

*Л.В. Голышкин  
М.Н. Кузнецов*

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ ЯБЛОНИ НА ПОВЫШЕННЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ  
МЕТОДОМ ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ**

УДК 634.11/.12:57.02:632.111

**Аннотация**

Использованный в работе метод флуктуирующей асимметрии листовых пластинок растений (ФА) подтвердил возможность использования яблони в качестве экологического биоиндикатора состояния окружающей среды. Показана реакция 16 сортов разного селекционного происхождения на экстремально высокие температуры лета 2010 года в сравнении с влиянием погодных условий соответствующих периодов 2008...2009 гг. Данные являются уникальными, поскольку дают возможность методом ФА определить реакции сортов яблони на сочетание высоких температур воздуха с резким дефицитом летних осадков. Показана дифференциация сортов по степени их устойчивости к повышенным температурам в естественных условиях, что дает основание для коррекции в селекционной практике.

**Ключевые слова:** яблоня, метод ФА, биоиндикация, реакция на высокие температуры воздуха.

*L.V. Golishkin  
M.N. Kuznetsov*

**THE INVESTIGATION OF APPLE TREE RESPONSE  
TO HIGH TEMPERATURES BY FLUCTUATING ASYMMETRY**

**Abstract**

The used method of fluctuating asymmetry of plant leaf blades (FA) confirmed the role of apple trees as a bioindicator of the environment. The response of 16 varieties with different selection origin on the extremely high summer temperatures of 2010 was shown with respect to the weather effects of the corresponding periods of 2008...2009. These data are unique because they provide an opportunity to determine the responses of apple varieties on the combination of high air temperatures with a sharp deficit of summer rainfalls by FA-method. The differentiation of the varieties is shown according to the degree of their hardiness to high temperatures under natural conditions, which gives grounds for the correction in the selection practice.

**Key words:** apple tree, FA-method, bioindication, response to high air temperatures.

**Введение**

Наиболее доступным способом оценки стабильности развития организмов является определение флуктуирующей асимметрии билатеральных морфопризнаков (в дальнейшем метод ФА) [1]. Для растительных объектов в этом отношении используется листовая пластинка [3]. Особенность упомянутого метода заключается в том, что отклонения в формообразовательном процессе билатеральных листьев могут прямо указывать на биоиндикаторный характер исследованных дикорастущих и сельскохозяйственных видов [2,

3, 5]. При этом результаты носят интегральный характер, поскольку одновременно определяют как общее состояние окружающей среды, так и уровень отклонений от нормы в оценке стабильности развития растительного организма в среде.

Температурные условия лета 2010 года резко отличались от таковых в 2008...2009 гг. Поэтому мы поставили перед собой цель проверить, как определяются и распределяются отклонения в формировании листовых пластинок яблони различных сортов в условиях повышенной атмосферной температуры лета 2010 года. Может ли яблоня как вид, в данном случае, служить биоиндикатором изменяющихся экологических условий при использовании метода флукутуирующей асимметрии листа.

### Материалы и методика исследований

Листья 16 сортов яблони садового массива ГНУ ВНИИСПК собирали в конце июля по 100 и более штук с дерева в средней части кроны. При этом отбирали только те листья, которые формировались в средней зоне однолетних вегетативных побегов [4]. Затем материал сканировали общепринятым способом (CanoScan 4200F, Япония). Режим сканирования – не менее 150 dpi в виде черно-белого или цветного изображения в формате BMP. Обработку сканированного материала осуществляли программой Golden Software Surfer 8. В результате всех расчетов получали усредненный коэффициент ФА листа по каждому сорту. Критерием служила ранее разработанная нами для яблони шкала оценки коэффициентов (или стабильности развития), по которой определялась связь ФА с действующим стрессовым фактором (повышенная температура воздуха) (таблица 1) [3].

Распределение коэффициентов ФА листьев различных сортов яблони отражали соответствующим графиком.

