

УДК 634.10: 631.524.85: 581.1.032

## **Оценка степени повреждения побегов краснолистных и зеленолистных сортов яблони морозом с использованием системы визуализации флуоресцентных изображений их срезов**

А.Н. Юшков<sup>1</sup> , Н.В. Борzych<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина», 393770, ул. Мичурина, 30, г. Мичуринск, Тамбовская область, Россия, [info@fnc-mich.ru](mailto:info@fnc-mich.ru)

### **Аннотация**

При диагностике уровня зимостойкости плодовых растений общепринят метод прямого лабораторного промораживания. Степень повреждения тканей при этом оценивается визуально, по степени их побурения. Оценка краснолистных форм этим методом затруднена, т.к. содержащийся в побегах антоциан маскирует побурение поврежденных тканей. Большую популярность в физиологических исследованиях по оценке функционального состояния растений получил метод визуализации флуоресценции хлорофилла, зарекомендовавший себя как надежный инструмент выявления реакции растений на изменения окружающей среды, в том числе на холодовой стресс. В этой связи целью исследований являлась оптимизация способа оценки повреждений после искусственного промораживания по уровню угнетения фотосинтетической активности тканей однолетних побегов. Работа выполнена на базе Селекционно-генетического центра ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина», расположенного в г. Мичуринске Тамбовской области в 2021...2023 годах. Исследования проведены на зеленолистных (Антоновка обыкновенная, Вымпел, Рашида) и краснолистных (Ola, Royalty, 54-118) формах яблони с различной степенью зимостойкости. Методом искусственного промораживания была проведена оценка устойчивости исходных форм яблони по максимальной устойчивости в середине зимы. Параллельно оценивали степень повреждения побегов по флуоресцентным изображениям срезов однолетних побегов, сформированных на основе визуализации квантового выхода нефотохимического тушения. Установлено, что повреждение тканей побега оказывает существенное влияние на параметры флуоресценции хлорофилла. Предложен способ, позволяющий более объективно по сравнению с глазомерной оценкой определять уровень зимостойкости сортов, что особенно актуально для краснолистных генотипов яблони.

**Ключевые слова:** яблоня, сорта, зимостойкость, флуоресценция хлорофилла, искусственное промораживание, нефотохимическое тушение

## **The assessment of the degree of frost damage in shoots of red-leaved and green-leaved apple cultivars using a fluorescence imaging system of their cross-sections**

A.N. Yushkov<sup>1</sup> , N.V. Borzykh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>I.V. Michurin Federal Scientific Center, 393770, ul. Michurina, 30, Michurinsk, Tambov region, Russia, [info@fnc-mich.ru](mailto:info@fnc-mich.ru)

### **Abstract**

When diagnosing the level of winter hardiness of fruit plants, the method of direct laboratory freezing is generally accepted. The degree of tissue damage is assessed visually according to the degree of browning. The assessment of red-leaved forms by this method is difficult, because the anthocyanin contained in the shoots disguises the browning of damaged tissues. The method of chlorophyll fluorescence visualization, which has proven itself as a reliable tool for detecting plant

reactions to environmental changes, including cold stress, has gained great popularity in physiological studies to assess the functional state of plants. In this regard, the aim of the research was to optimize the method of assessing damage after artificial freezing by the level of inhibition of photosynthetic activity of tissues of annual shoots. The work was carried out on the basis of the Breeding and Genetic Center of the I.V. Michurin Federal Research Center, located in Michurinsk, Tambov region in 2021—2023. The study was carried out on green-leaved (Antonovka Obyknovennaya, Vympel, Rashida) and red-leaved (Ola, Royalty, 54-118) forms of apple trees with varying degrees of winter hardiness. By the method of artificial freezing, the stability of the initial apple forms was assessed for maximum stability in the middle of winter. Simultaneously, the degree of shoot damage was assessed based on fluorescent images of cross-sections of one-year-old shoots formed through visualization of the quantum yield of non-photochemical quenching. It was found that damage to the shoot tissues had a significant effect on the parameters of chlorophyll fluorescence. A method is proposed that makes it possible to determine the level of winter hardiness of apple cultivars more objectively than an eye-measuring assessment, which is especially important for red-leaved genotypes of apple trees.

