

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья
УДК 633.811:581.132:57.033:58.032.3
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-68-80



Особенности водного режима и работы фотосинтетического аппарата у садовых роз в условиях засухи

Р. А. Пилькевич, С. В. Плугатарь, Т. Б. Губанова

Никитский ботанический сад – Национальный научный центр Российской академии наук, Ялта, Россия

Автор, ответственный за переписку: Татьяна Борисовна Губанова, gubanova-65@list.ru

Представлены данные об изменении общей оводненности тканей листа, уровне реального водного дефицита у семи генотипов садовых роз в течение летних сезонов 2022–2023 гг. на Южном берегу Крыма. Установлено, что у большинства генотипов сублетальной границей водного дефицита является утрата листьями 22–26% воды, для *Rosa gallica* L. – 10–15%. При имитации условий, близких к суховейным ($t = 27^{\circ}\text{C}$; $R_h = 30\%$), листья изучаемых роз теряют влагу интенсивнее и только у гибрида *R. odorata* var. *gigantea* $\times$ *R. multiflora* наблюдается сокращение расхода воды. Порог сублетального дефицита влаги у листьев сравнительно устойчивых объектов – сорта ‘Борисфен’ и вида *R. hugonis* Hemsl. – снижается до 20–24%. Для тканей остальных генотипов потеря аналогичного количества воды становится критической, а иногда и летальной степенью обезвоживания.

Показано, что развитие водного дефицита в пределах 20–25% в условиях низкой влажности воздуха приводит к необратимой инактивации ФС II у *R. bracteata* J.C. Wendl., *R. gallica* и *R. odorata* var. *gigantea* $\times$ *R. multiflora*. У сорта ‘Борисфен’, видов *R. hugonis* и *R. foetida* var. *persiana* (Lem.) Rehder нарушения в работе фотосинтетического аппарата были обратимыми.

Ключевые слова: *Rosa* L., водный режим, фотосинтез, устойчивость к засухе

Благодарности: работа выполнена в рамках темы госзадания Никитского ботанического сада – Национального научного центра РАН (НБС) № FNNS-2022-0003.

Исследования выполнены на оборудовании ЦКП «Физиолого-биохимические исследования растительных объектов» (ФБИ РО) НБС (Ялта, Россия).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Пилькевич Р.А., Плугатарь С.В., Губанова Т.Б. Особенности водного режима и работы фотосинтетического аппарата у садовых роз в условиях засухи. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(4):68–80. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-68-80

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-68-80

Some special features of the water regime and the photosynthetic apparatus functioning in garden roses under drought conditions

Ruslana A. Pilkevich, Svetlana A. Plugatar, Tatyana B. Gubanova

*Nikita Botanical Gardens – National Research Center of the Russian Academy of Sciences, Yalta, Russia***Corresponding author:** Tatyana B. Gubanova, gubanova-65@list.ru

Data are presented on changes in the total water content in leaf tissues and the level of real water deficiency in 7 genotypes of garden roses (*Rosa gallica* L., *R. odorata* var. *gigantea* × *R. multiflora*, *R. hugonis* Hemsl., *R. chinensis* var. *minima* (Sims) Voss., *R. bracteata* J.C. Wendl., and *R. foetida* var. *persiana* (Lem.) Rehder) and cv. 'Borisfen' during the summer seasons of 2022–2023 on the Southern Coast of Crimea. Most genotypes showed a sublethal limit of water deficiency with the loss of 22–26% of water in their leaves. The leaf water regime was described for the studied genotypes under the extreme drought of 2023. For *R. gallica*, the critical limit of water loss was 10–15%. Simulating conditions close to the hot dry wind ($t = 27^{\circ}\text{C}$, $R_h = 30\%$) resulted in a more intensive loss of moisture by the leaves of the studied roses, while only *R. odorata* var. *gigantea* × *R. multiflora* showed a reduction in water consumption. The threshold for sublethal moisture deficiency in the leaves of relatively resistant plants (cv. 'Borisfen' and *R. hugonis*) dropped to 20–24%.

Analyzing main parameters of chlorophyll fluorescence induction proved that the development of water deficiency in the range of 20–25% under low air humidity caused an irreversible inactivation of PS II in *R. bracteata*, *R. gallica*, and *R. odorata* var. *gigantea* × *R. multiflora*. Disturbances in the functioning of the photosynthetic apparatus in cv. 'Borisfen', *R. hugonis*, and *R. foetida* var. *persiana* were reversible. The variable fluorescence level and the fluorescence decay rate are informative for determining the degree of drought resistance in garden rose plants.

Keywords: *Rosa* L., water regime, photosynthesis, resistance to drought

Acknowledgements: the study was carried out within the framework of the state task assigned to the Nikita Botanical Gardens (No. FNNS-2022-0003).

The research was performed on the equipment of the Multiple-Access Center *Physiological and Biochemical Studies of Plant Objects*, Nikita Botanical Gardens, Yalta, Russia.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Pilkevich R.A., Plugatar S.A., Gubanova T.B. Some special features of the water regime and the photosynthetic apparatus functioning in garden roses under drought conditions. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(4):68-80. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-68-80

Введение

Несмотря на то что группа садовых роз чрезвычайно обширна, получение новых сортов до настоящего времени не утратило своей значимости. Одна из первостепенных задач селекции садовых роз заключается в получении сортов с высоким уровнем устойчивости к неблагоприятным факторам среды, в частности к различным видам засухи. Актуальность исследований в области засухоустойчивости растений значительно возросла в связи с аридизацией климата в ряде южных регионов и дефицитом водных ресурсов (Efimov et al., 2015; A report on climate risks..., 2017). В ряде научных работ отмечена связь водоудерживающих сил со степенью устойчивости к недостаточной водообеспеченности. Установлено, что засухоустойчивость сортов пшеницы связана с сохранением стабильно высоких водоудерживающих сил в течение ряда лет (Bome et al., 2016). При исследовании устойчивости риса к водному стрессу установлено, что для получения объективной информации о физиолого-биохимических изменениях полевого эксперимента недостаточно. Необходимо проведение лабораторных исследований в контролируемых условиях (Batlang et al., 2013).

Поскольку засуха, как почвенная, так и воздушная, затрагивает различные звенья фотосинтетических процессов, она в итоге снижает жизнеспособность растений в целом. В настоящее время известно, что при водном стрессе могут нарушаться процессы реокисления пластохинонов в реакционных центрах фотосистемы II (ФС II) и возрастать нефотохимические энергетические траты при миграции электронов по электрон-транспортной цепи (Basu et al., 1998; Stirbet, Govindjee, 2011).

Однако некоторые авторы отмечают, что изменения в функционировании ФС II, вызванные абиотическими стрессорами, не всегда связаны со степенью устойчивости (Goltsev et al., 2016), что увеличивает актуальность изучения изменений в работе фотосинтетического аппарата у конкретных видов растений и выявления связи таковых с реализацией защитных механизмов.

