

БЕРЁЗА БОРОДАВЧАТАЯ КАК ИНДИКАТОР АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА СРЕДУ

Д.И. БАШМАКОВ¹, Д.Д. БАШМАКОВА², А.Н. КЛЮЧАГИНА¹

¹ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва», Саранск
(dimabashmakov@yandex.ru)

²МОУ «Средняя общеобразовательная школа № 30», Саранск (bashmakovadasha@yandex.ru)

BETULA PENDULA ROTH. AS THE INDICATOR OF ANTHROPOGENIC IMPACT TO THE ENVIRONMENT

D.I. BASHMAKOV¹, D.D. BASHMAKOVA², A.N. KLUCHAGINA¹

¹National Research Mordovia State University, Bolshevistskaya, Saransk (dimabashmakov@yandex.ru)

²Municipal Secondary School No. 30, Saransk (bashmakovadasha@yandex.ru)

Резюме. В работе исследовано содержание тяжёлых металлов в пробах почв и листьев *Betula pendula* Roth. из 25 локаций города Рузаевки и её окрестностей – одного из промышленных и транспортных центров Приволжского федерального округа России. Показано варьирование величины *флуктуирующей асимметрии* и значений *индекса ксерофилии* листьев берёзы в зависимости от природных (геохимический тип ландшафта, экспозиция склона, крутизна склона, тип почвы), антропогенных (функциональная зона, интенсивность движения автотранспорта, тип посадок, загрязнение почвы Pb, Zn, Cu, Ni) и эндогенных (биоаккумуляция тяжёлых металлов листьями) факторов. Среди изученных факторов величину *ФА* с самой большой вероятностью детерминирует комплексное антропогенное воздействие той или иной функциональной зоны урбодиагнотландшафта, а *ИК* – степень загрязнения почвы свинцом. Важно подчеркнуть, что изученные эндогенные факторы не оказывали существенного влияния на варьирование величины морфологических индексов.

Ключевые слова: *Betula pendula* Roth., флуктуирующая асимметрия, индекс ксерофилии, тяжёлые металлы, биоиндикация.

Abstract. In the research the heavy metals (HM) concentration in soils and leaves of *Betula pendula* Roth. samples from 25 ecotopes of Ruzaevka (an industrial and transport center in the Volga Federal District of Russia) was measured. Variations in the values of *fluctuating asymmetry* (*FA*) and the *xerophilia index* (*XI*) in birch leaves depending on the natural (geochemical type of the landscape, exposition and steepness of the slope, type of the soil), anthropogenic (functional zoning of the territory, vehicular traffic intensity, type of planting, soil contamination with Pb, Zn, Cu or Ni) and endogenous (bioaccumulation of HM in leaves) factors was determined. Among the studied factors, the complex anthropogenic impact in the functional zone determines the values of *FA* with the greatest probability, whereas the soil contamination with Pb determines the values of *XI*. It is important to underscore that the studied endogenous factors did not have a significant effect on the variation of the morphological indices magnitude.

Key words: *Betula pendula* Roth., fluctuating asymmetry, xerophilia index, heavy metals, bioindication.

Берёза бородавчатая (*Betula pendula* Roth.) рекомендована Центром экологической политики в качестве модельного объекта для оценки качества среды [Методические..., 2003]. Этот вид очень чувствителен к химическому и физическому загрязнению среды, а также может быть индикатором комплексного антропогенного воздействия на территорию [Хузина, 2010]. У древесных организмов, используемых в качестве индикаторов состояния окружающей среды, особой чувствительностью отличаются листья, находящиеся в наиболее активном контакте со средой [Неверова, 2009]. Мезофильные растения отличаются значительной морфологической пластичностью листьев, и способны реагировать на воздействие большого числа природных и антропогенных факторов. Поэтому варьирование морфологических показателей: индекса ксерофилии (*ИК*) и величины флуктуирующей асимметрии листа может служить индикатором «антропогенного пресса» на урбодиагнотландшафт. Цель нашей работы: определить индикационную ценность морфологических индексов *ИК* и *ФА* листьев берёзы бородавчатой в условиях урбодиагнотландшафта.

