

УДК 635.054(470.331) : 504.058
DOI: 10.26456/vtbio247

О БИОИНДИКАЦИОННОЙ ЦЕННОСТИ КЛЕНА ОСТРОЛИСТНОГО (*ACER PLATANOIDES* L.) И БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*BETULA PENDULA* ROTH.) В УСЛОВИЯХ Г. ТВЕРИ: МЕТОД ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ

**Д.А. Дрожжин, Е.А. Виноградова, Ю.С. Болдырева, М.С. Курова,
К.В. Захарова, М.Е. Наставникова, А.А. Зинякина,
Т.А. Пудовкина, А.А. Емельянова, Н.Е. Николаева**
Тверской государственный университет, Тверь

В 9 точках г. Твери и одной контрольной (г. Весьегонск Тверской области) произведена оценка состояния среды с применением метода флуктуирующей асимметрии. Сравниваются данные, полученные для двух видов-индикаторов: клена остролистного (*Acer platanoides* L.) и березы повислой (*Betula pendula* Roth.). Установлено, что в условиях интенсивной антропогенной нагрузки в г. Твери более удачным биоиндикатор – клен остролистный, сохраняющий способность соответствовать балльной шкале отклонений от нормы. Уровень феногенетических отклонений от нормы у березы повислой во всех обследованных точках г. Твери соответствует критическому. Наблюдается зависимость величины интегрального показателя стабильности развития от степени загрязнения среды в районе произрастания деревьев.

Ключевые слова: *флуктуирующая асимметрия, биоиндикатор, Acer platanoides, Betula pendula, береза повислая, клен остролистный, Тверь.*

Введение. Симметрия, точная или приближительная, является важнейшим свойством подавляющего числа живых организмов (Гиляров, 1944, Вейль, 1968; Урманцев, 1974; Захаров, 1987; Лима-де-Фариа, 1990 и др.). Равенство частей какой-либо морфологической структуры можно проверить с помощью преобразования, совмещающего равные объекты или его части. В частности, билатеральная симметрия – это симметрия зеркального отражения, при которой объект имеет одну плоскость симметрии, относительно которой две его половины зеркально симметричны. (Словари и энциклопедии..., 2022). При этом в природе чаще всего встречаются лишь приблизительно симметричные объекты, то есть проявление у биологических объектов той или иной формы асимметрии – норма. Так, известны такие типы асимметрии, как: направленная,

флуктуирующая и антисимметрия (Захаров, 1987; Palmer, Strobeck, 1986; Palmer, Strobeck, 2003). Под флуктуирующей асимметрией (ФА) понимают незначительные, ненаправленные отклонения от строгой билатеральной симметрии биообъектов, которые выражаются в независимом проявлении либо на левой, либо на правой, либо на обеих сторонах тела, но в разной степени выраженных признаков, являющихся итогом стохастических микроскопических процессов (Захаров, 1987). Уровень флуктуирующей асимметрии широко используется в качестве меры в оценке стабильности развития организма и применяется в системе биомониторинга (Захаров, 2001; Захаров и др., 2000). Однако следует учесть возможность наличия видовых и индивидуальных особенностей ответных реакции организмов на стрессовое воздействие среды, что обусловлено гибкостью морфофункциональной организации – с одной стороны, и закрепленными естественным отбором условиями функционирования – с другой стороны (Гродницкий, 1998).