Таблица 1 – Шкала оценки отклонений состояния организма от условной нормы по величине интегрального показателя стабильности развития листа для яблони

Балл	Величина стабильности развития (ФА)	Связь ФА с интегрально действующими стрессовыми факторами среды (СФ)
I	$\leq 0,100$	Норма
II	0,100...0,119	переход к СФ
III	0,120...0,139	СФ
IV	0,140...0,159	возрастание СФ
V	$\geq 0,159$	критическое СФ

### Результаты и их обсуждение

В ходе обработки данных наблюдений установили, что средняя июльская температура воздуха в 2008...2009 гг. составила +19,5, а в 2010 – +24,2°C. При этом выпавшие за этот период осадки составили в первом случае 27,5, во втором – всего 3,5 мм. Таким образом, увеличение температуры воздуха и падение количества осадков по годам находятся в сильной обратной связи при коэффициенте корреляции, близком по абсолютной величине к  $R = 1$ .

В таблице 2 представлены значения коэффициентов ФА в среднем за 2008...2009 гг. и отдельно – за 2010 г. В каждой из групп происхождения сорта располагаются по убывающей величине листовых коэффициентов ФА в 2010 г.

Прежде всего, обратим внимание на усредненные коэффициенты ФА за 2008...2009 гг. Здесь практически все значения имеют балл не выше II, что означает переход к стрессовому фактору (СФ), но не более. Действительно, в условиях садового массива ГНУ ВНИИСПК эти годы не отличались экстремальными значениями каких-либо стрессовых воздействий. Сорт Память воину вообще имел средний балл I (0,1000), т.е. его состояние в

эти годы приравнялось к полностью нормальному. Остальные сорта отнесены во вторую группу шкалы (II балла), что также соответствует практически норме или только переходу к стрессовому воздействию среды.

Таблица 2 – Коэффициенты флуктуирующей асимметрии листьев сортов яблони (2008...2010)

Сорта	Годы изучения		Происхождение сортов [6]
	2008...2009	2010	
Группа Кандиль-китайки			
Синап орловский	0,1003	0,1124 (II**)	Синап северный × Память Мичурина
Синап северный	0,1047	0,1113 (II)	Кандиль-китайка – св.оп
Группа яблони обильноцветущей			
Солнышко	0,1037	0,1256 (III)	814-св.оп.
Кандиль орловский	*	0,1170 (II)	1924-св.оп.
Курнаковское	*	0,1152 (II)	814-св.оп.
Строевское	*	0,1096 (II)	814-св.оп.
Группа Антоновки			
Антоновка	0,1167	0,1200 (III)	Народная селекция
Имрус	*	0,1173 (II)	Антоновка обыкнов. × OR18T13
Память Исаева	*	0,1113 (II)	Антоновка краснобочка × SR0523
Группа Мекинтош			
Орлик	0,1121	0,1183 (II)	Мекинтош × Бессемянка Мичур.
Орловское полосатое	0,1079	0,1033 (II)	Мекинтош × Бессемянка Мичур.
Сорта старой селекции			
Пепин шафранный	0,1080	0,1457 (IV)	Ренет Орлеанский × (Пепин английский × китайка)
Осеннее полосатое (Штрейфлинг)	0,1127	0,1211 (III)	Народная селекция
Сорта селекции ВНИИСПК – вне групп			
Памяти Хитрово	*	0,1213 (III)	OR18T13-св.оп.(M. atrosanguinea 804)
Память воину	0,1000	0,1164 (II)	Уэлси × Антоновка обыкновенная
Болотовское	*	0,1004 (II)	Скрыжапель × 1924

\* данные отсутствуют

(\*\*) - балл состояния по шкале ФА

В интерпретации полученных данных следует учесть неоднородность ландшафта, различие фоновых характеристик, когда состояние сорта незначительно, но всё же отличается по жизнедеятельности в разных кварталах садового массива. Кроме того, сезон вегетации 2008 г. был наиболее благоприятным для яблони, а в 2009 г. отмечались периоды засухи на фоне дефицита тепла. Интересно, что у старого сорта Антоновка в эти годы коэффициент ФА листьев был выше, чем у остальных, незначительно варьировал, и составлял всего два балла по шкале оценки (рисунок 1). Показатели ФА в указанные годы были также относительно стабильны у сортов Осеннее полосатое, Синап северный, Орловское полосатое, и заметно варьировали у Пепина шафранного, Солнышка, Памяти воину, Орлика, Синапа орловского. Причем асимметрия листовых пластинок в 2009 г. возросла у сортов Орлик, Пепин шафранный, Синап орловский, Синап северный, и уменьшилась у сортов Солнышко и Память воину.