Пробы почвы и листьев собирали с 25 пробных площадок, расположенных относительно равномерно по территории г. Рузаевка (54°04'00" N; 44°57'00" E) и его окрестностям и охватывающих разные функциональные зоны города. Город Рузаевка расположен в Приволжском федеральном округе России в месте слияния рек Инсар и Пишля. Почвы:

серые лесные, выщелоченный чернозём, пойменные аллювиальные. Тип климата – умеренно-континентальный. Рузаевка – второй по величине промышленный центр Республики Мордовии. Промышленность города представлена предприятиями машиностроения, химической и нефтехимической, стекольной, лёгкой, пищевой промышленности и производства стройматериалов. Станция Рузаевка является крупным железнодорожным узлом Транссиба [Рузаевка, 2017].

На каждой исследовательской площадке регистрировали природные (геохимический тип ландшафта, крутизна склона, экспозиция склона, тип почвы) и антропогенные (функциональная зона, интенсивность движения, тип посадок) характеристики биотопов. Металлическую нагрузку на биотоп определяли по четырём ведущим металлам-загрязнителям (Pb, Cu, Ni и Zn) на атомно-адсорбционном спектрометре Shimadzu AA-7000. Для выяснения степени загрязнения почв абсолютные значения содержания тяжёлых металлов (ТМ) в почвах пересчитывали в относительные единицы: относительный концентрационный коэффициент ($K_{\text{одк}}$): $K_{\text{одк}} = C_{\text{п}} / \text{ОДК}$, где $C_{\text{п}}$ – концентрация ТМ в почве, ОДК – ориентировочно допустимая концентрация данного ТМ [Ориентировочно..., 1995]. Общую металлическую нагрузку ($\Sigma K_{\text{одк}}$) оценивали по сумме значений $K_{\text{одк}}$ индивидуальных ТМ на пробной площадке.

Пробы листьев отбирали с максимального количества доступных веток в нижней части кроны с 5–10 однолетних неповреждённых деревьев, согласно методике [Хузина, 2010]. Листовые пластинки измеряли по схеме, предложенной в методике [Методические..., 2003] и вычисляли относительную величину асимметрии для каждого признака по формуле: $FA = |L - P| / (L + P)$, где L и P – результаты измерений признака слева и справа, соответственно. Качество среды жизни оценивали по шкале, предложенной Д.Б. Гелашвили с соавторами [2007]. ИК вычисляли по формуле: $ИК = \text{длина листа} / \text{ширина листа}$, с последующим усреднением всех индексов по местообитанию. Степень влияния отдельных факторов местообитания на варьирование значений морфологических индексов определяли при помощи многофакторного ANOVA по критерию Фишера в программе *MS Excel*. Для построения биоиндикационных карт использовали метод линейной интерполяции распределения значений ИК и FA методом Кригинга в программе *Surfer v.12*. Площади, соответствующие различным категориям качества среды, определяли путём анализа построенных карт в программе *Scion Image for Windows v.4.0.2*.

Распределение общей металлической нагрузки ($\Sigma K_{\text{одк}}$) на почве изученной территории представлено на рис. 1. Как видно из рисунка, в центре города загрязнение варьирует от 3 до 4 ОДК, имея тенденцию к повышению вокруг железнодорожной станции «Рузаевка» (площадка 14). Загрязнение близ других крупных станций и вокруг железнодорожных развязок превышает 4 ОДК, а в районе с. Красный Клин и Тат-Пишля (площадки 3 и 20) почти доходит до 5 ОДК. Крупный ореол загрязнения (с превышением 3 ОДК) распространяется вокруг завода «Рухиммаш» (площадка 8). На остальной исследованной территории суммарная металлическая нагрузка по исследованным металлам варьирует от 2 до 3 ОДК. Минимальные значения загрязнения к югу от города зафиксированы в районе совхоза Красное Сельцо, а к северу – в районе Левженского леса (площадки 2 и 22). Отсутствие ореола сильного загрязнения в районе завода «Лисма», по всей вероятности, связано с преобладанием аэрогенного пути рассеивания выбросов в атмосферу или может быть объяснено наличием в выбросах иных металлов, не исследованных в данной работе.

Ксерофильность – приспособленность животных и растений к жизни в более или менее сухих местообитаниях, в условиях недостаточной влажности. По Т.К. Горышиной [1979], города представляют собой, в целом, более сухие местообитания по сравнению с пригородными ландшафтами. Можно предположить, что повышение антропогенной нагрузки, вероятно, приведёт к изменению морфологии листа мезофильных растений. Отражением подобных изменений может стать варьирование ИК листьев не только в зависимости от природных факторов, но и вследствие изменения антропогенной нагрузки.

