

УДК 575.21:591:492

ИЗУЧЕНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА СТАБИЛЬНОСТЬ РАЗВИТИЯ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

¹Баранов С.Г., ²Зыков И.Е., ²Федорова Л.В.

¹ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых», Владимир, Россия
bar.serg58@gmail.com;

² ГОУ ВО «Московский государственный областной гуманитарный институт», Орехово-Зуево, Россия, zykov-oz@yandex.ru

Проведено изучение двадцати пяти популяций дуба черешчатого (*Quercus robur*) в девяти районах Владимирской области. Исследовалось влияние абиотических факторов на стабильность развития, определяемого с помощью величины флуктуирующей асимметрии листовых пластин нормирующим методом. Регрессионный анализ показал отсутствие значимости фактора «высота рельефа» и значимость следующих факторов (в порядке снижения их значимости): «автомобильные выбросы», «автовывбросы × выбросы от стационарных источников × высота рельефа», «автовывбросы × высота рельефа». Эффект действия трех факторов на стабильность развития оценивался с помощью функции желательности. Наибольшее значение ФА было в популяциях, находившихся в низкой части рельефа, с высокой транспортной нагрузкой и с невысокой нагрузкой со стороны стационарных предприятий.

Ключевые слова: дуб черешчатый, стабильность развития, флуктуирующая асимметрия, регрессионный анализ, функция желательности.

STUDY OF FACTORS AFFECTING THE OAK DEVELOPMENTAL STABILITY USING REGRESSION ANALYSIS

¹Baranov S.G., ²Zykov I.E., ²Fedorova L.V.

¹ Vladimir State University (VISU) Vladimir, Russia, bar.serg58@gmail.com;

² Moscow Region State Institute of Humanities (MGOGI) Orekhovo-Zuevo, Russia, zykov-oz@yandex.ru

Twenty five populations of English oak (*Quercus robur*) were studied in nine regions of Vladimirskaya oblast. The influence of some abiotic factors on developmental stability was studied by detecting fluctuating asymmetry value, calculated with normalizing method. Regression analysis showed a lack of significance of the factor "altitude" and the significance of the next factors in descending order: "vehicle emissions", "vehicle emissions × emissions from industries × altitude", "altitude × vehicle emissions". The interaction of all factors showed a significant effect. Desirability function allowed determining the effect of three factors on the developmental stability. The highest value of the FA was obtained in populations with a combination of low-elevation, high traffic load and low load from the stationary enterprises.

Keywords: English oak, developmental stability, fluctuating asymmetry, regression analysis, desirability function.

Одним из приоритетных направлений научно-исследовательской и природоохранной деятельности во Владимирской области является поддержание устойчивости экосистем широколиственных дубрав в пойменных долинах Владимирской области. Эти леса играют водорегулирующее, почвозащитное, эколого-гигиеническое и культурно-эстетическое значение. Пойменные леса имеют специфическую структуру, обладают особым составом и механизмом устойчивости и имеют широкий ареал.

Дуб черешчатый (*Quercus robur*) встречается в зональных широколиственно-еловых лесах в моренных ландшафтах на Клинско-Дмитровской гряде, на Гороховецком отроге в широколиственных лесах в Ополе и на склонах коренных берегов Оки и Клязьмы. Такие леса

занимают около 9% от общей площади лесных массивов Владимирской области. В юго-западном районе города Владимира сохранился реликтовый массив с неспецифичным составом, в котором дуб черешчатый занимает большую долю древостоя (20-25%).

Изучение изменчивости формы листовой пластины дуба проводилось в различных ареалах и биотопах [1; 3]. Влияние засушливых условий показало снижение асимметрии листовых пластин различных видов дуба [6-8]. Стабильность развития популяции представляется в настоящее время одним из ее свойств наряду с такими, как упругость и устойчивость. Уровень стабильности развития измеряется по незначительному отклонению от симметрии билатерально симметричных органов и их частей – флуктуирующей асимметрии (ФА). Известно, что ФА ненаследуема, детерминируется генотипом, как и всякое свойство живого организма, и величина ее зависит от внешних средовых факторов, среди которых интерес для экологов представляют степень загрязнения воды, атмосферы и почвы.

Обычно величину ФА определяют по нормирующей формуле, или формуле нормирующей разности отношением разности величины билатерально симметричных признаков к их сумме [3; 4].

В работах по изучению стабильности развития дуба черешчатого прослежена зависимость формы и асимметрии листовых пластин от освещенности и климатических условий, но антропогенный стресс как фактор, влияющий на ФА и, следовательно, на стабильность развития, изучен мало или недостаточно.