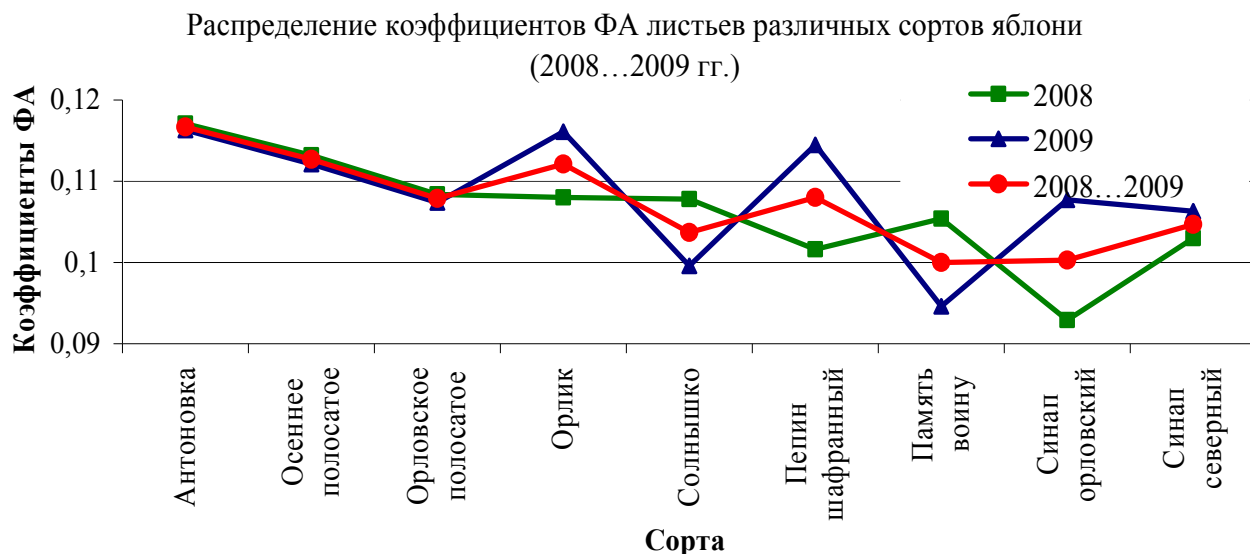


Рисунок 1 – Эмпирические линии регрессии (флуктуирующая асимметрия листьев различных сортов яблони 2007...2008 гг. исследования)

Варьирование коэффициента ФА в диапазоне I-II балла по шкале оценки означает, что в 2008 и 2009 гг. в садовом массиве ВНИИСПК мы имели практически интегральную норму по состоянию среды и растений.

В условиях горячей засухи 2010 г. почти не изменились значения ФА у Антоновки и Синапа северного, но резко возросли у сортов Пепин шафранный, Солнышко, Память воину (рисунок 2).