В «Методических рекомендациях...», разработанных для целей оценки качества среды по уровню асимметрии морфологических структур, предлагается ряд наиболее обычных видов растений и животных (Захаров, 2000). В пределах городских территорий удобными биоиндикаторами оказались представители древесной растительности (Мелькумов, Волков, 2014; Филиппов и др., 2014; Щербаков, Королькова, 2014; Протасова, Белова, 2018; Тюлькова, Авдашкова, 2018; Корниенко и др., 2019 и др.). В условиях средней полосы России стандартным видом-индикатором является береза повислая (*Betula pendula* Roth.), широко используемая в древесных насаждениях урбанизированных территорий (Зорина, Коросов, 2007; Иванов и др., 2009; Гуртяк, Углев, 2012 и др.). Наряду с указанным видом зачастую в городских посадках присутствуют представители широколиственных пород деревьев, например, клен остролистный (*Acer platanoides* L.), характеристика ФА листовых пластинок которого так же применяется при изучении агрессивных факторов среды (Гаврикова, 2014; Мелькумов, Волков, 2014; Протасова, Белова, 2018; Корниенко и др., 2019). Интересен сравнительный анализ биоиндикационной ценности этих видов в условиях Евразийской таежной (хвойнолесной) ботанико-географической области, в пределах которой находится территория Тверской области (Грибова и др., 1980). Несмотря на то, что в регионе представлены два подзональных растительных типа: южнотаежные и подтаежные (елово-широколиственные) леса, характер рельефа при слабой водопроницаемости почвообразующих пород и периодически избыточном атмосферном увлажнении, наряду с другими факторами,

способствуют тому, что на большей части области господствуют еловые леса южно-таёжного типа в сочетании с хвойно-широколиственными лесами. Из хвойных пород на востоке области несколько преобладает сосна, на западе – ель. При движении с востока на запад сосновые и сосново-мелколиственные леса постепенно переходят в елово-мелколиственные и еловые леса. Почти по всей территории области разбросаны элементы широколиственных пород, примесь широколиственных пород значительно больше на западе области (Невский, 1960). Таким образом, представляется изначально неодинаковой степень благоприятности условий произрастания для березы и клена на территории Тверской области, что может отразиться на уровне морфогенетических отклонений (т.е. ФА) от нормы при любых стрессовых воздействиях. В качестве полигона для исследования был выбран областной центр – г. Тверь — крупный промышленный, научный и культурный центр, располагающийся на пересечении железнодорожной линии Санкт-Петербург — Москва и автомагистрали «Россия» с Верхней Волгой. Площадь территории города — 152,22 км², административно город разделён на 4 района (Заволжский, Московский, Пролетарский, Центральный). Население – 449 507 чел. (2017) (Тверь..., 2022).

Методика. Сбор материала проходил в ранне-осенний период в 2019–2021 гг. в нескольких пунктах г. Твери, находящихся на разном удалении от центра города. При этом обследовались селитебные территории и одна рекреационная зона (РЗ). В каждой точке листья собирались с нескольких деревьев без подбора и измерялись в свежем состоянии. В пределах г. Твери сборы клена остролистного были произведены в 4-х точках, березы – в 5. Преимущественно точки находились в Центральном районе города, одна – в Заволжском районе, одна – в Пролетарском. Две точки обследования дублировались сборами листьев березы и клена, остальные не совпадали. Кроме того, точка сбора материала с деревьев в г. Весьегонск Тверской области (население 5846 человек) была контрольной для *Betula pendula* (Весьегонск..., 2022).

С каждого листа *A. platanoides* бралось 6 промеров, с *B. pendula* – 5 (рис. 1, 2). Метрические параметры измерялись миллиметровой линейкой с точностью до 0,5 мм, угловые – с помощью транспортира. Прежде чем приступить к количественной оценке нестабильности развития через ФА необходимо убедиться в флуктуирующем характере асимметрии каждого признака из выбранного набора. Для этих целей производится проверка гипотезы о равенстве показателей асимметрии на левой и правой сторонах биологических объектов методами математической статистики, например, с помощью критериев

Колмогорова-Смирнова, Уилкоксона (Гелашвили и др., 2004; Емельянова, 2015). Исходя из литературных сведений, подтверждающих флуктуирующий характер асимметрии и отсутствие антисимметрии для листьев ряда видов древесных растений, в том числе – для клена остролистого (*A. platanoides*), мы приступали к расчетам величины ФА без предварительной проверки (Тюлькова, Авдашкова, 2018).