**Key words:** apple, cultivars, winter hardiness, chlorophyll fluorescence, artificial freezing, non-photochemical quenching

### **Введение**

Неблагоприятные условия в период перезимовки – один из главных факторов, лимитирующих распространение, продуктивность и долговечность сортов яблони в средней зоне садоводства РФ. Сильные морозы, резкие снижения температуры, особенно после оттепелей, наносят серьезный урон насаждениям плодовых растений. Поэтому подтвержденная зимостойкость – один из ключевых параметров для успешной интеграции нового сорта в технологическую схему производственного процесса. В связи с невозможностью прогнозирования наступления пороговых значений повреждающих факторов и множественностью потенциальных факторов повреждения при диагностике уровня зимостойкости общепринят метод прямого лабораторного промораживания (Тюрина и др., 2002; Кичина, 2011, Ожерельева и др., 2019). Этот метод дает возможность оперативно получить информацию о зимостойкости генотипов по основным ее компонентам. Степень устойчивости тканей при этом оценивается визуально, по степени их побурения после искусственного промораживания и отращивания. При этом глазомерная оценка зеленолистных сортов яблони обычно затруднений не вызывает, но при изучении краснолистных форм, в побегах которых содержится антоциан, маскирующий побурение поврежденных тканей, возникают определенные сложности. Трудно определить, является ли буровато-красный цвет древесины побега следствием воздействия низких температур или же эта окраска характерна для него изначально. Указанная проблема особенно важна в селекции декоративных форм при оценке большого количества гибридов. Поэтому представляется актуальным поиск новых подходов по определению степени повреждения тканей побега морозом.

К настоящему времени большую популярность в физиологических исследованиях по оценке функционального состояния растений получил метод визуализации флуоресценции хлорофилла, зарекомендовавший себя как надежный инструмент выявления реакции растений на изменения окружающей среды (Oxborough, 2004; Woo et al., 2008; Gorbe, Calatayud, 2012; Murchie, Lawson, 2013; Chen et al., 2014; da Silva, 2016; Yao et al., 2018). Данный метод сыграл как важную роль в понимании фундаментальных механизмов фотосинтеза, так и в изучении прикладных его аспектов. Обычно в качестве объекта таких исследований используют листья. Однако в ряде работ отечественных исследователей

(Волгушева и др., 2009; Орехов, Козлов, 2010; Орехов, Калабин, 2013) показана перспективность выявления экологической пластичности хвойных и лиственных пород по флуоресцентным характеристикам одревесневших тканей. Отмечено наличие взаимосвязи между функционированием фотосинтетического аппарата в покое и амплитудно-кинетической характеристикой индукции флуоресценции хлорофилла (Соловченко и др., 2022). В наших исследованиях, проведенных ранее, установлено достоверное снижение фотосинтетической активности в хлорофилл содержащих тканях побегов (максимальный квантовый выход на 14,9...64,4%; скорость электронного транспорта на 3,0...98,0%) у замороженных побегов яблони и груши (Юшков и др., 2012).

В этой связи целью наших исследований являлась оптимизация способа оценки повреждений после искусственного промораживания по уровню угнетения фотосинтетической активности тканей однолетних побегов.

### **Материалы и методика**

Работа выполнена в 2021...2023 годах на базе Селекционно-генетического центра ФГБНУ ФНЦ им. И.В. Мичурина, расположенного в г. Мичуринске Тамбовской области. Исследования проводились на трех зеленолистных (Антоновка обыкновенная, Вымпел, Рашид) и трех краснолистных (Ola, Royalty, 54-118) формах яблони, существенно различающихся по зимостойкости. Изучение устойчивости указанных генотипов к морозу проводилось методом прямого лабораторного промораживания, предложенным М.М. Тюриной, Г.А. Гоголевой (1978), М.М. Тюриной с сотрудниками (2002). Температура промораживания – минус 40°C (второй компонент зимостойкости). Стандартную закалку побегов проводили в климатической камере MLR-350 Sanyo, потенциал зимостойкости определялся в климатической камере тепла и холода CM-60/100-250TX. Уровень повреждений оценивали анатомическим методом по степени естественного побурения тканей с учетом площади повреждений и их интенсивности согласно общепринятой балльной шкале: 0 баллов – признаки повреждения отсутствуют, 5 баллов – ткань полностью погибла. Параллельно с глазомерной оценкой повреждений проводилась диагностика фотосинтетической активности срезов однолетних побегов до и после промораживания. Как и в варианте с глазомерной оценкой по методике М.М. Тюриной, Г.А. Гоголевой (1978) оценивали по пять побегов одного сорта, при этом на каждом побеге выполняли измерения оптических характеристик на трех срезах (верхняя, средняя и нижняя часть побега).