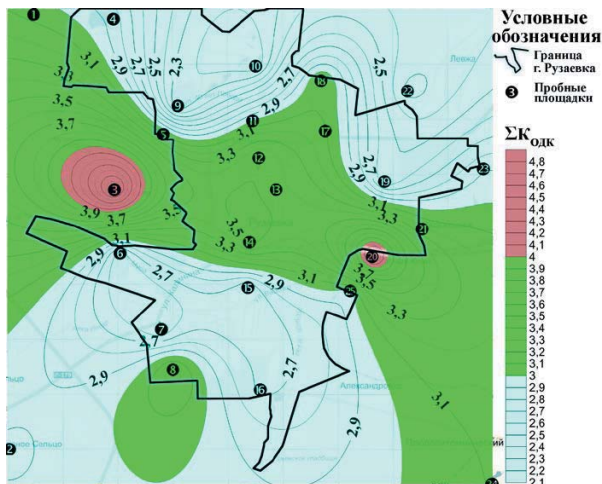


Рис. 1. Общая металлическая нагрузка на почвы г. Рузаевка и его окрестностей.

На исследованной территории величина *ИК* изменялась от 1,68 (на пробной площадке 5 – Таг-Пишленский лесопарк) до 1,40 (на площадке 23 – в районе Стекольного завода). Распределение значений *ИК* в г. Рузаевка и его окрестностях представлены на рис. 2. Максимальные значения *ИК* находятся в зоне южного склона (площадки 3, 5, 10–12, 17). Это связано в первую очередь с тем, что именно в этой зоне поступает большое количество солнечных лучей, что ведёт к большому прогреванию и иссушению биотопов. Значительно меньшие показатели *ИК* соответствуют биотопам восточных и северо-восточных склонов (1, 4, 9) и пойме р. Инсар (площадки 6, 14, 19, 23).

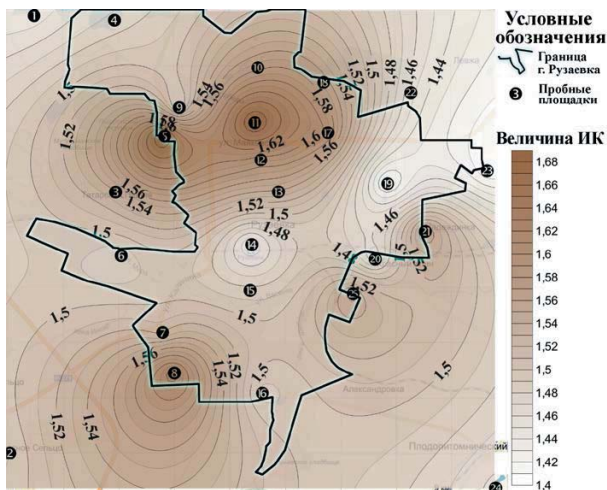


Рис. 2. Пространственное распределение значений *ИК* в г. Рузаевка и его окрестностях.

Однако, как и ожидалось, значительное повышение значений *ИК* приходится на д. Надеждинку, окрестности военкомата, заводов «Рузхиммаш» и «Лисма» (площадки 21, 25 и 8, соответственно), что может быть связано с более интенсивным антропогенным воздействием на данных пробных площадках.

Расчёты показали, что величина *ФА* колеблется от 0,059 (у деревьев на пробной площадке 23 – близ стекольного завода) до 0,025 (на пробной площадке 25 – в пригороде Рузавки близ Военкомата), что соответствует категориям качества среды от IV (Сильно загрязненные районы) до I (Условная норма). Максимально неблагоприятных условий, соответствующих V-й категории качества среды, на исследованной территории не обнаружено. Пространственное распределение значений найденных индексов *ФА* представлено на рис. 3.