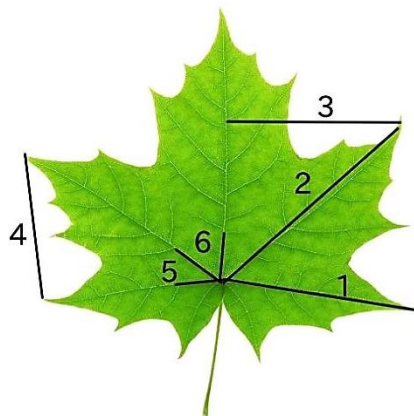


Рис. 1. Морфологические параметры, использованные для оценки стабильности развития клена остролистого (*Acer platanoides*) (по: Мелькумов, Волков, 2014):

- 1 – длина первой жилки; 2 – длина второй жилки; 3 – ширина половины листа;
4 – расстояние между первой и второй жилкой;
5 – угол между первой и второй жилкой; 6 – угол между второй и главной жилкой

Статистическая обработка данных проводилась с использованием лицензионных программных продуктов Microsoft Office Excel 2013. Величина асимметрии оценивалась с помощью интегрального показателя – величины среднего относительного различия на признак (средняя арифметическая отношения разности к сумме промеров листа слева и справа, отнесенная к числу признаков). Относительную величину между значениями признака слева и справа (Y) находили по формуле: $Y = |X_l - X_n| / |X_l + X_n|$, среднее относительное различие между сторонами в соотношении к признаку каждого листа (Z) – $Z = (Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4) / N$, где N – число признаков. Среднее относительное различие, деленное на признак для всей выборки (X), определялось по формуле: $X = Z / n = (Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n) / n$, где n – число значений Z , т.е. число листьев (Боголюбов, 2002). Полученный показатель характеризует степень асимметричности листьев, и для определения данного показателя принята пятибалльная шкала отклонения, согласно которой 1 балл – условная норма, а 5 – критическое состояние (Захаров и др., 2000) (табл. 1).

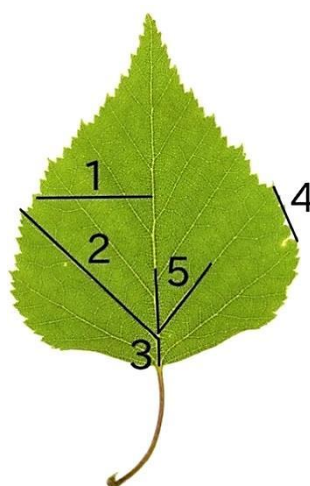


Рис. 2. Морфологические параметры, использованные для оценки стабильности развития березы повислой (*Betula pendula*)

(по: Захаров и др., 2000):

1 – ширина левой и правой половинок листа; 2 – длина жилки второго порядка, второй от основания листа; 3 – расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка; 4 – расстояние между концами этих же жилок; 5 – угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка

Таблица 1

Шкала отклонения от нормы

Балл	Значение показателя асимметричности	
	<i>Acer platanoides</i> (по Мелькумов, Волков, 2014)	<i>Betula pendula</i> (по Захаров и др., 2000)
1 балл – условная норма	< 0,015	< 0,040
2 балла	0,016 – 0,025	0,040 – 0,044
3 балла	0,026 – 0,035	0,045 – 0,049
4 балла	0,036 – 0,045	0,050 – 0,054
5 баллов	0,046 – 0,055	> 0,054
Критическое состояние	> 0,056	> 0,055

Результаты и обсуждение. Биоиндикация является методом, с помощью которого можно получить информацию об экологическом состоянии среды, оценивая ее воздействие на морфологические признаки видов-индикаторов. Однако при этом невозможно определить, какие именно повреждающие агенты имели решающее значение, то есть, оценка имеет обобщенный характер – среда обитания здоровая, или не здоровая. Это не умаляет достоинств биоиндикации, среди которых одними из главных являются простота и дешевизна методик. В свете этого мы провели сравнительный анализ полученных значений уровня асимметрии клена и березы и

сопоставили с известными результатами исследований уровня загрязненности районов г. Твери некоторыми поллютантами.

Для клена остролистного минимальный уровень асимметрии был получен при обследовании деревьев, произрастающих около корпуса биологического факультета Тверского госуниверситета (ТвГУ) (точка 1) – 0,025, что соответствует 2 баллам по шкале отклонений от нормы. Для других точек в Центральном районе были получены большие величины показателя стабильности развития – 0,031 (точка 2) и 0,034 (точка 3), что представляет 3 балла по шкале отклонений от нормы. Максимальный уровень морфогенетической нестабильности был получен для кленов, произрастающих около корпуса географического факультета ТвГУ в Заволжском районе (точка 4) – 0,052, что соответствует 5 баллам (табл. 2; рис. 3).

Таблица 2

Значения показателей ФА в районах исследования

№ точки	Место сбора	Количество образцов	Интегральный показатель стабильности развития	Балл по шкале отклонений от нормы
<i>Клен остролистный Acer platanoides L.</i>				
1	пр-т Чайковского, 70	30	0,025	2 балла
2	Спортивный переулок, 3	50	0,031	3 балла
3	Ландшафтный парк г. Тверь	60	0,034	3 балла
4	ул. Прошина, 1	30	0,052	5 баллов
<i>Береза повислая Bétula péndula Roth.</i>				
1	пр-т Чайковского, 70	50	0,059	5 баллов
2	Спортивный переулок, 3	50	0,056	5 баллов
3	Проспект Победы, 12а	30	0,056	5 баллов
4	ул. 15 лет Октября, 51/18	50	0,061	5 баллов
5	ул. Зои Космодемьянской, 6	50	0,070	5 баллов
Контрольная точка	г. Весьегонск, ул. Л. Чайкиной, 18	30	0,032	1 балл – норма

При анализе результатов, полученных при использовании в качестве вида-индикатора березы повислой, было обнаружено, что величина интегрального показателя стабильности развития для всех выборок из г. Твери соответствует критическому уровню загрязнения, т.е. более 0,055. При этом сравнительно меньшие величины показателя асимметрии свойственны деревьям из Центрального района г. Твери (0,056 и 0,059), большие – выборке из точки 4, расположенной ближе к Московскому району (0,061), максимальные – серии 5 из Пролетарского района (0,070) (табл. 2, рис. 3). О том, что данный вид способен выполнять биоиндикационную функцию в условиях

Тверской области, можно судить по контрольной точке с низкой рекреационной нагрузкой – г. Весьегонск, где расчетный уровень асимметрии 0,032 – норма.

Отметим, что результаты нашего исследования в целом согласуются с литературными сведениями по изучению биоиндикационной ценности разных видов деревьев. Так, в ходе изысканий в г. Новочеркаске Ростовской области береза повислая указывается как эффективный модельный вид на основании наибольших значений ФА, в результате чего в предлагаемом авторами биоиндикационном ряду *Betula pendula* оказывается предпочтительнее *Acer platanoides* (Филиппова и др., 2014).

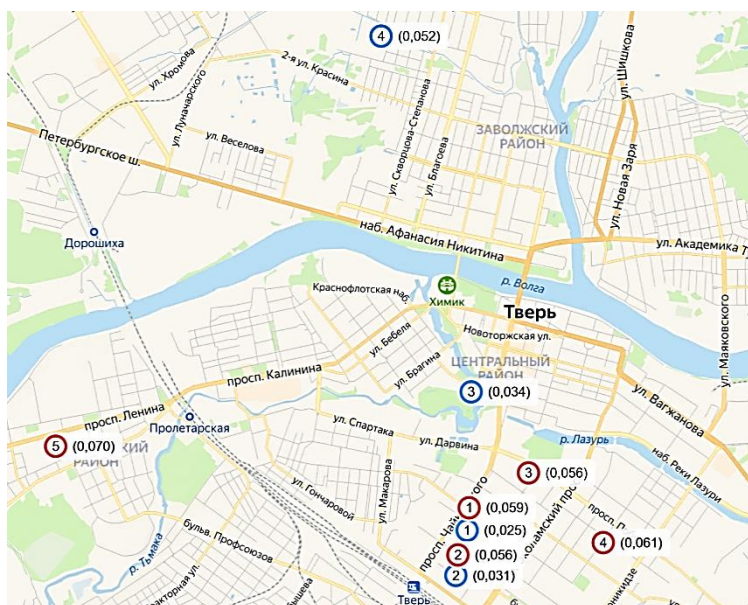


Рис. 3. Карта-схема района исследования и значения показателей ФА. Синие метки (*Acer platanoides* L.): 1 – пр-т. Чайковского, 70; 2 – Спортивный переулок, 3; 3 – Ландшафтный парк р. Тьмака; 4 – ул. Прошина, 1. Красные метки (*Betula pendula* Roth): 1 – пр-т. Чайковского, 70; 2 – Спортивный переулок, 3; 3 – пр-т. Победы, 12а; 4 – ул. 15 лет Октября, 51/ 18; 5 – ул. Зои Космодемьянской, 6