Флуоресцентные исследования осуществляли с помощью системы визуализации флуоресцентных изображений IMAGING-PAM-series и прикладной программы ImagingWin (HeinzWalzGmbH). Использовался метод импульсной амплитудно-модулированной флуориметрии, подробно описанный U. Schreiber (2004). Объекты подвергали воздействию серии насыщающих импульсов (12 импульсов по 60 мс, длительностью 720 мс, интенсивностью 2700 мкмоль/м<sup>2</sup>с, интервал между вспышками 20 с). Параметры измерительного света – 0,5 мкмоль/м<sup>2</sup>с, 450 нм, 1 Гц.

Оценку проводили по параметру «квантовый выход нефотохимического тушения флуоресценции», так как в исследованиях, проведенных нами ранее, была подтверждена информативность этого показателя при оценке засухоустойчивости (Юшков и др., 2023).

### **Результаты и их обсуждение**

Методом искусственного промораживания была проведена оценка устойчивости исходных форм яблони по максимальной устойчивости в середине зимы. Кора и камбий в закаленном состоянии обладают высокой устойчивостью и не повреждались у всех изученных форм. Выявлены существенные различия по устойчивости древесины (таблица 1).

Таблица 1 – Степень повреждения тканей исходных форм яблони после искусственного промораживания при температуре минус 40°C

| Сорт, форма            | Кора | Камбий | Древесина | Сердцевина | Почки | Средний балл повреждения |
|------------------------|------|--------|-----------|------------|-------|--------------------------|
| 54-118                 | 0    | 0      | 1,8       | 1,6        | 1,1   | 0,85                     |
| Антоновка обыкновенная | 0    | 0      | 0,5       | 0,2        | 0,6   | 0,18                     |
| Вымпел                 | 0    | 0      | 2,0       | 0,7        | 1,7   | 0,68                     |
| Ola (Ола)              | 0    | 0      | 1,7       | 1,2        | 1,1   | 0,73                     |
| Рашида                 | 0    | 0      | 2,7       | 1,9        | 3,2   | 1,20                     |
| Royalty (Роялти)       | 0    | 0      | 1,8       | 1,6        | 1,9   | 0,85                     |
| HCP <sub>0,05</sub>    | 0    | 0      | 0,11      | 0,09       | 0,15  | 0,10                     |

Примечание: статистическая обработка проводилась в соответствии с методикой М.М. Тюриной, Г.А. Гоголевой (1978)

Из данных, представленных в таблице 1 следует, что наибольшей устойчивостью древесины характеризовалась Антоновка обыкновенная – отмечены небольшие повреждения до 0,5 балла). Почки у этого сорта также повреждались незначительно (0,6 балла). Меньшей морозоустойчивостью тканей и почек характеризовались сорта и формы Вымпел, Ola, Royalty, 54-118 (подмерзание древесины 1,7...2,0 балла, почек – 1,7...2,0 балла). Максимальные повреждения отмечены у киргизского сорта Рашида (подмерзание древесины 2,7 балла, почек – 3,2 балла), что представляется вполне закономерным, учитывая его происхождение от незимостойких сортов (Апорт Александр × Jonathan).

Как уже отмечалось, наряду с визуальной оценкой повреждений по их площади и интенсивности побурения тканей проводилось изучение флуоресцентной активности срезов однолетних побегов в сравнении с контрольным вариантом (рисунок 1).