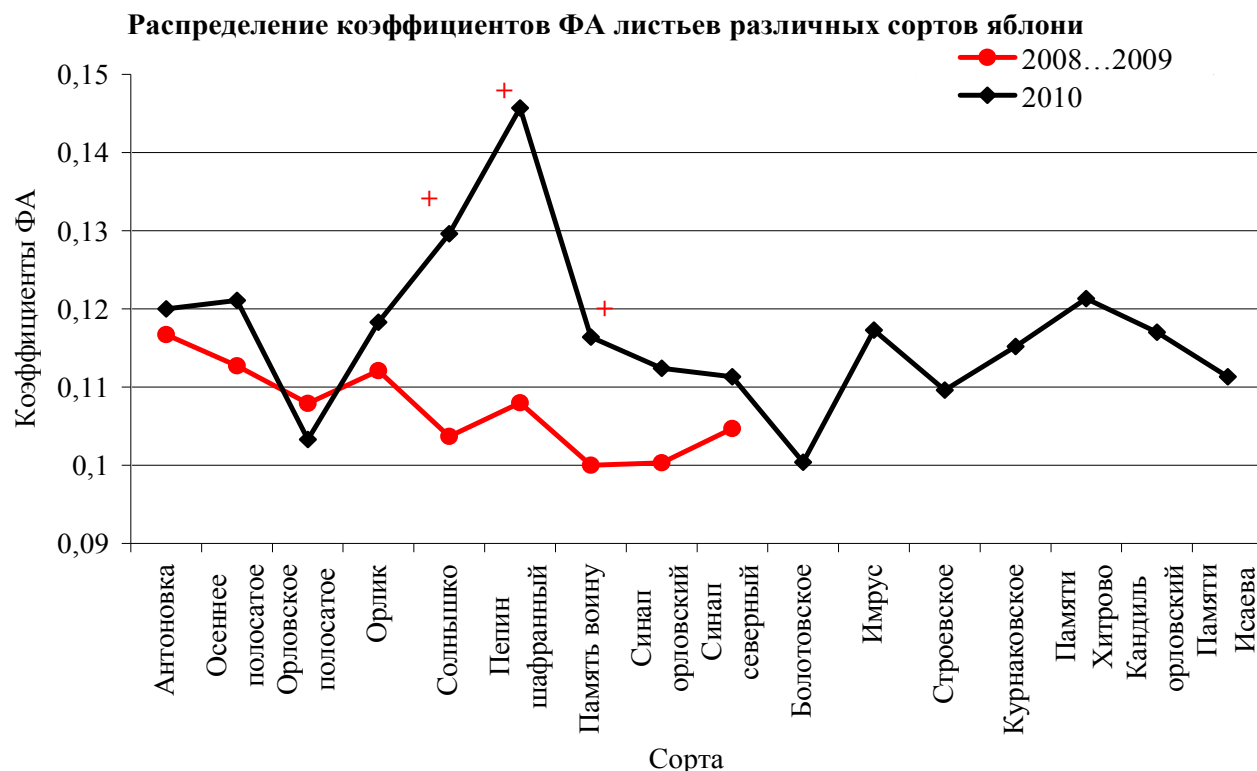


Рисунок 2 – Эмпирические линии регрессии (флуктуирующая асимметрия листьев различных сортов яблони) в разные годы наблюдений. «+» - отмечены сорта с достоверно различающимися показателями ФА

Динамическое нарастание значений коэффициента ФА в 2010 году для трех последних сортов находится на достоверном уровне критерия Стьюдента ( $t$ ) ( $P = 0,95$ ). Исходя из приведенных данных, полученных с помощью метода ФА, наиболее эффективными указателями неблагополучия экологической обстановки в саду по факторам высокой температуры и засухи могут служить сорта Пепин шафранный, Солнышко, Память воину.

Уровень стрессовой реакции продемонстрировали сорта Памяти Хитрово, Осеннее полосатое. Асимметрия листьев Антоновки соответствовала нижнему пределу III баллов, но в полосу выраженного стресса сорт еще не попадает. Видимо, так сказывается обстоятельство давности сортового происхождения: за период существования Антоновка устойчиво адаптировалась к широкому пределу колебаний погодных условий.

В таблице 2 и на рисунке 2 для ряда сортов не приведены значения коэффициентов ФА. Действительно, сорта Болотовское, Имрус, Строевское, Курнаковское, Памяти Хитрово, Кандиль орловский, Память Исаева методом ФА исследовались нами только в 2010 году. Это практически не мешает нам дать оценку состояния растений этих сортов на фоне действия высокой температуры, поскольку шкала отклонений организма яблони от условной нормы остается неизменной (табл.1). Дефицит данных приводит только к отсутствию информации о динамике изменения ФА сортов по годам, что, в целом, не мешает интегральной оценке состояния окружающей среды и растений яблони в условиях 2010 года. У сортов диапазона «Антоновка – Синап Северный», обладающих параллельным сравнительным графиком распределения 2008...2009 гг., коэффициенты ФА 2010 года выше, за исключением сорта Орловское полосатое. В целом, только сорта Болотовское и Орловское полосатое остаются по определению коэффициентов ФА на грани перехода от нормы, т.е. слабо реагируют на резкое повышение атмосферной температуры летом 2010 года.