Однако, в том же источнике указывается, что, хотя береза повислая и устойчива к определенным транспортным нагрузкам (500–1000 маш/ч), при увеличении антропогенного прессинга происходит резкое отклонение от нормы развития организма. При том, липа мелколистная, клен остролистный и тополь советский пирамидальный при увеличении транспортной нагрузки постепенно изменяют интегральный показатель асимметрии листовой пластины, что говорит

о сглаживании негативного влияния окружающей среды (Филиппова и др., 2014). В нашем представлении именно эти свойства видов-индикаторов проявились в условиях г. Твери и обесценили биоиндикационные свойства березы повислой, для которой ограничивающим фактором оказалась повышенная транспортная нагрузка. Клен остролистный сохранил чувствительность к иным повреждающим факторам среды, и в условиях г. Твери может быть признан более удачным видом-индикатором. Повышенная устойчивость *Acer platanoides* в обстановке высокой антропогенной нагрузки подтверждается и другими исследователями (Корниенко и др., 2019).

Оценивая вероятность взаимосвязи расчетных показателей ФА с уровнем загрязнения среды, отметим, что одним из важнейших факторов внешней среды, определяющим условия проживания населения, является состояние атмосферного воздуха. Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха в Тверской области проводится Тверским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Тверским ЦГМС). Наблюдения за качеством атмосферного воздуха Тверским ЦГМС осуществляются на стационарном посту № 1, расположенном по адресу: г. Тверь, ул. Ефимова, д. 6. В пробах воздуха, отобранных на посту, определяются концентрации 15 загрязняющих веществ: взвешенные вещества (пыль), диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота, оксид азота, сероводород, формальдегид, бенз(а)пирен, медь, никель, хром, железо, марганец, цинк, свинец. Средняя за год концентрация взвешенных веществ в 2018 году составила 1,5 ПДК_{ср.с}. Максимально-разовые концентрации превысили ПДК у 3 ингредиентов: взвешенных веществ (в 2,6 раза), оксида углерода (в 1,2 раза) и бенз(а)пирена (в 2,1 раза). Загрязнение атмосферного воздуха в г. Твери формируют автотранспорт, предприятия энергетического комплекса (ТЭЦ и котельные), предприятия машиностроения, предприятия строительных материалов (Государственный доклад..., 2019). В случае использования в качестве биоиндикаторов растений так же важным фактором является химический состав почв.

Согласно результатам исследований с применением различных методик, наиболее загрязненными районами города являются Пролетарский и Московский районы. Так, данные инфракрасного (ИК) спектрального анализа по изменению химического состава лишайников г. Твери свидетельствуют о существенном загрязнении воздуха серосодержащими поллютантами, в первую очередь, в Пролетарском районе. Здесь специфику загрязнения определяет преимущественно SO₂ и CS₂. В образцах из рекреационных зон (РЗ) Московского района был обнаружен средний уровень содержания

сульфонов, основным загрязнителем воздуха является CS_2 (Мейсурова и др., 2016). На территории этого района источниками SO_2 в воздухе являются предприятия энергетической (ТЭЦ-4) и химической отраслей: большой участок в восточной части города по правому берегу р. Волга в Московском районе образуют так называемый «первый узел напряженности» (Тихомиров, Емельянов, 1994). Так же определение и анализ содержания тяжелых металлов (ТМ) в образцах почв с помощью атомноэмиссионного спектрального анализа с индуктивно-связанной плазмой (АЭС–ИСП–анализ) показали максимальные значения концентраций для большинства металлов в почвах в Московском и Пролетарском районах – в местах расположения промышленных предприятий и крупных магистралей с интенсивным автодвижением (Мейсурова, 2017). Высокому уровню загрязнения среды в указанных районах соответствуют максимальные значения ФА, полученные для березы повислой – точки 4 и 5 (табл. 2; рис. 3).