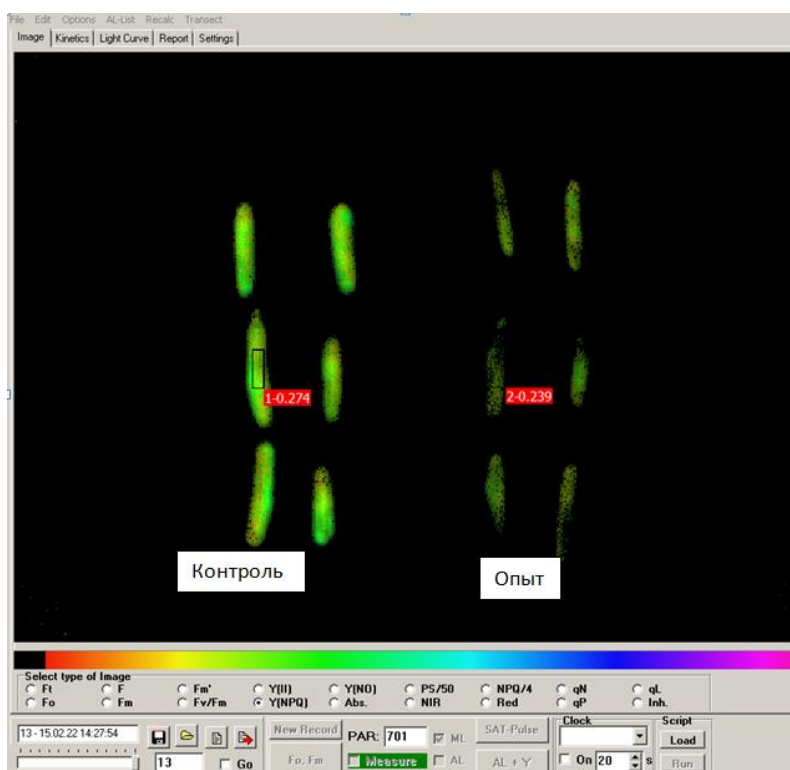


Рисунок 1 – Визуализация квантового выхода нефотохимического тушения флуоресценции яблони Royalty, (метод «световой кривой», после искусственного промораживания при температуре минус 40°C, срезы однолетних побегов, часть выборки)

В результате проведенных исследований установлено, что повреждение тканей побега оказывает существенное влияние на параметры флуоресценции хлорофилла. Так, максимальное снижение квантового выхода, регулируемого нефотохимического тушения флуоресценции отмечено у наиболее чувствительного к морозу сорта из изученных (Рашида), минимальное – у самого зимостойкого (Антоновка обыкновенная) (рисунок 2).

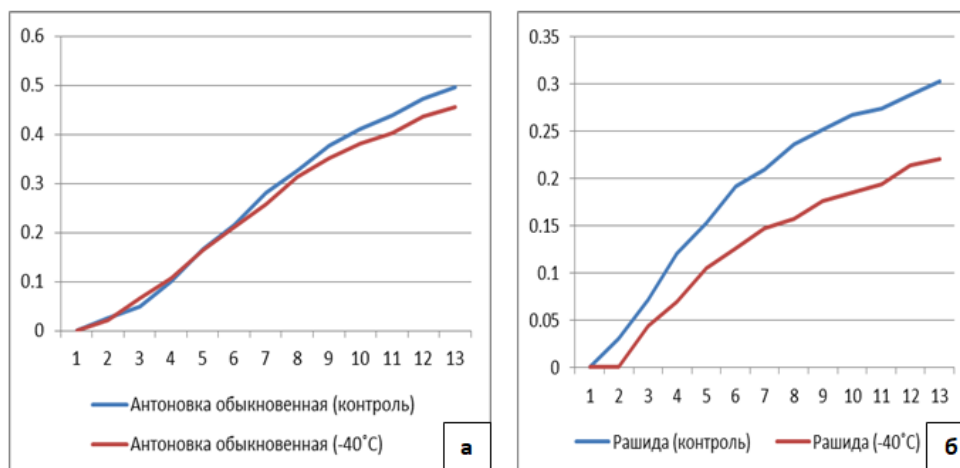


Рисунок 2 – Снижение квантового выхода нефотохимического тушения флуоресценции у зимостойкого (а) и незимостойкого (б) сортов яблони после промораживания при температуре минус 40°C (горизонтальная ось – количество насыщающих вспышек, вертикальная уровень квантового выхода нефотохимического тушения флуоресценции, усредненные данные)

На рисунке 2 представлены кривые, характеризующие динамику квантового выхода нефотохимического тушения флуоресценции фотосистемы II для контрольных и промороженных однолетних побегов. В варианте «а» отсутствие значимых различий между кривыми свидетельствует о минимальном влиянии мороза на фотосинтезирующие ткани, в варианте «б» наглядно видно снижение фотосинтетической активности после воздействия этого повреждающего фактора на побеги незимостойкого сорта.

Для количественной оценки степени снижения квантового выхода нефотохимического тушения флуоресценции поврежденных морозом побегов по сравнению с контролем был проведен кластерный анализ и попарно рассчитаны евклидовы расстояния между световыми кривыми (контрольными и опытными). Это позволило выявить степень угнетения фотосинтетической активности в хлорофиллсодержащих тканях побегов и отразить ее в условных единицах. Данные, полученные на основе сопоставления ковариационной матрицы с результатами промораживания, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние степени повреждения морозом однолетних побегов яблони на квантовый выход нефотохимического тушения флуоресценции

| Сорт, форма            | Повреждение древесины | Средний балл повреждений по тканям | Евклидово расстояние |
|------------------------|-----------------------|------------------------------------|----------------------|
| 54-118                 | 1,8                   | 0,85                               | 0,46                 |
| Антоновка обыкновенная | 0,5                   | 0,18                               | 0,21                 |
| Вымпел                 | 2,0                   | 0,68                               | 0,36                 |
| Ola                    | 1,7                   | 0,73                               | 0,61                 |
| Рашида                 | 2,7                   | 1,20                               | 2,12                 |
| Royalty                | 1,8                   | 0,85                               | 0,53                 |

Примечание: Евклидово расстояние между «световыми кривыми» контрольного и опытного вариантов, сформированных на основе визуализации квантового выхода нефотохимического тушения флуоресценции

Из данных таблицы 2 видно, что более поврежденным морозом сортам соответствует и больший показатель расстояния, т.е. степень угнетения активности фотосинтетического аппарата. Для подтверждения взаимосвязи между степенью повреждения однолетних побегов и рассчитанным показателем евклидова расстояния были определены коэффициенты ранговой корреляции (таблица 3). Отмечены высокие и статистически достоверные ( $P < 0,05$ ) значения коэффициентов корреляции между квантовым выходом, уровнем повреждения древесины (0,95) и средним баллом повреждения тканей (0,82).

Таблица 3 – Матрица корреляций зависимости между степенью повреждения побегов яблони и квантовым выходом нефотохимического тушения ( $Y(NPQ)$ ) после искусственного промораживания (II компонент зимостойкости, минус 40°C)

|                                    | Повреждение<br>древесины | Средний балл<br>повреждений по тканям | $Y(NPQ)$ |
|------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|----------|
| Повреждение древесины              | 1                        |                                       |          |
| Средний балл повреждений по тканям | 0,87*                    | 1                                     |          |
| NPQ                                | 0,95*                    | 0,82*                                 | 1        |

Примечания: \* – достоверно при уровне значимости 0,05 (критическое значение  $p_{0,05} = 0,47$ )

Таким образом, проведенные исследования показали возможность успешной оценки повреждений побегов яблони морозом по изменению их флуоресцентных характеристик. При этом очевидна необходимость дальнейших исследований для более подробного изучения вопроса взаимосвязи между повреждением тех или иных тканей и показателями флуоресценции хлорофилла.

### Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что повреждение тканей побега оказывает существенное влияние на параметры флуоресценции хлорофилла. Выявлена степень повреждения ряда зеленолистных и краснолистных сортов и форм яблони в условиях искусственного промораживания по флуоресцентным изображениям срезов однолетних побегов, сформированных на основе визуализации квантового выхода нефотохимического тушения. Предложенный способ позволяет более объективно по сравнению с глазомерной оценкой определять уровень зимостойкости сортов и форм, что особенно актуально для краснолистных генотипов яблони.

### Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «FGSU-2022-0001 Провести скрининг генетических ресурсов культурных растений, диких видов и их производных с целью формирования исследовательско-селекционных коллекций садовых культур. Выявить вариативность экономически важных и селекционно-значимых признаков, выделить перспективные для дальнейшего использования генотипы».

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Литература

1. Волгушева А.А., Яковлева О.В., Конюхов И.В., Ризниченко Г.Ю., Кренделева Т.Е., Гун-Аажав Т., Борданова О.С., Баттулга С., Рубин А.Б. Изучение параметров флуоресценции хлорофилла хлоропластов коры деревьев тополя, растущих в разных районах города Улан-Батор // Математика. Компьютер. Образование: материалы конференции. Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2009. 2. 180-197. <https://mce.su/archive/doc60858/doc.pdf>

2. Кичина В.В. Принципы улучшения садовых растений. М., 2011. 528. <https://www.elibrary.ru/qcnxzp>
3. Ожерельева З.Е., Галашева А.М., Красова Н.Г. Изучение зимостойкости яблони в контролируемых условиях // Современное садоводство. 2019. 4. 33-41 <https://www.elibrary.ru/ylrmgi>
4. Орехов Д.И., Козлов Ю.П. Изучение параметров флуоресценции хлорофилла в листьях древесных растений, растущих в условиях г. Москвы // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2010. №4. 23-28. <https://www.elibrary.ru/mvuodt>
5. Орехов Д.И., Калабин Г.А. Выбор флуоресцентного фитоиндикатора техногенных загрязнений // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2013. 4. 51-59. <https://www.elibrary.ru/rleaij>
6. Соловченко А.Е., Ткачев Е.Н., Цуканова Е.М., Шурыгин Б.М., Хрущев С.С., Конюхов И.В., Птушенко В.В. Зимний покой древесных растений и его неинвазивный мониторинг // Вестник Московского университета. Серия 16: Биология. 2022. 77, 2. 51-64. <https://www.elibrary.ru/qrjkhv>
7. Тюрина М.М., Гоголева Г.А. Ускоренная оценка зимостойкости плодовых и ягодных растений. Методические рекомендации. М., 1978. 38.
8. Тюрина М.М., Гоголева Г.А., Ефимова Н.В., Голоулина Л.К., Морозова Н. Г., Эчеиди Й.Й., Волков Ф.А., Арсентьев А.П., Матяш Н.А. Определение устойчивости плодовых и ягодных культур к стрессорам холодного времени года в полевых и контролируемых условиях. М.: ВСТИСП, 2002. 120.
9. Юшков А.Н., Чивилёв В.В., Борzych Н.В., Земисов А.С. Оценка степени повреждения плодовых растений морозом с использованием метода определения интенсивности флуоресценции хлорофилла // Плодоводство и ягодоводство России. 2012. 34. 406-411. <https://www.elibrary.ru/paeqtf>
10. Юшков А.Н., Борzych Н.В., Богданов Р.Е. Оценка засухоустойчивости сортов сливы домашней методом индукции флуоресценции хлорофилла // Journal of Agriculture and Environment. 2023. 3. 4. <https://doi.org/10.23649/jae.2023.31.3.004>
11. Chen D., Neumann K., Friedel S., Kilian B., Chen M., Altmann T., Klukas C. Dissecting the phenotypic components of crop plant growth and drought responses based on high-throughput image analysis // The Plant Cell. 2014. 26, 12. 4636-4655. <https://doi.org/10.1105/tpc.114.129601>
12. da Silva J.M. Monitoring photosynthesis by in vivo chlorophyll fluorescence: application to high-throughput plant phenotyping // Applied Photosynthesis – New Progress. InTechOpen, 2016 <http://dx.doi.org/10.5772/62391>
13. Gorbe E., Calatayud A. Applications of chlorophyll fluorescence imaging technique in horticultural research: a review // Scientia Horticulturae. 2012. 138. 24-35. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.02.002>
14. Murchie E.H., Lawson T. Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications // Journal of Experimental Botany. 2013. 64, 13. 3983-3998. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert208>
15. Oxborough K., Imaging of chlorophyll a fluorescence: theoretical and practical aspects of an emerging technique for the monitoring of photosynthetic performance // Journal of Experimental Botany. 2004. 55, 400. 1195-1205. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh145>
16. Schreiber, U. Pulse-Amplitude-Modulation (PAM) fluorometry and saturation pulse method: an overview. // Chlorophyll a Fluorescence. Advances in Photosynthesis and Respiration / Eds. G.C. Papageorgiou, Govindjee. Springer. 2004. 19. 279-319. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3218-9\\_11](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3218-9_11)