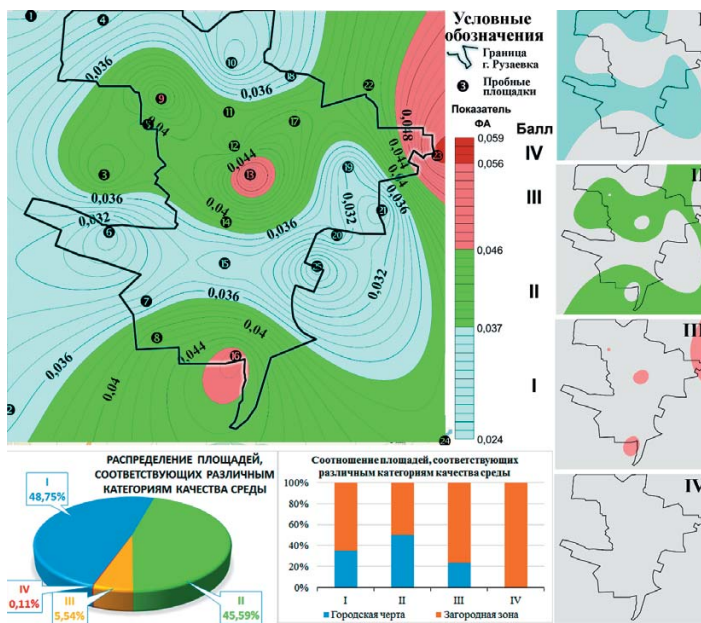


Рис. 3. Биоиндикационная карта и качество окружающей среды в г. Рузавке и его окрестностях.

Почти половину исследованной территории занимают местообитания, в которых величина *ФА* соответствует категории «Условная норма», местообитания со слабой и средней интенсивностью воздействия занимают, соответственно, 46 и 5% исследованной территории. Наиболее неблагоприятные условия среды складываются в центре города, в районе завода «Рузхиммаш» и, особенно, в районе стекольного завода на северо-восточной окраине города. Вокруг этих неблагоприятных зон распространяются обширные ореолы со средним и слабым влиянием неблагоприятных факторов.

Однако, как показывают расчёты, вдоль оживленной железнодорожной ветки берёза практически не испытывает неблагоприятных воздействий природно-антропогенных факторов. Поэтому далее мы выясняли статистически значимые связи исследованных индексов с природными, антропогенными и эндогенными факторами методами многофакторного ANOVA (табл.).

Таблица

Вероятность отклонения нулевой гипотезы о влиянии характеристик биотопа на величину биоиндикационных индексов листьев берёзы бородавчатой в г. Рузаевке и его окрестностях

Факторы		Результаты многофакторного ANOVA (<i>P</i> -значение)	
		<i>ФА</i>	<i>ИК</i>
Природные	Тип ландшафта	0,028*	0,249
	Экспозиция склона	0,026*	0,084
	Крутизна склона	0,225	0,464
	Тип почвы	0,037*	0,828
Антропогенные	Функциональная зона	0,001*	0,719
	Интенсивность движения	0,009*	0,949
	Вид посадок	0,957	0,430
	Загрязнение почвы ТМ (ΣК _{ОДК}):	0,806	0,135
	Кодк Pb	0,057	0,001*
	Кодк Zn	0,464	0,623
	Кодк Cu	0,762	0,170
Эндогенные	Кодк Ni	0,244	0,992
	Содержание Pb в листьях (К _{ПДК} Pb)	0,125	0,619
	Содержание Zn в листьях (К _{ПДК} Zn)	0,270	0,226
	Содержание Cu в листьях (К _{ПДК} Cu)	0,704	0,101
	Содержание Ni в листьях (К _{ПДК} Ni)	0,353	0,915

Примечание: * – существенные факторы ($F > F$ критического)

Таким образом, учитывая величину дисперсии (F), среди изученных факторов комплексное антропогенное воздействие той или иной функциональной зоны урбодландшафта с наибольшей вероятностью детерминирует варьирование *ФА*, а степень загрязнения ландшафта свинцом – варьирование *ИК*. Важно подчеркнуть, что изученные эндогенные факторы не оказывали существенного влияния на величину морфологических индексов.

ЛИТЕРАТУРА

- Гелашвили Д.Б., Нижегородцев А.А., Епланова Г.В., Табачишин В.Г. 2007. Флуктуирующая асимметрия билатеральных признаков разноцветной ящурки *Eremias arguta* как популяционная характеристика. *Известия Самарского научного центра РАН*. 9(4): 941–949.
- Горышина Т.К. 1979. Экология растений. Москва: Высшая школа.
- Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур). 2003. Москва.
- Неверова О.А. 2009. Применение фитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды. *В кн.: Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера»*. Москва: 82–92.
- Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжёлых металлов и мышьяка в почвах (Дополнения № 1 к перечню ПДК и ОДК № 6229-91): гигиенические нормативы. 1995. Москва: Информационно-издательский центр Госсанэпиднадзора России.
- Рузаевка. 2017. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Рузаевка> – Заглавие с экрана.
- Хузина Г.Р. 2010. Влияние урбаноcреды на морфометрические показатели листа берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.). *Вестник Удмуртского университета*. 3: 53–57.