Участившиеся засухи, возросшая вероятность таких погодных явлений, как суховеи, особенно на Южном берегу Крыма (ЮБК), негативно сказываются на продолжительности цветения роз и качестве самих цветков, что увеличивает расход поливной воды. В связи с этим анализ физиологических реакций видов рода *Rosa* L. различного происхождения на действие засушливых условий позволит не только определить степень их устойчивости, но и выявить параметры для косвенной экспресс-диагностики уровня резистентности к засухе. В научной литературе имеется большое количество информации о влиянии недостатка влаги на различные физиологические процессы у хозяйственно ценных видов растений, в том числе и относящихся к семейству Rosaceae. В частности, установлено, что высокая оводненность тканей листа и низкий уровень водного дефицита в условиях жары и недостаточной водообеспеченности характерны для устойчивых сортов персика (Abilfazova, 2021).

В результате многолетних исследований жаро- и засухоустойчивости различных сортов яблони восточной, терна, шиповника в лесных насаждениях, сортов розы садовой выявлено, что степень устойчивости связана не только с сортовыми особенностями и физиологическим состоянием растений, но и со спецификой гидротермических условий в конкретные годы (Doroshenko, 2013). Известно, что анализ параметров индуцированной флуоресценции хлорофилла (ИФХ) в по-

следние десятилетия широко применяется для оценки состояния растения как во время действия стрессора, так и после его окончания, что дает возможность судить о степени устойчивости и способности нивелировать последствия негативного влияния (Lysenko et al., 2013; Goltsev et al., 2016).

Однако анализ литературных источников показал, что садовые розы в рамках физиолого-биохимических механизмов засухоустойчивости изучены недостаточно. Имеется отрывочная информация о связи анатомических особенностей листовых пластинок некоторых видов рода *Rosa* с их устойчивостью к засухе (Brailko et al., 2019), влиянии водного стресса на продолжительность цветения и поражаемость грибными болезнями (Qafarova, 2020). В связи с этим в течение двух лет мы проводили исследования параметров водного режима листьев некоторых генотипов садовых роз с целью определения степени устойчивости их листового аппарата к засухе различной интенсивности.

Материал и методы исследований

Исследования проводились на базе коллекции садовых роз лаборатории цветоводства Никитского ботанического сада (НБС, Республика Крым, г. Ялта). Растительный материал отбирали на территории арборетума НБС. В качестве объектов исследований были выбраны семь генотипов рода *Rosa*: сложные межвидовые гибриды *R. odorata* var. *gigantea* × *R. multiflora* и сорт 'Борисфен' (*R. fedtschenkoana* × 'Kordes Sondermeldung'), а также виды *R. chinensis* var. *minima* (Sims) Voss., *R. gallica* L., *R. hugonis* Hemsl., *R. bracteata* J.C. Wendl., *R. foetida* var. *persiana* (Lem.) Rehder.

С мая по август в 2022 и 2023 г. определяли динамику оводненности и уровня реального водного дефицита. Погодные условия летних сезонов 2022 и 2023 г. были различными. Так, период с мая по июнь 2022 г. характеризовался более благоприятным гидротермическим режимом по сравнению с 2023 г. (рис. 1, 2). В середине сезона (июнь – июль) волны холода чередовались с волнами тепла, периодически выпадали осадки, количество которых в июне превысило климатическую норму (41 мм), а в июле было близко к ней (34 мм) (Korsakova, Korsakov, 2023).

Отличительной особенностью условий вегетационного сезона 2023 г. была дождливая, влажная, умеренно теплая погода в первой половине периода, малохарактерная для этого времени года, которая сменялась очень продолжительной экстремальной воздушно-почвенной засухой на фоне аномально высоких температур, длившейся до конца октября. Особенности водного режима (водоудерживающую и восстановительную способности, реальный водный дефицит) анализировали в течение летних сезонов 2022–2023 гг. согласно методическим рекомендациям (Kushnirenko et al., 1976; Lishchuk, 1991).

Для исследования роли параметров водного режима и состояния фотосинтетического аппарата у семи генотипов садовых роз в условиях засухи различной интенсивности в контролируемых условиях провели серию экспериментов. Для создания различных сочетаний влажности и температуры воздуха использовали климатическую камеру МКФТ (Binder): вариант 1 – действие температуры +25°C при относительной влажности воздуха 60%; вариант 2 – действие температуры +27°C при относительной влажности воздуха 30%. Контролем служили листья в состоянии полного оводнения. Контроли-