17. Woo N.S., Badger M.R., Pogson B.J. A rapid, non-invasive procedure for quantitative assessment of drought survival using chlorophyll fluorescence // *Plant Methods*. 2008. 4. 27. <https://doi.org/10.1186/1746-4811-4-27>
18. Yao J., Sun D., Cen H., Xu H., Weng H., Yuan F., He Y. Phenotyping of arabidopsis drought stress response using kinetic chlorophyll fluorescence and multicolor fluorescence imaging // *Frontiers in Plant Science*. 2018. 9. 603. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00603>

## References

1. Volgusheva, A.A., Yakovleva, O.V., Konyukhov, I.V., Riznichenko, G.Yu., Krendeleva, T.E., Gun-Aazhav T., Bordanova O.S., Battulga S., & Rubin A.B. (2009). Analysis of the chlorophyll fluorescence parameters in the bark chloroplasts of poplar from different areas of Ulan Bator. In *Mathematics. Computer. Education: Proc. Sci. Conf.* (Vol. 2, pp. 180-197). Regular and chaotic dynamics. <https://mce.su/archive/doc60858/doc.pdf>. (In Russian, English abstract)
2. Kichina, V.V. (2011). *Principles of improvement of horticultural plants*. Moscow. <https://www.elibrary.ru/qcnxzp>. (In Russian).
3. Ozherelieva, Z.E., Galasheva, A.M., & Krasova, N.G. (2019). Study of apple winter hardiness under controlled conditions. *Contemporary horticulture*, 4, 33-41. <https://www.elibrary.ru/ylrmgi>. (In Russian, English abstract).
4. Orekhov, D.I., & Kozlov, Y.P. (2010). Study parameters of fluorescence chlorophyll in leaves of tree plants in different environmental conditions of Moscow. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 4, 23-28. <https://www.elibrary.ru/mvuodt>. (In Russian, English abstract).
5. Orekhov, D.I., & Kalabin, G.A. (2013). Selection of fluorescence phytoindicator of industrial pollution. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 4, 51-59. <https://www.elibrary.ru/rleaij>. (In Russian, English abstract).
6. Solovchenko, A.E., Tkachev, E.N., Tsukanova, E.M., Shurygin, B.M., Khrushchev, S.S., Konyukhov, I.V., & Ptushenko, V.V. (2022). Winter dormancy of woody plants and its non-invasive monitoring. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 16. Biologiya*, 77(2), 51-64. <https://www.elibrary.ru/qrijkhv>. (In Russian, English abstract).
7. Tyurina, M.M., & Gogoleva, G.A. (1978). *Accelerated assessment of winter hardiness of fruit and berry plants*. (In Russian).
8. Tyurina, M.M., Gogoleva, G.A., Efimova, N.V., Goloulina, L.K., Morozova, N.G., Echedi, Y., Volkov, F.A., Arsentiev, A.P., & Matyash, N.A. (2002). *Determination of the resistance of fruit and berry crops to cold season stressors in field and controlled conditions*. VSTISP. (In Russian).
9. Yushkov, A.N., Chivilev, V.V., Borzykh, N.V., & Zemisov, A.S. (2012). Assessment of the degree of frost damage to fruit plants using the method for determining the chlorophyll fluorescence intensity. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*, 34, 406-411. <https://www.elibrary.ru/paeqtf>. (In Russian, English abstract).
10. Yushkov, A.N., Borzykh, N.V., & Bogdanov, R.E. (2023). An evaluation of drought resistance of varieties of common plum by the method of chlorophyll fluorescence induction. *Journal of Agriculture and Environment*, 3, 4. <https://doi.org/10.23649/jae.2023.31.3.004>. (In Russian, English abstract).
11. Chen, D., Neumann, K., Friede, I. S., Kilian, B., Chen, M., Altmann, T., & Klukas, C. (2014). Dissecting the phenotypic components of crop plant growth and drought responses based on high-throughput image analysis. *The Plant Cell*, 26(12), 4636-4655. <https://doi.org/10.1105/tpc.114.129601>
12. da Silva, J.M. (2016). Monitoring photosynthesis by in vivo chlorophyll fluorescence: application to high-throughput plant phenotyping. In *Applied Photosynthesis – New Progress*. InTechOpen. <http://dx.doi.org/10.5772/62391>