Точки сбора материала в Центральном районе выглядят сравнительно благополучными относительно концентрации ряда поллютантов: содержание сульфонов в образцах лишайников из таких рекреационных зон, как Парк Победы, Детский парк, низкое. Здесь дополнительным источником загрязнения может быть автотранспорт (Мейсурова и др., 2016). Согласно данным фактам, именно для деревьев в Центральном районе были получены минимальные уровни ФА – точки 1, 2, 3 для клена и березы (табл. 2; рис. 3).

Высокий уровень ФА в Заволжском районе – точка 4 для клена – может быть обусловлен высоким уровнем загрязнений тяжелыми металлами. Оценка содержания металлов в слоевищах лишайника *Hypogymnia physodes* из РЗ г. Твери с помощью АЭС–ИСП–анализа выявила превышения концентраций металлов в образцах Заволжского района выше фоновых в 1,3–5,7 раза. Уровень загрязнения металлами формируется, скорее всего, за счет поступления в воздух выхлопных газов от большого количества городского автотранспорта, а также в процессе сжигания топлива на ТЭЦ (Матвеевко и др., 2008; Зудина, Мейсурова, 2017).

Заключение. Таким образом, метод флуктуирующей асимметрии может быть признан относительно удачным, как способ быстрого определения степени благоприятности среды обитания для живых организмов. При этом отдельную задачу представляет выбор видов-индикаторов, которые должны обладать определенной устойчивостью к той или иной силе воздействия повреждающих факторов. В условиях интенсивной антропогенной нагрузки в г. Твери более удачным биоиндикатор – клен остролистный, сохраняющий способность соответствовать балльной шкале отклонений от нормы.

Уровень фенотипических отклонений от нормы у березы повислой во всех обследованных точках г. Твери соответствует критическому. При этом наблюдается зависимость величины интегрального показателя стабильности развития от степени загрязнения среды в районе произрастания деревьев.

Список литературы

- Боголюбов А.С.* 2002. Оценка экологического состояния леса по асимметрии листьев / А. С. Боголюбов. М.: Экосистема. 10 с.
- Вейль Г.* 1968. Симметрия. М.: Наука. 191 с.
- Весьегонск.* Википедия. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%8C%D0%B5%D0%B3%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BA> (дата обращения: 26.01.2022).
- Гаврикова В.С.* 2014. Динамика флуктуирующей асимметрии листьев *Acer platanoides* L. урбанизированных территорий // Экология и ноосферология. Вып. 25. С. 34-44
- Гелашвили Д.Б., Якимов В.Н., Логинов В.В., Епланова Г.В.* 2004. Статистический анализ флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков разноцветной ящурки *Eremias arguta* // Актуальные проблемы герпетологии и токсикологии: Сборник научных трудов. Вып. 7. Тольятти. С. 45-59.
- Гиляров М.С.* 1944. О функциональном значении симметрии организмов // Зоол. журн. Т. 23. № 5. С. 213-215.
- Государственный доклад* о состоянии и об охране окружающей среды в Тверской области в 2018 году. Министерство природных ресурсов и экологии. Тверь. 2019. 178 с.
- Грибова С.А., Исаченко Т.И., Лавренко Е.М.* 1980. Растительность Европейской части СССР. Л.: Наука. 236 с.
- Гродницкий Д.Л.* 1998. Логика и неопределенность морфологических объяснений (принцип минимальных изменений в эволюции) // Журн. общей биологии. Т. 59. № 6. С.606-620.
- Гуртяк А.А.* 2010. Оценка состояния среды городской территории с использованием березы повислой в качестве биоиндикатора / А.А. Гуртяк, В.В. Углев // Известия Томского политехнического университета. Т. 37, № 1. С. 200-204.
- Емельянова А.А.* 2015. Об использовании асимметрии парных органов как показателей, характеризующих популяционные особенности европейской рыжей полевки (*Myodes glareolus* Schreber), обитающей на территории Тверской области // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. № 3. С. 96-108.
- Захаров В.М.* 1987. Асимметрия животных (популяционно-фенотипический подход). М.: Наука. 216 с.
- Захаров В.М.* 2001. Онтогенез и популяция (стабильность развития и популяционная изменчивость) // Экология. № 3. С. 177-191.
- Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И.* 2000. Здоровье среды: методика оценки. Оценка состояния природных популяций по стабильности