Причина этого - относительно редкая встречаемость популяций дуба в техногенно измененных условиях как вида требовательного к составу и характеру почвы.

В ряде работ ФА рассматривается как случайная модификационная и фенотипическая изменчивость, указывающая на отклонение в стабильности развития. Генетические свойства, например обусловленные гибридизацией видов, имеют более существенный эффект воздействия на ФА, чем эффект окружающей среды [5].

В настоящее время метод определения флуктуирующей асимметрии занял прочное место в арсенале современных подходов в анализе системы морфологических признаков и реакций на факторы среды с оперативным получением количественных результатов. Как следует из работ Захарова (2000-2001 гг.), а также Palmer, Strobeck (1992-2003 гг.), для биодиагностики подходят признаки, имеющие достоверность отличий и широкий диапазон колебания.

В последнее десятилетие основными токсинами атмосферного воздуха во Владимирской области являются оксиды углерода, азота и серы, образующиеся при сгорании автомобильного топлива, из-за возросшего числа автотранспорта.

Объемы транспортного загрязнения привлекают внимание как фактор, влияющий на состояние популяций дуба, находящихся как на территории городов, так и в лесных массивах.

По данным администрации области, в 2013 году количество выбросов от автомобилей превосходило объемы загрязняющих веществ от стационарных промышленных источников в 5,3–7,7 раза. Ландшафт, характер почвы и уровень залегания грунтовых вод – серьезные характеристики, оказывающие влияние на жизнеспособность популяций дуба, включая их устойчивость к паразитарным инфекциям и абиотическим факторам (низкие и высокие температуры, почвообразовательные процессы, ведущие к формированию водного режима, специфические микроклиматические и микробиотические условия).

В настоящей работе предпринята попытка определить эффект действия трех факторов: выбросов токсичных веществ от автотранспорта, от стационарных промышленных источников и от высоты рельефа на величину флуктуирующей асимметрии листовых пластин дуба черешчатого на территории Владимирской области. Под рабочей гипотезой формулировалось предположение о совместном действии поллютантов и характера рельефа на стабильность развития популяций дуба, что проявляется в увеличении флуктуирующей асимметрии листовых пластин. Теоретической предпосылкой являлось положение о стабильности развития, которое тестируется по отклонению от идеальной симметрии с помощью индекса ФА.

В задачу работы входил сбор листовых пластин, измерение и определение величины ФА нормирующим способом, как одним из наиболее объективных способов, постановка мультифакториального регрессионного анализа с использованием числовых значений трех факторов, тестирование эффекта действия этих факторов и их сочетаний, влияющих на стабильность развития, и обсуждение результатов.

Сбор материала

Сбор листовых пластин дуба черешчатого согласно общепринятой методике проводился на протяжении 2013-2014 гг. во Владимирской области. Гербаризировались по 100 листовых пластин от 10 деревьев из каждой популяции. Было использовано двадцать пять популяций из 9 районов Владимирской области; практически были взяты во внимание основные экосистемы, где встречается этот вид, как наиболее характерные для региона и отражающие специфику ландшафта и характера промышленной нагрузки на экосистему.

Сборы проводились главным образом из экосистем, классифицируемых как урочища полого наклонной поймы с ландышевыми дубравами на слабо аллювиальных глеевых супесчаных почвах не более чем в 2-3 км от автотрасс со средней или высокой транспортной нагрузкой. Образцы представляли собой листовые пластины с ясно выраженными парными

четырьмя лопастями. Проводилась съемка размеров признаков, дающих наименьший эффект присутствия направленной асимметрии или антисимметрии [1; 3] (рис. 1).



Рис. 1. Промеры, использованные для определения ФА: 1 – расстояние между окончаниями двеллярных элементов (второй и третьей лопасти); 2 – угол между рахисом и первой латеральной жилкой; 3 – длина жилки первой лопасти; 4 – расстояние между основаниями первых двух жилок

Методика исследования

Метод нормирующей разности

Показатель флуктуирующей асимметрии популяции находился как среднее арифметическое значение $ФА = |П - Л| / (П + Л)$, где П и Л – величины правого и левого признаков. Существенным дополнением к методике было то, что пластины собирались с шириной стороны листа 3.5-4.5 см. Этим преследовалась цель исключить вариацию в размерах, следовательно, уменьшить число выбраковываемых выборок, из-за возможной зависимости величины ФА от размеров признака. Измеряемые признаки проверялись на присутствие направленной асимметрии и антисимметрии. Направленная асимметрия (НА) тестировалась с помощью двухстороннего парного t -теста. При вероятности p менее 0.05 выборка отбраковывалась, как содержащая НА. Антисимметрия тестировалась нахождение значений эксцесса. Значительное отклонение от диапазона $(-2 \div 2)$ говорило о присутствии АнС. Значимость эксцесса проверялась также по t -критерию. Обе функции (t -тест и эксцесс) выполнялись в среде Excel (вкладка «функции»). Выборки ФА с признаками, содержавшие АнС или НА, не использовались в работе.