13. Gorbe, E., & Calatayud, A. (2012). Applications of chlorophyll fluorescence imaging technique in horticultural research: a review. *Scientia Horticulturae*, 138, 24-35. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.02.002>
14. Murchie, E.H., & Lawson, T. (2013). Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. *Journal of Experimental Botany*, 64(13), 3983-3998. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert208>
15. Oxborough, K. (2004). Imaging of chlorophyll a fluorescence: theoretical and practical aspects of an emerging technique for the monitoring of photosynthetic performance. *Journal of Experimental Botany*, 55(400), 1195-1205. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh145>
16. Schreiber, U. (2004). Pulse-Amplitude-Modulation (PAM) fluorometry and saturation pulse method: an overview. In: Papageorgiou, G.C., Govindjee (Eds.) *Chlorophyll a Fluorescence. Advances in Photosynthesis and Respiration* (Vol. 19, pp. 279-319). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3218-9\\_11](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3218-9_11)
17. Woo, N.S., Badger, M.R., & Pogson, B.J. (2008). A rapid, non-invasive procedure for quantitative assessment of drought survival using chlorophyll fluorescence. *Plant Methods*, 4, 27. <https://doi.org/10.1186/1746-4811-4-27>
18. Yao, J., Sun, D., Cen, H., Xu, H., Weng, H., Yuan, F., & He, Y. (2018). Phenotyping of arabidopsis drought stress response using kinetic chlorophyll fluorescence and multicolor fluorescence imaging. *Frontiers in Plant Science*, 9, 603. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00603>

Авторы:

**Андрей Николаевич Юшков**, д.с.-х.н., зав. лабораторией физиологии устойчивости и геномных технологий, ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина», [a89050489146@yandex.ru](mailto:a89050489146@yandex.ru)  
ORCID: 0000-0002-2180-0045  
SPIN: 2987-1191

**Надежда Вячеславовна Борzych**, к.с.-х.н., в.н.с. лаборатории физиологии устойчивости и геномных технологий, ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина», [n-bor@list.ru](mailto:n-bor@list.ru)  
ORCID: 0000-0003-4938-2743  
SPIN: 1948-6372

Authors details:

**Andrey Yushkov**, D.Sc. (Agriculture), Head of the Laboratory of Physiology of Resistance and Genomic Technologies in I.V. Michurin Federal Research Center, [a89050489146@yandex.ru](mailto:a89050489146@yandex.ru)  
ORCID: 0000-0002-2180-0045  
SPIN: 2987-1191

**Nadezhda Borzykh**, PhD in Agriculture, Leading Researcher of Physiology of Resistance and Genomic Technologies in I.V. Michurin Federal Research Center, [n-bor@list.ru](mailto:n-bor@list.ru)  
ORCID: 0000-0003-4938-2743  
SPIN: 1948-6372

**Отказ от ответственности:** заявления, мнения и данные, содержащиеся в публикации, принадлежат исключительно авторам и соавторам. ФГБНУ ВНИИСПК и редакция журнала снимают с себя ответственность за любой ущерб людям и/или имуществу в результате использования любых идей, методов, инструкций или продуктов, упомянутых в контенте.