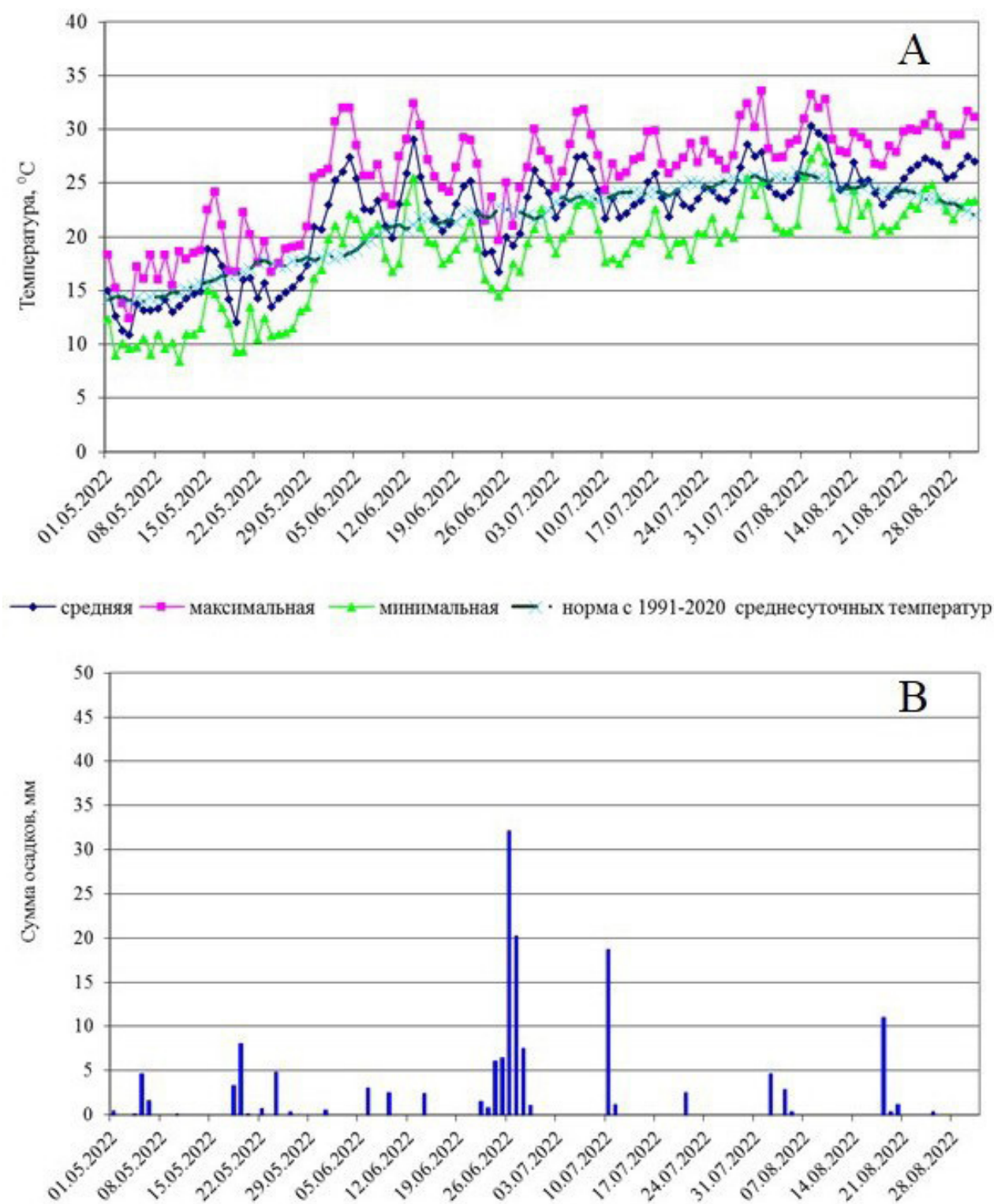


Рис. 1. Ход суточных температур и количество осадков в летнем сезоне 2022 г. в Никитском ботаническом саду (по данным агрометеостанции «Никитский сад»)

Fig. 1. Variation of daily temperatures and precipitation in the summer season of 2022 in the Nikita Botanical Gardens (data supplied by the Nikitsky Sad Agrometeorological Station)

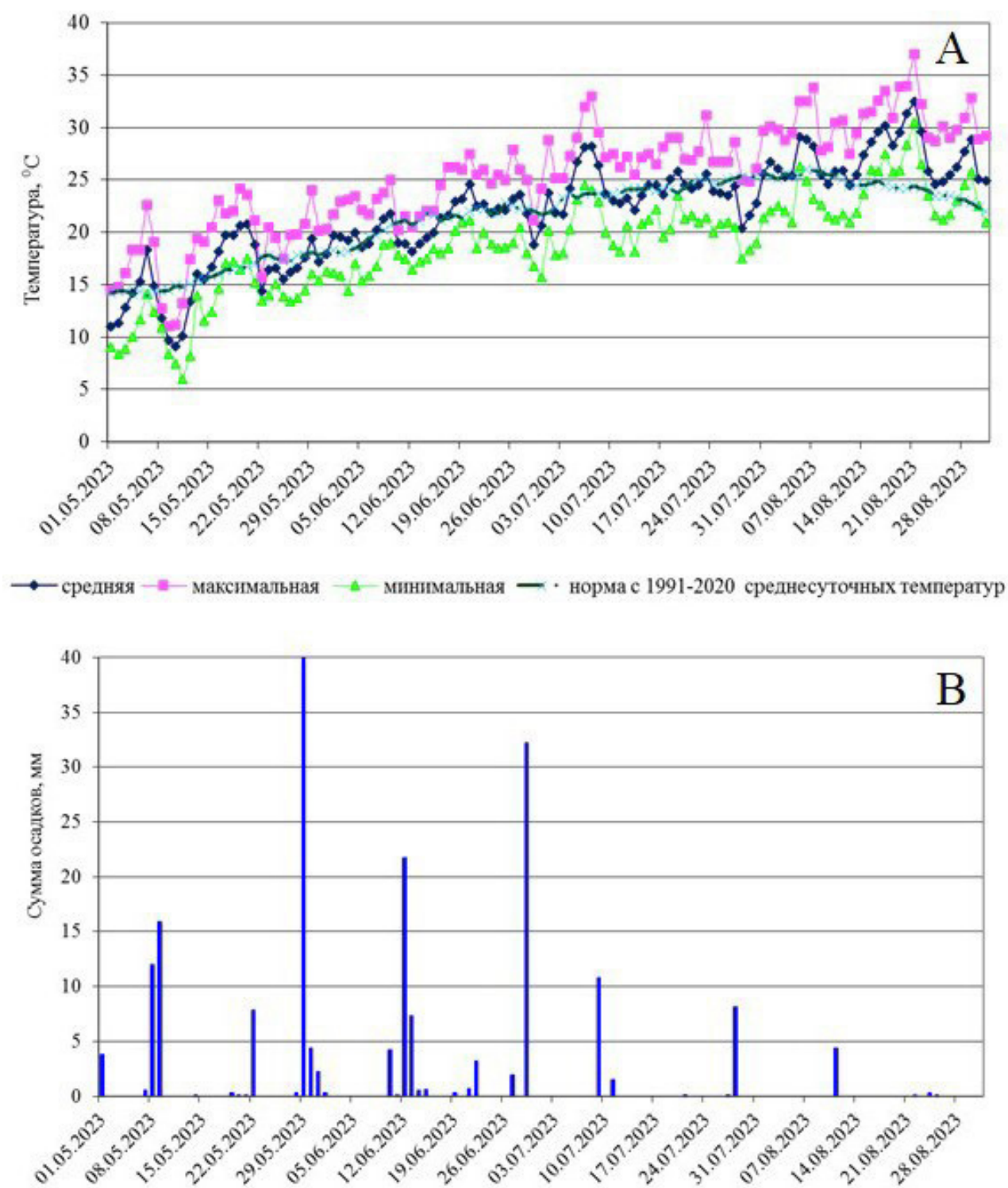


Рис. 2. Ход суточных температур и количество осадков в летнем сезоне 2023 г. в Никитском ботаническом саду (по данным агрометеостанции «Никитский сад»)

Fig. 2. Variation of daily temperatures and precipitation in the summer season of 2023 in the Nikita Botanical Gardens (data supplied by the Nikitsky Sad Agrometeorological Station)

руемое завядание проводили в климатической камере до потери листьями не более 30% влаги. Параметры ИФХ измеряли с помощью портативного хронофлуориметра Floratest (Romanov, 2010; Goltsev et al, 2016). На основании фотоиндукционных кривых анализировали параметры: $F_v = F_m - F_0$ – переменная флуоресценция; F_v/F_m – эффективность световой фазы фотосинтеза; F_v/F_0 – соотношение констант скоростей реакции фотохимической и нефотохимической дезактивации; F_v/F_{st} – коэффициент спада флуоресценции (индекс жизнеспособности) в ФС II (фотосистеме II). Эксперименты проводили в 3-кратной повторности.

Результаты и их обсуждение

В течение летних сезонов 2022 и 2023 г. изучена динамика показателей параметров водного режима листьев семи генотипов садовых роз в связи с их реакцией на гидротермический стресс в условиях ЮБК. В мае 2022 г. в связи с погодными условиями содержание воды в листьях было невысоким (52–55%), уровень реального водного дефицита в тканях составлял 8–12%. С июня показатели оводненности листьев роз возросли на 6–10% (до 58–65%) и сохранялись на этом уровне до окончания августа (табл. 1). Дефицит влаги в тканях листьев варь-

Таблица 1. Показатели водного режима листьев садовых роз (2022 г.)

Table 1. Indicators of the water regime in the garden rose leaves (2022)

Генотип / Genotype	Содержание воды в листьях, % на сырую массу / Water content in leaves, % wet weight	Полное насыщение листьев, % на сырую массу / Full watering, % wet weight	Водный дефицит в листьях, % / Water deficit in leaves, %
Июнь / June			
‘Борисфен’ / ‘Borisfen’	60,87 ± 1,5	64,94 ± 1,4	16,00 ± 1,1
<i>R. bracteata</i>	61,19 ± 1,3	63,89 ± 1,2	10,87 ± 0,9
<i>R. gallica</i>	59,56 ± 1,7	62,59 ± 1,6	11,96 ± 1,3
<i>R. odorata</i> var. <i>gigantea</i> × <i>R. multiflora</i>	65,82 ± 1,5	67,86 ± 1,3	8,77 ± 1,0
<i>R. hugonis</i>	60,00 ± 1,2	64,29 ± 1,0	16,67 ± 0,8
<i>R. chinensis</i> var. <i>minima</i>	62,22 ± 1,8	65,31 ± 1,5	12,50 ± 1,2
<i>R. foetida</i> var. <i>persiana</i>	58,33 ± 1,4	62,96 ± 1,7	17,65 ± 1,1
Июль / July			
‘Борисфен’ / ‘Borisfen’	67,40 ± 1,6	71,05 ± 1,8	15,75 ± 1,0
<i>R. bracteata</i>	57,92 ± 1,3	61,18 ± 1,5	12,64 ± 1,1
<i>R. gallica</i>	60,34 ± 1,4	62,21 ± 1,7	7,85 ± 1,3
<i>R. odorata</i> var. <i>gigantea</i> × <i>R. multiflora</i>	63,74 ± 1,7	65,55 ± 1,6	7,64 ± 0,9
<i>R. hugonis</i>	60,45 ± 1,1	64,72 ± 1,4	16,33 ± 1,2
<i>R. chinensis</i> var. <i>minima</i>	58,43 ± 1,5	61,26 ± 1,8	11,11 ± 1,4
<i>R. foetida</i> var. <i>persiana</i>	62,75 ± 1,6	65,12 ± 1,3	18,07 ± 1,7
Август / August			
‘Борисфен’ / ‘Borisfen’	61,85 ± 1,4	66,21 ± 1,7	17,28 ± 1,3
<i>R. bracteata</i>	56,98 ± 1,2	60,81 ± 1,5	11,56 ± 1,0
<i>R. gallica</i>	55,20 ± 1,6	58,58 ± 1,9	12,86 ± 1,4
<i>R. odorata</i> var. <i>gigantea</i> × <i>R. multiflora</i>	59,72 ± 1,5	61,98 ± 1,4	9,07 ± 1,1
<i>R. hugonis</i>	59,04 ± 1,1	63,75 ± 1,5	18,12 ± 1,2
<i>R. chinensis</i> var. <i>minima</i>	60,65 ± 1,7	64,26 ± 1,3	14,29 ± 1,1
<i>R. foetida</i> var. <i>persiana</i>	61,15 ± 2,1	67,23 ± 1,8	21,47 ± 2,0

ровал в пределах 8–18% в первой половине летнего сезона и 9–21,5% во второй. Наименьшими его значениями выделялась *R. odorata* var. *gigantea* × *R. multiflora*, наиболее высокими – *R. foetida* var. *persiana*.

Летний сезон 2023 г. выдался более жарким и засушливым. С начала июня к окончанию августа уровень содержания воды в листьях роз снизился на 8,5–11% (в предшествующем году в июле – августе оводненность листьев изучаемых генотипов была выше на 5–7%). Водный дефицит в тканях изменялся в диапазоне от оптимальных майских показателей 8–10% до 18–34% в период максимального воздействия засушливых факторов (табл. 2). Наиболее значительное увеличение дефицита влаги отмечалось в тканях листьев *R. hugonis* (на 20%), *R. chinensis* var. *minima* (на 13%), *R. foetida* var. *persiana* (на 11%).

Поскольку летом на ЮБК высока вероятность наступления таких неблагоприятных погодных условий, как сочетание высокой температуры и низкой влажности воздуха, мы провели серию экспериментов по выявлению генотипов садовых роз, устойчивых к действию засухи, а также особенностей их реакций к воздействию температуры и влажности воздуха различной интенсивности. В мягких условиях завядания (t 25°C, Rh 60%) через 5 часов потеря влаги листьями составляла 26–30% (табл. 3). Наиболее экономно расходовали воду листья видов *R. hugonis*, *R. foetida* var. *persiana*, *R. bracteata* и сорта 'Борисфен'. После регидратации высокую репарационную способность проявляли ткани листьев *R. hugonis*, *R. odorata* var. *gigantea* × *R. multiflora* и сорта 'Борисфен' (от 90% до полного восстановления). Листья *R. gallica* в течение первых двух часов теря-

Таблица 2. Показатели водного режима листьев садовых роз (2023 г.)
Table 2. Indicators of the water regime in garden rose leaves (2023)