Предполагалось, что выборки представляют часть генеральной совокупности с нормально распределенными величинами и, следовательно, сохраняют свойства нормального распределения.

Регрессионный анализ

Использовался пакет анализа STATISTICA10 (StatSoft. Ink.), обобщенная линейная модель (GLM), факториальная регрессия. Критериальной функцией служила функция желательности, определяемая по формуле

$$D = \sqrt[n]{d_1 \times d_2 \times d_3},$$

где:

D – обобщенная функция желательности;

d_1, d_2, d_3 – частная функция желательности для трех факторов (высота рельефа, автовыбросы и выбросы стационарных источников);

n – число изучаемых факторов.

Частные функции желательности находились по формуле:

$$d = \exp(-\exp\{-y\}),$$

где: y – кодированное значение признака.

Значения факторов кодировались в значениях однотипной шкалы в диапазоне [0,1]. Значения около единицы являлись наиболее желательными в смысле максимального отклика наибольших значений ФА. Каждый из трех факторов сообщал о величине ФА при прочих фиксированных значениях. Обобщенная функция желательности – это одноплоскостная многозначная функция с нелинейной областью отклика. Она широко используется в экологии в качестве критерия оптимизации [2].

Результаты

Не было обнаружено четкой корреляции между размерами признаков $(\Pi + \text{Л})/2$ и величиной ФА этих признаков (коэффициент Пирсона меньше 0.7; $p > 0.05$).

Лишь отдельные признаки показали присутствие НА или АнС, они исключались, что несущественно влияло на результаты интегрального индекса всей популяции. Наименьшее отклонение в стабильности развития наблюдалось в населенных пунктах. Популяции городов показали высокий индекс флуктуирующей асимметрии вблизи крупных автотрасс. Наибольшее отклонение (более 0.064) получено только в крупных городах: Владимире, Коврове, и в Гусь-Хрустальном, располагающемся в Мещерской низменности. Однако были получены не только высокие значения индексов ФА в этих городах, что подтверждает неоднозначное мультифакторное влияние на стабильность развития этого растения. Результаты регрессионного анализа приведены в таблице.

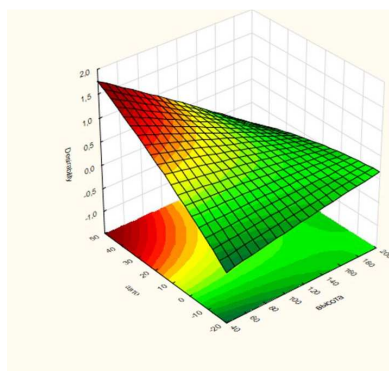
Результаты обобщенного регрессионного анализа влияния трех факторов на величину ФА

Факторы (источники вариации)	SS	df	MS	F	p
Высота рельефа	0,001	1	0,001	2,264	0,152
Выбросы авто	0,002	1	0,002	7,138	0,017
Индустр. выбросы	0,000	1	0,000	1,022	0,327
Высота рельефа × автовыбросы	0,002	1	0,002	6,614	0,020
Выбросы авто × индустр. выбросы	0,000	1	0,000	1,173	0,295
Выбросы авто × индустр. выбросы × высота рельефа	0,002	1	0,002	7,085	0,017
Ошибка	0,002	17	0,002		

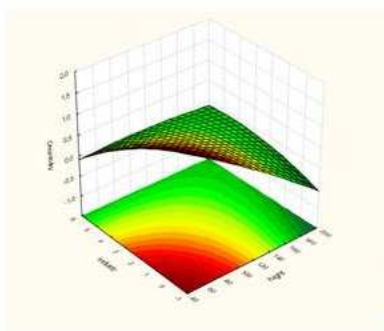
Обозначения: SS – сумма квадратов; df – степень свободы; MS – средний квадрат; F – критерий Фишера; p – вероятностный уровень.