Наличие значительного количества сортов, полученных из семян от свободного опыления, позволяет судить только о степени влияния материнской формы на проявление признаков жаростойкости и засухоустойчивости. Присутствие в экстремальном 2010 г. в каждой из групп сортов, как переходящих в состояние стресса (II балла), так и уже испытывающих стресс (III балла), указывает на их различие в адаптивности к горячей засухе, не зависящее от материнского компонента скрещивания.

В группе кандиль-китайки Синап Орловский и Синап Северный не выходят за пределы перехода к стрессовому фактору.

В группе яблони обильноцветущей только сорт Солнышко показал коэффициент ФА на уровне действия стрессового фактора, остальные сорта остаются в пределах перехода к стрессу.

В группе Антоновки только сорт Антоновка имеет балл ФА равный III, остальные сорта находятся в переходном пределе.

В группе Мекинтош, при наличии одинаковых родительских форм, оба сорта не выходят за пределы перехода к стрессовому фактору (II балла). Орлик повысил значение показателя ФА относительно предыдущих лет. Оригинальна реакция на абиотический стресс у сорта Орловское полосатое: в отличие от всех изученных генотипов, за 3 года наблюдений его показатель ФА стабильно снижался, и минимальным был именно в экстремальное лето 2010 г., хотя разница в его значениях математически недостоверна.

Сорта старой селекции Пепин шафранный, Осеннее полосатое (Штрейфлинг) по ФА листьев входят в стрессовую группу (III...IV балла шкалы). Таким образом, они являются более подверженными действию высоких температур воздуха, т.е. более неустойчивыми к этому стрессору.

Обсуждая полученные результаты, акцентируем внимание на проблему климатических изменений в настоящем там, где традиционно экологические аномалии не

отмечались или возникали достаточно редко.

До настоящего времени основное внимание уделяется наличию у новых сортов яблони высоких показателей зимостойкости. Полученные нами результаты указывают на участвовавший по ряду лет негативный эффект высокой летней температуры и дефицита осадков, поэтому жаростойкость и засухоустойчивость сортов должны также стать объектами повышенного внимания селекционеров.

### Выводы

На изменение абиотических факторов, действующих в период вегетации, яблоня как видовой экологический индикатор, реагирует отклонением в билатеральной симметрии листовых пластинок (уровень подобной реакции определяется методом ФА).

Выявлена сортовая специфичность в указанной реакции: интенсивно изменяющиеся показатель ФА листа сорта (Пепин шафранный, Солнышко, Память воину) могут указывать на возникновение стрессовой ситуации в садовом насаждении (экологическое состояние окружающей среды).

Большинство изученных сортов яблони обладает устойчивостью к сочетанию высоких температур с дефицитом осадков, о чем свидетельствуют их значения ФА – на уровне перехода к стрессовому состоянию – в экстремальное лето 2010 года (оценка стабильности развития организмов).

В последние годы устойчивая тенденция климатических изменений в средней полосе РФ указывает на необходимость создания новых сортов яблони с высоким уровнем адаптации к жарким и засушливым условиям вегетации.

Непосредственная связь между происхождением сортов и степенью их устойчивости к абиотическому стрессу не установлена. Тем не менее, следует уделять больше внимания оценке жаростойкости и засухоустойчивости элитных форм яблони, отдавая предпочтение генотипам с высокими показателями указанных признаков.

### Литература

1. Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В., Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Чубинишвили А.Т. Здоровье среды: методика оценки. – Москва: Центр экологической политики России, 2000. – 26 с.
2. Константинов Е.Л. Особенности флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth.) как вида биоиндикатора. Автореф. канд. дисс. – Калуга, 2001. – 21 с.
3. Кузнецов М.Н., Гольшкин Л.В. Сравнительная характеристика особенностей флуктуирующей асимметрии листьев яблони в разных экологических условиях // Сельскохозяйственная биология. – №.3. – 2008. – 72-77 с.
4. Кузнецов М.Н., Гольшкин Л.В., Долматов Е.А. Методические указания по определению величины флуктуирующей асимметрии листа яблони. – Орел: ВНИИСПК, 2009. – 19 с.
5. Марченко С.И. Эстетика и оптимизация природопользования: методические указания по НИРС. – Брянск: БГИТА, 2005. – 14 с.
6. Помология. Яблоня. Т.1.(под ред. акад. Е.Н.Седова) – Орел: ВНИИСПК, 2005. – 576 с.