- развития: методологическое руководство для заповедников. М.: Центр экологической политики России. 66 с.
- Зорина А.А., Коросов А.В.* 2007. Характеристика флуктуирующей асимметрии листа двух видов берез в Карелии // Экология. Экспериментальная генетика и физиология: труды Карельского научного центра РАН. Петрозаводск. Вып. 11. С. 28-36.
- Зудина П.Ю., Мейсурова А.Ф.* 2017. Оценка содержания металлов в слоевищах лишайниках *Hypogymnia physodes* из рекреационных зон г. Твери // Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Основные результаты и пути развития: тез. Докл. Всерос. научн. конф. (20-22 марта 2017 г., Москва) / отв. сост. А.А. Трунов, П.Д. Полумиева, А.А. Романовская. Москва: ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН». С. 572-573.
- Иванов В.П.* 2009. Использование асимметрии площадей листовых пластинок *Betula pendula* в качестве индикатора экологического состояния природной среды / В.П. Иванов, С.И. Марченко, Н.В. Акименко // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер. Лес. Экология. Природопользование. № 3. С. 68-74.
- Корниенко В.О., Кольченко О.Р., Матвеева Т.Б.* 2019. *Acer platanoides* L. в условиях антропогенной нагрузки г. Донецка // Самарский научный вестник. Вып. 8. №3(28). С. 46-52.
- Лима-де-Фариа А.* 1990. Эволюция без отбора: Автоэволюция – формы и функции. М.: Мир. 455 с.
- Матвеев Т.И., Молчанова М.А., Теренина И.Б.* 2008. Тяжелые металлы в почвенном покрове зоны влияния ТЭЦ-3 // Вестн. ТОГУ Сер. Технические науки. № 1(8). С. 223-230.
- Мейсурова А.Ф.* 2017. Техногенное загрязнение почв тяжелыми металлами в г. Твери // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. № 2. С. 324-342.
- Мейсурова А. Ф., Хижняк С.Д., Пахомов П.М.* 2016. Фурье-ИК спектральный анализ атмосферного загрязнения с использованием лишайников. Тверь: Твер. гос. ун-т. 155 с.
- Мелькумов Г.М., Волков Д.Э.* 2014. Флуктуирующая асимметрия листовых пластинок клена остролистного (*Acer platanoides* L.) как тест экологического состояния паркоценозов городской зоны // Вестник ВГУ. Сер. «География». № 3. С. 95-98.
- Невский М.Л.* 1960. Леса Калининской области // Природа и хозяйство Калининской области. Калинин. С. 323-390.
- Протасова М.В., Белова Т.А.* 2018. Оценка состояния окружающей среды по показателям флуктуирующей асимметрии листьев древесных растений // Auditorium. Электронный научный журнал Курского государственного университета. № 3(19). С. 17-24.
- Словари и энциклопедии на Академике.*
<https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/205033> (дата обращения: 26.01.2022).
- Тверь. Википедия.* <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%80%D1%8C> (дата обращения: 26.01.2022).
- Тихомиров О.А., Емельянов А.Г.* 1994. Картографирование и оценка

- современного экологического состояния города Твери // Экологическое состояние города Твери. Тверь: Твер. гос. ун-т. 112 с.
- Тюлькова Е.Г., Авдашкова Л.П. 2018. Влияние техногенеза на химический состав растительности на территории крупных промышленных центров (на примере города Гомеля) // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные и медицинские науки. № 2. С. 73-82.
- Урманцев Ю.А. 1974. Симметрия природы и природа симметрии. М.: Мысль. 229 с.
- Филиппов Е.С., Иванисова Н.В., Куринская Л.В. 2014. О биоиндикации транспортно-селитебных ландшафтов методом флуктуирующей асимметрии // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. № 6(184). С. 68-72.
- Щербаков А.В., Королькова Е.О. 2014. Флуктуирующая асимметрия. листа клена остролистного (*Acer platanoides* L.) как индикаторный показатель качества среды // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. № 3. С. 95-98.
- Palmer A.R., Strobeck C. 2003. Fluctuating asymmetry analysis revisited // Developmental instability (DI): causes and consequences. M. Polak, ed. Oxford University Press, New York. (доступно в интернет: http://www2.biology.ualberta.ca/palmer/pubs/03BookChapt/P&S_Chapter.pdf)
- Palmer A.R., Strobeck C. 1986. Fluctuating asymmetry: measurement, analysis, patterns // Ann. Rev. Ecol. Syst. V. 17. P. 391-421.

**ON THE BIOINDICATION VALUE OF ACER PLATANOIDES L.
AND BETULA PENDULA ROTH. IN THE CONDITIONS OF TVER:
THE METHOD OF FLUCTUATING ASYMMETRY**

**D.A. Drozhzhin, E.A. Vinogradova, Y.S. Boldyreva, M.S. Kurova,
K.V. Zakharova, M.E. Mentornikova, A.A. Zinyakina, T.A. Pudovkina,
A.A. Emelyanova, N.E. Nikolaeva**
Tver State University, Tver

At 9 points in Tver and one control point (Vesyegonsk, Tver region), the state of the environment was assessed using the method of fluctuating asymmetry. The data obtained for two indicator species are compared: holly maple (*Acer platanoides* L.) and hanging birch (*Betula pendula* Roth.). It was found that in conditions of intense anthropogenic load in Tver, the more successful bioindicator is the holly maple, which retains the ability to correspond to the point scale of deviations from the norm. The level of phenogenetic deviations from the norm in the hanging birch in all surveyed points of Tver corresponds to the critical one. There is a dependence of the value of the integral indicator of development stability on the degree of environmental pollution in the area of tree growth.

Keywords: *fluctuating asymmetry, bioindicator, Acer platanoides, Betula pendula, hanging birch, holly maple, Tver.*

Об авторах:

ДРОЖЖИН Дмитрий Александрович – студент 4 курса направления 06.03.01 Биология, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: dadrozzhin@edu.tversu.ru.

ВИНОГРАДОВА Елена Андреевна – магистрант 1 курса, направления 06.04.01 Биология, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: eavinogradova@edu.tversu.ru.

БОЛДЫРЕВА Юлия Сергеевна – магистрант 1 курса направления 06.04.01 Биология ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: ysboldyreva@edu.tversu.ru.

КУРОВА Мария Сергеевна – магистрант 2 курса направления 06.04.01 Биология, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: mskurova@edu.tversu.ru.

ЗАХАРОВА Кристина Владимировна – студентка 4 курса направления 06.03.01 Биология, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: kvzakharova@edu.tversu.ru.

НАСТАВНИКОВА Мария Евгеньевна – студентка 4 курса направления 06.03.01 Биология, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: menastavnikova@edu.tversu.ru.

ЗИНЯКИНА Анастасия Алексеевна – студентка 4 курса направления 06.03.01 Биология, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: aazinyakina@edu.tversu.ru.

ПУДОВКИНА Татьяна Андреевна – студентка 4 курса направления 06.03.01 Биология, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: tapudovkina@edu.tversu.ru.

ЕМЕЛЬЯНОВА Алла Александровна – кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии и физиологии, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: Emelyanova.AA@tversu.ru.

НИКОЛАЕВА Наталья Евгеньевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии и физиологии, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: Nikolaeva.NE@tversu.ru.

Дрожжин Д.А. О биоиндикационной ценности клена остролистного (*Acer platanoides* L.) и березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в условиях г. Твери: метод флуктуирующей асимметрии / Д.А. Дрожжин, Е.А. Виноградова, Ю.С. Болдырева, М.С. Курова, К.В. Захарова, М.Е. Наставникова, А.А. Зинякина, Т.А. Пудовкина, А.А. Емельянова, Н.Е. Николаева // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2022. № 1(65). С. 207-219.