Генотип / Genotype	Содержание воды в листьях, % на сырую массу / Water content in leaves, % wet weight	Полное насыщение листьев, % на сырую массу / Full watering, % wet weight	Водный дефицит в листьях, % / Water deficit in leaves, %
Май / May			
'Борисфен' / 'Borisfen'	65,95 ± 1,3	71,22 ± 1,8	11,80 ± 1,1
<i>R. bracteata</i>	63,24 ± 1,4	73,26 ± 1,9	10,95 ± 1,2
<i>R. gallica</i>	62,44 ± 1,8	67,11 ± 2,2	11,16 ± 1,6
<i>R. odorata</i> var. <i>gigantea</i> × <i>R. multiflora</i>	69,01 ± 1,5	73,19 ± 2,0	9,50 ± 1,3
<i>R. hugonis</i>	65,69 ± 1,1	68,40 ± 1,4	10,76 ± 1,0
<i>R. chinensis</i> var. <i>minima</i>	69,54 ± 2,1	72,92 ± 1,7	10,00 ± 1,5
<i>R. foetida</i> var. <i>persiana</i>	62,32 ± 1,6	66,85 ± 1,9	12,20 ± 1,3
Июнь / June			
'Борисфен' / 'Borisfen'	61,74 ± 1,4	64,44 ± 1,6	14,28 ± 1,1
<i>R. bracteata</i>	62,31 ± 1,3	61,61 ± 1,2	11,59 ± 1,4
<i>R. gallica</i>	58,50 ± 1,7	64,45 ± 1,9	19,54 ± 1,6
<i>R. odorata</i> var. <i>gigantea</i> × <i>R. multiflora</i>	67,33 ± 1,5	68,88 ± 1,3	10,02 ± 1,2
<i>R. hugonis</i>	61,51 ± 1,1	62,08 ± 1,4	13,42 ± 1,1
<i>R. chinensis</i> var. <i>minima</i>	62,81 ± 1,6	66,93 ± 1,8	17,65 ± 1,3
<i>R. foetida</i> var. <i>persiana</i>	60,00 ± 1,4	67,83 ± 2,1	19,23 ± 1,5
Июль / July			
'Борисфен' / 'Borisfen'	64,23 ± 1,2	67,73 ± 1,4	18,26 ± 1,5
<i>R. bracteata</i>	51,20 ± 1,1	60,50 ± 1,3	17,54 ± 1,1
<i>R. gallica</i>	56,68 ± 1,6	62,33 ± 1,9	26,38 ± 2,0
<i>R. odorata</i> var. <i>gigantea</i> × <i>R. multiflora</i>	63,97 ± 1,7	65,84 ± 1,3	19,75 ± 1,6
<i>R. hugonis</i>	55,61 ± 1,2	64,82 ± 1,5	33,67 ± 1,8
<i>R. chinensis</i> var. <i>minima</i>	59,75 ± 1,4	68,00 ± 1,7	31,09 ± 2,1
<i>R. foetida</i> var. <i>persiana</i>	57,66 ± 1,3	68,03 ± 1,9	30,60 ± 1,6

Таблица 2. Окончание

Table 2. The end

Генотип / Genotype	Содержание воды в листьях, % на сырую массу / Water content in leaves, % wet weight	Полное насыщение листьев, % на сырую массу / Full watering, % wet weight	Водный дефицит в листьях, % / Water deficit in leaves, %
Август / August			
‘Борисфен’ / ‘Borisfen’	58,19 ± 1,3	64,47 ± 1,6	23,30 ± 1,4
<i>R. bracteata</i>	51,82 ± 1,5	55,08 ± 1,2	12,31 ± 1,1
<i>R. gallica</i>	52,63 ± 1,7	56,63 ± 2,0	14,89 ± 1,3
<i>R. odorata</i> var. <i>gigantea</i> × <i>R. multiflora</i>	58,65 ± 1,6	62,44 ± 1,8	14,69 ± 1,5
<i>R. hugonis</i>	56,61 ± 1,1	61,50 ± 1,4	18,32 ± 1,2
<i>R. chinensis</i> var. <i>minima</i>	61,15 ± 1,6	63,39 ± 1,8	9,09 ± 1,3
<i>R. foetida</i> var. <i>persiana</i>	56,76 ± 1,4	61,90 ± 1,7	19,23 ± 1,5

Таблица 3. Водоудерживающая и репарационная способность листьев садовых роз

Table 3. Water retaining ability and reparative capacity in garden rose leaves

Генотип / Genotype	Содержание воды в листьях, % на сырую массу / Water content in leaves, % wet weight	Полное насыщение листьев, % на сырую массу / Full watering, % wet weight	Водный дефицит в листьях, % / Water deficit in leaves, %	Утрачено воды в процессе увядания, % / Lost water in the process of wilting, %					Листья, восстановившие тургор, % / Leaves that restored turgor, %
				1 ч / 1 hour	2 ч / 2 hours	3 ч / 3 hours	4 ч / 4 hours	5 ч / 5 hours	
t = 25°C / Rh = 60%									
‘Борисфен’ / ‘Borisfen’	60,87 ± 1,2	64,94 ± 1,4	16,00 ± 1,1	*	12,32	*	16,59	27,01	90
R. bracteata	61,19 ± 1,5	63,89 ± 1,7	10,87 ± 1,2	*	12,31	*	21,92	27,03	75–80
R. gallica	59,56 ± 1,9	62,59 ± 1,6	11,96 ± 1,3	*	28,82	*	*	*	15–20
R. odorata var. gigantea × R. multiflora	65,82 ± 1,4	67,86 ± 1,8	8,77 ± 0,9	*	19,81	*	25,41	29,70	90
R. hugonis	60,00 ± 1,0	64,29 ± 1,2	16,67 ± 1,1	*	11,54	*	20,51	25,88	95–100
R. chinensis var. minima	62,22 ± 1,5	65,31 ± 1,7	12,50 ± 1,2	*	19,63	*	29,22	*	65–70
R. foetida var. persiana	58,33 ± 1,6	62,96 ± 1,9	17,65 ± 1,7	*	12,50	*	21,25	26,00	60–62
t = 27°C / Rh = 30%									
‘Борисфен’ / ‘Borisfen’	67,40 ± 1,3	71,05 ± 1,5	15,75 ± 1,2	*	13,27	17,99	20,94	*	100
R. bracteata	57,92 ± 1,6	61,18 ± 1,8	12,64 ± 1,1	*	20,95	23,86	*	*	85–92

Таблица 3. Окончание

Table 3. The end

Генотип / Genotype	Содержание воды в листьях, % на сырую массу / Water content in leaves, % wet weight	Полное насыщение листьев, % на сырую массу / Full watering, % wet weight	Водный дефицит в листьях, % / Water deficit in leaves, %	Утрачено воды в процессе увядания, % / Lost water in the process of wilting, %					Листья, восстановившие тургор, % / Leaves that restored turgor, %
				1 ч / 1 hour	2 ч / 2 hours	3 ч / 3 hours	4 ч / 4 hours	5 ч / 5 hours	
t = 27°C / Rh = 30%									
R. gallica	60,34 ± 1,7	62,21 ± 2,1	7,85 ± 1,4	25,35	*	*	*	*	60
R. odorata var. gigantea × R. multiflora	63,74 ± 1,5	65,55 ± 1,9	7,64 ± 1,2	*	15,65	19,13	21,45	22,32	80–85
R. hugonis	60,45 ± 1,3	64,72 ± 1,1	16,33 ± 1,0	*	15,50	20,36	24,01	*	95
R. chinensis var. minima	58,43 ± 1,6	61,26 ± 1,4	11,11 ± 0,8	*	25,51	*	*	*	65–70
R. foetida var. persiana	62,75 ± 1,5	65,12 ± 1,7	18,07 ± 1,3	*	14,23	21,00	23,50	*	70–75

ли наибольшее количество влаги, с последующей гибелью тканей.

В условиях, близких к действию суховея (t = 27°C, Rh = 30%), отдача листьями влаги при завядании ускорялась. Более устойчивые генотипы теряли 20–24% воды в течение 4 часов, а неустойчивые – столько же за 2–3 часа. Такое количество не превышало уровень сублетального водного дефицита только в листьях 'Борисфен' и *R. hugonis*, благодаря чему репарационные процессы в тканях протекали с максимальной полнотой. Общая тенденция в скорости утраты влаги у роз сохранилась, и только *R. odorata* var. *gigantea* × *R. multiflora* сокращала расход воды сравнительно со щадящими условиями обезвоживания. Количество площади листовой поверхности, восстанавливавшей нормальный тургор, варьировало (в порядке возрастания) от 60% до 75% у *R. gallica*, *R. chinensis* var. *minima*, *R. foetida* var. *persiana* и от 80% до 92% у более стойких *R. odorata* var. *gigantea* × *R. multiflora* и *R. bracteata*.

В контролируемых условиях было установлено, что при достижении листьями уровня водного дефицита 15–25% (t = 25°C; Rh = 60%) критические изменения в функционировании ФС II происходили у *R. gallica* и *R. chinensis* var. *minima*, выразившиеся в снижении квантового выхода фотосинтеза и возрастании доли невосстановленных пластохинонов (табл. 4). О сохранении глубокого стрессового состояния у *R. gallica*, несмотря на достаточно мягкие условия завядания, свидетельствуют низкие значения вариационной флуоресценции и соотношения Fv/F₀, даже после восстановления водообеспеченности. У *R. chinensis* var. *minima* наблюдалось частичное восстановление фотосинтетической активности. Однако низкие значения вариационной флуоресценции и коэффициента спада флуоресценции позволяют сделать вывод о значительных нарушениях в процессах электронного транспорта в ЭТЦ тилакоидов и возрастании нефотохи-

мических трат энергии возбуждения (Schreiber et al., 1995). Высокая устойчивость к развитию водного дефицита в относительно мягких условиях увядания отмечена у сорта 'Борисфен' и видов *R. bracteata*, *R. foetida* var. *persiana* и *R. hugonis*, поскольку отношение вариационной флуоресценции к базовой оставалось в пределах 4–5 (Percival et al., 2006; Pereira et al., 2000).

При имитации условий, близких к действию суховея (t = 27°C; Rh = 30%), полная инактивация фотосинтетического аппарата листьев наблюдалась у *R. odorata* var. *gigantea* × *R. multiflora*, *R. bracteata* и *R. gallica*. Действие высокой температуры и низкой влажности воздуха на фотосинтетический аппарат *R. chinensis* var. *minima*, *R. foetida* var. *persiana* и сорта 'Борисфен' вызвало ряд изменений в ФС II: снижение вариационной флуоресценции на 30–35% и коэффициента спада флуоресценции на 20–20% у сорта 'Борисфен' и вида *R. foetida* var. *persiana*. При этом восстановление соотношения максимальной и базовой флуоресценции до значений, близких к контрольным, у сорта 'Борисфен' и видов *R. hugonis*, *R. foetida* var. *persiana* после окончания стрессового воздействия является показателем обратимости изменений в работе ФС II. О неполном восстановлении фотосинтетической активности и сохранении достаточно высокого уровня стресса после восстановления водоснабжения у *R. chinensis* var. *minima* свидетельствует сохранение низкого уровня квантового выхода фотосинтеза и эффективности использования энергии возбуждения в ФС II (Strasser et al., 2010).

Заключение

В продолжение летних сезонов 2022–2023 гг. в зависимости от напряженности метеофакторов, сублетальным водным дефицитом для листьев изучаемых генотипов (кроме *R. gallica*) являлась потеря 20–22% влаги, для

Таблица 4. Изменение параметров индуцированной флуоресценции хлорофилла (ИФХ) у некоторых видов садовых роз в зависимости от действия различных сочетаний температур и влажности воздуха

Table 4. Changes in chlorophyll fluorescence induction (CFI) parameters in some garden rose species depending on the pressure of various temperature and air humidity combinations

Вариант опыта / Experiment option	t = 25°C; Rh = 60%				t = 27°C; Rh = 30%			
	Fv	Fv/Fst	Fv/F ₀	Fm/F ₀	Fv	Fv/Fst	Fv/F ₀	Fm/F ₀
‘Борисфен’ / ‘Borisfen’								
Контроль / Control	496 ± 11	2,58 ± 0,12	4,10 ± 0,21	4,1 ± 0,17	407 ± 9	2,95 ± 0,14	3,88 ± 0,28	5,33 ± 0,31
Опыт / Experiment	528 ± 8	2,75 ± 0,12	4,12 ± 0,18	5,8 ± 0,23	297 ± 6	2,38 ± 0,11	2,88 ± 0,24	3,5 ± 0,27
Восстановление / Recovery	560 ± 10	3,18 ± 0,15	3,50 ± 0,13	4,5 ± 0,21	284 ± 8	1,77 ± 0,08	2,84 ± 0,19	3,84 ± 0,29
Rosa bracteata								
Контроль / Control	1024 ± 48	3,76 ± 0,22	8,0 ± 0,31	9,0 ± 0,91	640 ± 13	2,86 ± 0,21	2,86 ± 0,19	4,66 ± 0,29
Опыт / Experiment	816 ± 29	2,83 ± 0,14	7,29 ± 0,29	8,28 ± 0,87	224 ± 6	2,33 ± 0,19	2,33 ± 0,2	3,33 ± 0,32
Восстановление / Recovery	864 ± 27	3,37 ± 0,25	6,75 ± 0,24	7,75 ± 0,3	-	-	-	-
R. gallica								
Контроль / Control	768 ± 31	3,56 ± 0,21	3,69 ± 0,24	4,69 ± 0,23	464 ± 23	2,64 ± 0,12	2,90 ± 0,11	3,93 ± 0,19
Опыт / Experiment	304 ± 18	2,76 ± 0,18	2,71 ± 0,11	3,71 ± 0,25	-	-	-	-
Восстановление / Recovery	368 ± 15	1,77 ± 0,11	1,77 ± 0,09	2,76 ± 0,14	-	-	-	-
R. odorata var. gigantea × R. multiflora								
Контроль / Control	816 ± 38	2,68 ± 0,22	3,64 ± 0,21	4,64 ± 0,26	448 ± 21	3,50 ± 0,21	3,50 ± 0,24	4,0 ± 0,31
Опыт / Experiment	608 ± 29	2,53 ± 0,21	3,45 ± 0,24	4,45 ± 0,30	320 ± 19	2,86 ± 0,19	2,86 ± 0,2	2,83 ± 0,22
Восстановление / Recovery	752 ± 34	2,61 ± 0,20	3,36 ± 0,21	4,36 ± 0,27	-	-	-	-
R. chinensis var. minima								
Контроль / Control	592 ± 31	3,08 ± 0,18	3,36 ± 0,14	4,36 ± 0,21	352 ± 19	1,98 ± 0,11	2,00 ± 0,21	3,54 ± 0,23
Опыт / Experiment	384 ± 22	1,84 ± 0,09	2,18 ± 0,17	3,18 ± 0,22	284 ± 21	2,84 ± 0,19	2,84 ± 0,21	3,31 ± 0,21
Восстановление / Recovery	480 ± 10	2,40 ± 0,14	2,73 ± 0,22	3,72 ± 0,24	256 ± 24	1,78 ± 0,14	1,78 ± 0,13	3,47 ± 0,23

Таблица 4. Окончание
Table 4. The end

Вариант опыта / Experiment option	t = 25°C; Rh = 60%				t = 27°C; Rh = 30%			
	Fv	Fv/Fst	Fv/F ₀	Fm/F ₀	Fv	Fv/Fst	Fv/F ₀	Fm/F ₀
R. foetida								
Контроль / Control	560 ± 35	3,15 ± 0,27	4,37 ± 0,28	5,37 ± 0,25	464 ± 31	2,42 ± 0,24	2,64 ± 0,22	4,61 ± 0,25
Опыт / Experiment	526 ± 34	2,35 ± 0,21	4,05 ± 0,24	5,05 ± 0,26	219 ± 11	1,71 ± 0,11	2,58 ± 0,21	4,68 ± 0,22
Восстановление / Recovery	448 ± 29	2,73 ± 0,24	3,50 ± 0,25	4,5 ± 0,25	267 ± 13	1,66 ± 0,09	3,14 ± 0,25	5,0 ± 0,27
R. hugonis								
Контроль / Control	828 ± 31	3,23 ± 0,26	4,60 ± 0,24	5,60 ± 0,28	384 ± 21	3,0 ± 0,22	3,43 ± 0,27	3,77 ± 0,23
Опыт / Experiment	564 ± 25	2,47 ± 0,21	3,28 ± 0,27	4,28 ± 0,25	240 ± 13	2,40 ± 0,24	4,75 ± 0,26	3,71 ± 0,22
Восстановление / Recovery	521 ± 26	2,71 ± 0,22	3,86 ± 0,27	4,86 ± 0,24	464 ± 26	3,22 ± 0,21	4,14 ± 0,27	3,36 ± 0,24

Примечание: прочерк означает, что исследования не проводились в связи с гибелью листа
Note: a dash means that no research was possible due to the death of the leaf

наиболее устойчивых – до 24–26%. Листья *R. gallica* показали самую низкую способность удерживать воду и слабую репарационную возможность. Допустимой потерей влаги, после которой возможно полное восстановление тургора тканей, для этого вида может быть не более 10–15%.

Показатели параметров водного режима листьев *R. odorata* var. *gigantea* × *R. multiflora*, *R. bracteata*, *R. chinensis* var. *minima*, *R. foetida* var. *persiana* часто носили нестабильный характер. При этом листья гибрида *R. odorata* var. *gigantea* × *R. multiflora* на протяжении всего периода исследований выделялись относительно высоким содержанием влаги и самым низким водным дефицитом в тканях.

Листья сорта 'Борисфен' и вида *R. hugonis* обладали повышенными водоудерживающими силами и достаточно высокими репарационными возможностями.

Ткани листьев большинства генотипов при режиме с повышенной влажностью лучше удерживали воду, а после регидратации на более высоком уровне восстанавливали тургор. Выявлено, что листья сравнительно устойчивых к обезвоживанию генотипов менее чувствительны к низкой влажности воздуха, чем менее стойких.

В лабораторных экспериментах при различных гидротермических условиях установлено, что развитие водного дефицита в листьях садовых роз при высоких значениях температуры и влажности воздуха сопровождается снижением вариабельной флуоресценции хлорофилла, что связано с нарушениями в процессах транспорта электронов по электрон-транспортной цепи в мембранах тилакоидов. У вида *R. bracteata* стрессовое состояние развивается после восстановления водообеспеченности. При имитации условий суховея выявлено, что стабильной работой фотосинтетического аппарата характеризовались *R. hugonis*, *R. chinensis* var. *minima* и сорт 'Борисфен'. Таким образом, *R. odorata* var. *gigantea* × *R. multiflora* и вид *R. foetida* var. *persiana* оказались более устойчивы к перегреву и увяданию в условиях высокой влажности воздуха, а *R. hugonis*, *R. chinensis* var. *minima* – к условиям, имитирующим суховея. Комплексная устойчивость выявлена у сорта 'Борисфен'.

References / Литература

- A report on climate risks on the territory of the Russian Federation (Doklad o klimaticheskikh riskakh na territorii Rossiyskoy Federatsii). St. Petersburg: Roshydromet; 2017. [in Russian] (Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. Санкт-Петербург: Росгидромет; 2017). URL: <https://cc.voeikovmgo.ru/images/dokumenty/2017/riski.pdf> [дата обращения: 01.03.2024].
- Abilfazova Yu.S. Changes in the physiological state of peach plants influenced by drought. *New Technologies*. 2021;17(5):99-105. [in Russian] (Абильфазова Ю.С. Изменения физиологического состояния растений персика под влиянием засухи. *Новые технологии*. 2021;17(5):99-105). DOI: 10.47370/2072-0920-2021-17-5-99-105
- Basu P.S., Sharma A., Sukumaran N.P. Changes in net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in potato leaves induced by water stress. *Photosynthetica*. 1998;35(1):13-19. DOI: 10.1023/A:1006801311105
- Batlang U., Baisakh N., Ambavaram M.M.R., Pereira A. Phenotypic and physiological evaluation for drought and salinity stress responses in rice. *Methods in Molecular Biology*. 2013;956:209-225. DOI: 10.1007/978-1-62703-194-3_15
- Bome N.A., Ushakova T.F., Modenova E.A., Bome A.Y. Research of dependence water-retentive capability for leaves of *Triticum aestivum* L. from their linear dimensions and the area. *International Research Journal*. 2016;4-6(46):13-16. [in Russian] (Боме Н.А. Ушакова Т.Ф., Моденова Е.А. Боме А.Я. Изучение зависимости водоудерживающей способности листьев *Triticum aestivum* Л. от их линейных размеров и площади. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016;4-6(46):13-16). DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.003
- Braillko V.A., Gubanova T.B., Klimenko Z.K., Plugatar S.A. Morphological and anatomical features in the leaves of some hybrid tea roses and their drought tolerance on the Southern Coast of the Crimea. *Bulletin of the State Nikita Botanical Gardens*. 2019;(130):129-136. [in Russian] (Браилко В.А., Губанова Т.Б., Клименко З.К., Плугатарь С.А. Морфоанатомические характеристики листа некоторых сортов чайно-гибридных роз и их засухоустойчивость на Южном берегу Крыма. *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*. 2019;(130):129-136). DOI: 10.25684/NBG.boolt.130.2019.18
- Doroshenko T.N. Stability of fruit and decorative plants to high temperatures: physiological aspect. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2013;(86):426-440. [in Russian] (Дорошенко Т.Н. Устойчивость плодовых и декоративных растений к высоким температурам: физиологический аспект. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2013;(86):426-440).
- Efimov V.V., Volodin E.M., Anisimov A.E. Modeling of the Black Sea region climate changes in the XXI century. *Physical Oceanography*. 2015;2(182):3-13. DOI: 10.22449/1573-160X-2015-2-3-13
- Goltsev V.N., Kalaji M.H., Paunov M., Baba V., Horacek T., Mojski J. et al. Use of variable chlorophyll fluorescence to assess physiological state of the photosynthetic apparatus of plants (Ispolzovaniye peremennoy fluorestsentsii khlorofilla dlya otsenki fiziologicheskogo sostoyaniya fotosinteticheskogo apparata rasteniy). *Russian Journal of Plant Physiology*. 2016;63(6):881-907. [in Russian] (Гольцев В.Н., Каладжи Х.М., Паунов М., Баба В., Хорачек Т., Мойски Я. и др. Использование переменной флуоресценции хлорофилла для оценки физиологического состояния фотосинтетического аппарата растений. *Физиология растений*. 2016;63(6):881-907). DOI: 10.7868/S0015330316050055
- Korsakova S.P., Korsakov P.B. Changes in climatic norms on the Southern coast of Crimea over the past 90 years. *Plant Biology and Horticulture: Theory, Innovation*. 2023;2(167):84-95. [in Russian] (Корсакова С.П., Корсаков П.Б. Изменение климатических норм на Южном берегу Крыма за последние 90 лет. *Биология растений и садоводство: теория, инновации*. 2023;2(167):84-95). DOI: 10.25684/2712-7788-2023-2-167-84-95
- Kushnirenko M.D., Kurchatova G.P., Kryukova E.V. Methods for assessing the drought tolerance of fruit plants (Metody otsenki zasukhoustoychivosti plodovykh rasteniy). Chisinau: Stiinta; 1976. [in Russian] (Кушниренко М.Д., Курчатова Г.П., Крюкова Е.В. Методы оценки засухоустойчивости плодовых растений. Кишинев: Штиинца; 1976).
- Lishchuk A.I. Physiological and biophysical methods in fruit crop breeding. Guidelines (Fiziologicheskiye i biofizicheskiye metody v selektsii plodovykh kultur. Metodicheskiye rekomendatsii). Moscow; 1991. [in Russian] (Лищук А.И. Физиологические и биофизические методы в селек-