Как следует из таблицы, выбросы от автомобилей оказывали наиболее сильный эффект на величину флуктуирующей асимметрии ($F = 7.14$; $p = 0.02$). Индустриальные выбросы в атмосферу не оказывали эффекта ($F = 1.12$; $p = 0.32$), но оказывали эффект в сочетании с другими факторами.

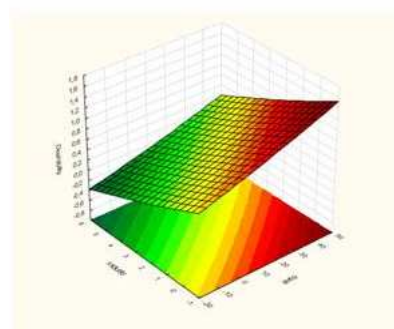
В трехмерном уровне значений функции желательности повышенная величина ФА была характерна для местности с высоким объемом автотранспортного загрязнения (более 30 тыс. тонн в год), с низкой высотой рельефа (менее 100 м) и с относительно невысокой нагрузкой со стороны индустриальных предприятий (рис. 2).



а



б



в

Рис. 2. Трехмерные профили функции желательности для взаимодействующих факторов: а – автовыбросы и высота рельефа; б – индустриальные выбросы и высота рельефа; в – индустриальные выбросы и автовыбросы. Красный цвет соответствует наибольшему отклику функции желательности, зеленый – наименьшему

Профиль функции был наибольшим при низких высотах рельефа и высоких значениях автовыбросов (а). Индустриальные выбросы соответствовали высокому профилю при

небольших значениях, но при высокой транспортной нагрузке (б). Автомобильные выбросы были эффективны в местности со слабой индустриальной нагрузкой (в).

Выводы

1. Дуб черешчатый как вид обладает биоиндикационными свойствами, т.к. флуктуирующая асимметрия его пластин отражает степень загрязнения атмосферного воздуха токсинами, находящимися в выбросах автотранспорта.
2. Токсины, образующиеся при сжигании автомобильного топлива, являются основным загрязнителем атмосферы в сочетании с фактором рельефа местности, и служат причиной снижения стабильности развития популяций дуба черешчатого.
3. Индустриальные выбросы от стационарных источников загрязнения не оказывают воздействия на стабильность развития популяций дуба черешчатого, что мы связываем с удаленностью популяций от этих источников загрязнения.
2. Регрессионный анализ с использованием функции желательности позволяет определять многофакторные эффекты абиотической среды, что является полезным в оценке стабильности развития популяций дуба черешчатого и экологического нормирования территорий.

Список литературы

1. Баранов С.Г. Исследование формы и асимметрии листовых пластин дуба черешчатого // Биозащита и биобезопасность. – 2014. - Т. VI. - № 4 (21). – С. 16-26.
2. Гелашвили Д.Б., Королев А.А., Басуров В.А. Зонирование территории по степени нагрузки сточными водами с помощью обобщенной функции желательности (на примере Нижегородской области) // Поволжский экологический журнал. – 2006. - № 2/3. – С. 129-138.
3. Гераськина Н.П. Оценка стабильности развития дуба черешчатого на территории национального парка «Орловское полесье» // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. Самарская Лука. – 2009. - Т. 18, № 3. – С. 240-244.
4. Захаров В.М. Онтогенез и популяция (стабильность развития и популяционная изменчивость) // Экология. – 2001. - № 3. – С. 177-191.
5. Albarrán-Lara A.L. et al. Leaf fluctuating asymmetry increases with hybridization and introgression between *Quercus magnoliifolia* and *Quercus resinosa* (Fagaceae) through an altitudinal gradient in Mexico // International Journal of Plant Sciences. – 2010. - V. 171, №. 3. – P. 310-322.

6. Fair J.M., Breshears D.D. Drought stress and fluctuating asymmetry in *Quercus undulata* leaves: confounding effects of absolute and relative amounts of stress? // Journal of Arid Environments. – 2005. - V. 62, №. 2. – P. 235-249.
7. Jose A. Hodar. Leaf fluctuating asymmetry of Holm oak in response to drought under contrasting climatic conditions // Journal of Arid Environments. – 2002. - 52. – P. 233-243.
8. Nuche P., Komac B., Camarer J.J., Alados C.L. Developmental instability as an index of adaptation to drought stress in a Mediterranean oak // Ecological Indicators. – 2014. - V. 40. – P. 68-75.

Рецензенты:

Мудрак Н.С., д.б.н., главный научный сотрудник референтной лаборатории вирусных болезней птиц ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных», г. Владимир;

Ларионов Н.П., д.м.н., профессор кафедры биологического образования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир.