния среды и может использоваться как биоиндикационный организм.

1. Ашихмина, Т. Я. Экологический мониторинг: Учебн. - методическое пособие. – Академический проект, 2005. – 205 с.
2. Боголюбов, А. С. Оценка экологического состояния леса по асимметрии листьев. М.: Экосистема, 2002. – 10 с.
3. Захаров, В. М. Онтогенез и популяция (стабильность развития и популяционная изменчивость) // Экология, 2001. – № 3. С. 164-168.
4. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур) [Электронный ресурс] / Центр экологической политики России. М., 2003.
5. Стрельцов, А. Б. Региональная система биологического мониторинга. – Калуга: изд-во Калужского ЦНТИ, 2003. – 158 с.