- ции плодовых культур. Методические рекомендации. Москва; 1991).
- Lysenko V.S., Varduni T.V., Soier V.G., Krasnov V.P. Plant chlorophyll fluorescence as an environmental stress characteristic: a theoretical basis of the method application. *Fundamental Research*. 2013;(4-1):112-120. [in Russian] (Лысенко В.С., Вардуни Т.В., Соьер В.Г., Краснов В.П. Флуоресценция хлорофилла растений как показатель экологического стресса: теоретические основы применения метода. *Фундаментальные исследования*. 2013;(4-1):112-120).
- Percival G.C., Keary I.P., Al-Habsi S. An assessment of the drought tolerance of *Fraxinus* genotypes for urban landscape plantings. *Urban Forestry and Urban Greening*. 2006;5(1):17-27. DOI: 10.1016/j.ufug.2006.03.002
- Pereira W.E., de Siqueira D.L., Martínez C.A., Puiatti M. Gas exchange and chlorophyll fluorescence in four citrus rootstocks under aluminium stress. *Journal of Plant Physiology*. 2000;157(5):513-520. DOI: 10.1016/S0176-1617(00)80106-6
- Qafarova O.O. Introduction, selection and biological features of floribunda group roses on the Absheron. Baku: Elm; 2020. [in Russian] (Кафарова О.О. Интродукция, селекция и биологические особенности роз группы флорибунда на Абшероне. Баку: Элм; 2020). URL: https://www.onlinebotany.az/pdf/ofeliya_kafarova.pdf [дата обращения: 06.02.2024].
- Romanov V., Galelyuka I., Babenko YV. Portable fluorometer Floratest and specifics of its application. *Sensor Electronics and Microsystem Technologies*. 2010;7(3):39-44. DOI: 10.18524/1815-7459.2010.3.114470
- Schreiber U., Bilger W., Neubauer C. Chlorophyll fluorescence as a non-intrusive indicator for rapid assessment of *in vivo* photosynthesis. In: E.D. Schulze, M.M. Caldwell (eds). *Springer Study Edition, Vol 100: Ecophysiology of Photosynthesis*. Berlin; Heidelberg: Springer; 1995. p.49-70. DOI: 10.1007/978-3-642-79354-7_3
- Stirbet A., Govindjee G. On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll *a* fluorescence induction) and Photosystem II: basics and applications of the OJIP fluorescence transient. *Journal of Photochemistry and Photobiology. B: Biology*. 2011;104(1-2):236-257. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2010.12.010
- Strasser R.J., Tsimilli-Michael M., Qiang S., Goltsev V. Simultaneous *in vivo* recording of prompt and delayed fluorescence and 820-nm reflection changes during drying and after rehydration of the resurrection plant *Haberlea rhodopensis*. *Biochimica et Biophysica Acta – Bioenergetics*. 2010;1797(6-7):1313-1326. DOI: 10.1016/j.bbabi.2010.03.008

Информация об авторах

Руслана Адольфовна Пилькевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр Российской академии наук, 298648 Россия, Республика Крым, Ялта, Никита, Никитский спуск, 52, pilkevich-r@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4079-4514>

Светлана Алексеевна Плугатарь, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр Российской академии наук, 298648 Россия, Республика Крым, Ялта, Никита, Никитский спуск, 52, gardenroses@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7234-6217>

Татьяна Борисовна Губанова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр Российской академии наук, 298648 Россия, Республика Крым, Ялта, Никита, Никитский спуск, 52, gubanova-65@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6096-7211>

Information about the authors

Ruslana A. Pilkevich, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Nikita Botanical Gardens – National Research Center of the Russian Academy of Sciences, 52 Nikitsky Spusk, Nikita, Yalta 298648, Republic of Crimea, Russia, pilkevich-r@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4079-4514>

Svetlana A. Plugatar, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Nikita Botanical Gardens – National Research Center of the Russian Academy of Sciences, 52 Nikitsky Spusk, Nikita, Yalta 298648, Republic of Crimea, Russia, gardenroses@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7234-6217>

Tatyana B. Gubanova, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Nikita Botanical Gardens – National Research Center of the Russian Academy of Sciences, 52 Nikitsky Spusk, Nikita, Yalta 298648, Republic of Crimea, Russia, gubanova-65@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6096-7211>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 04.04.2024; одобрена после рецензирования 17.09.2024; принята к публикации 03.12.2024. The article was submitted on 04.04.2024; approved after reviewing on 17.09.2024; accepted for publication on 03.12.2024.