

БОТАНИКА И ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

УДК: 58.01/07

**ОСОБЕННОСТИ ФОТОСИНТЕЗА НЕКОТОРЫХ
ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ РАСТЕНИЙ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА****Юрий Владимирович Плугатарь, Владимир Петрович Коба,
Никита Александрович Макаров**Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН,
298648, Республика Крым, Ялта, пгт Никита, спуск Никитский, 52
E-mail: kobavp@mail.ru

Исследования проводили в августе 2025 г. в природных насаждениях и парковых сообществах Южного берега Крыма (ЮБК). Специфику фотосинтеза изучали с использованием портативного хронофлуориметра «Floratest». Для оценки функционального состояния фотосинтетического аппарата у изучаемых видов растений измеряли параметры индуцированной флуоресценции фотосинтеза (ИФХ). Проведенные исследования специфики фотосинтеза позволили выявить, что в условиях воздействия засухи и повышенных температур проявляются существенные видовые различия в уровне реакции древесно-кустарниковых растений ЮБК на действие негативных погодных явлений. У *Q. pubescens* выявлены пониженные значения вариабельной флуоресценции. При этом F_v/F_m у *Q. pubescens* были ниже в сравнении с *Q. ilex* и *F. ornus*. Для *Q. pubescens* отмечен низкий показатель жизненного состояния. В целом по характеристике фотосинтеза автохтонный вид *Q. pubescens* в засушливый период летнего сезона проявил снижение уровня физиологических процессов поддержания жизненных функций в сравнении интродуцированными видами древесных растений. Из кустарниковых растений *B. aquifolium* характеризовалась наиболее высокой устойчивостью к действию засухи и повышенных температур. У *A. japonica* в этих условиях наблюдалось существенное снижение показателей, характеризующих эффективность фотосинтеза и жизненное состояние растений.

Ключевые слова: древесно-кустарниковые растения; фотосинтез; флуоресценция; засуха; температура; жизненное состояние

Введение

Древесно-кустарниковые растения являются важнейшим элементом природных ландшафтов. В структуре растительных сообществ они образуют экологический каркас, определяющий специфику микроусловий произрастания и формирования сопутствующих фитоценологических компонентов (Сукачёв, 1964). Оценка жизненного состояния древесно-кустарниковых растений является важнейшей задачей формирования системы охраны и поддержания устойчивого развития автохтонных и культивируемых видов растений. Особое значение это имеет для регионов с высокой антропогенной нагрузкой, к которым относится Южный берег Крыма (ЮБК). Расширение урбанизированных территорий, хаотическая застройка прибрежной зоны, строительство автострад, увеличение потока неорганизованных рекреантов – все это негативно влияет на состояние уникальных растительных сообществ региона (Агаркова-Лях, Лях, 2021). В последние десятилетия значительно возросло влияние абиотических факторов внешней среды, связанное с ростом температуры, снижением увлажненности особенно в летний период, что отрицательно влияет на рост и развитие растений. В настоящее время важное значение приобретает проблема разработки принципов разработки методов ранней диагностики изменения состояния растений в связи с негативным внешним воздействием. Наиболее перспективным в этом плане являются биофизические методы анализа жизнедеятельности растений при действии стрессора (Плугатарь, 2024). Сегодня все более широкое применение получает проведение полевых наблюдений с использованием портативных флуориметров,

которые позволяют без нарушения целостности и повреждения отдельных структур изучать динамику процессов фотосинтеза, характеризующих состояние растений (Гольцев и др., 2016; Грибкова и др., 2020; Krause, Weis, 1991; Korneev, 2022). Фотосинтез является важнейшей жизненной функцией растений, определяющей преобразование энергии света в энергию химических связей органических соединений, протекающий с участием хлорофилла (Холл, Рао, 1983; Гетманская, Емелин, 2024). Эффективность фотосинтеза в значительной степени зависит от условий произрастания, влияния факторов внешней среды, прежде всего абиотических (Moustakas et al., 2022). Изменение температурного режима и влагообеспечения оказывает непосредственное влияние на динамику процессов образования органических веществ из неорганических (углекислого газа и воды) под действием энергии света (Холл, Рао, 1983; Мокроносов и др., 2006). В стрессовых ситуациях высоких температур и водного дефицита снижение фотосинтеза может определить ухудшение состояния растений, при возрастании негативного воздействия привести к их гибели. Поэтому, изучение специфики фотосинтеза различных растений в связи с особенностями условий произрастания позволяет оценить их биологический потенциал, уровень экологической пластичности при адаптации к действию негативных факторов внешней среды.

Целью исследований являлось изучение специфики процесса фотосинтеза некоторых древесно-кустарниковых растений ЮБК в засушливый период летнего сезона, оценка их реакции и степени устойчивости при действии повышенных температур и водном дефиците.

Объекты и методы исследования

Исследования проводили в августе 2025 г. в природных насаждениях и парковых сообществах ЮБК. В качестве объектов наблюдений были взяты три вида древесных растений – дуб пушистый (*Quercus pubescens* Willd), дуб каменный (*Quercus ilex* L.), ясень маньчжурский (*Fraxinus ornus* L.) и три вида кустарниковых растений – олеандр (*Nerium oleander* L.), барбарис падуболистный (*Berberis aquifolium* Pursh), аукуба (*Aucuba japonica* Thunb.). Данные растения широко распространены на территории изучаемого региона.

Оценку специфики фотосинтеза проводили с использованием портативного хронофлуориметра «Floratest», соединенного через интерфейс с переносным компьютером, что обеспечивало возможность формирования цифровой базы анализируемых параметров непосредственно в процессе проведения наблюдений. Для оценки функционального состояния фотосинтетического аппарата у изучаемых видов растений измеряли параметры индуцированной флуоресценции фотосинтеза (ИФХ), индукции кривой. Между пластинками выносного рабочего сенсора помещали листовую пластинку растения. Выносной сенсор освещает синим цветом часть листовой пластинки диаметром до 5 мм. Под действием этого света в хлорофилле возбуждается красная флуоресценция. Флуоресцентный сигнал через красный светофильтр поступает на фотоприемник сенсора, который преобразует его в электрический. Электрический сигнал фотоприемника, пропорциональный флуоресценции хлорофилла, поступает в процессорный модуль флуориметра (Romanov et al., 2010).

Информация в виде кривой индукции флуоресценции хлорофилла отражается на дисплее прибора или на экране компьютера. Эта кривая характеризует физиологическое состояние всей цепочки фотосинтеза и кинетику его различных звеньев (Гольцев, 2016). Изменения в отдельном звене фотосинтеза приводят к изменению внешнего вида кривой ИФХ. По форме этой кривой и отдельных ее

участков можно оценивать и прогнозировать степень влияния на растение факторов внешней среды. Оценивали цифровые показатели ИФХ: базовый уровень флуоресценции F_0 , максимальное значение флуоресценции F_m . Расчетные параметры определяли по следующим формулам. Вариабельная флуоресценция – $F_v = F_m - F_0$. Эффективность световой фазы фотосинтеза – F_v/F_m . Показатели стрессового состояния растения (в норме 4–5) – F_m/F_0 . (Романов, 2010). С использованием данных агрометеостанции «Никитский сад» станции анализировали погодные условия летнего периода 2024 и 2025 гг. Применяя гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова Г.Т. определяли режим увлажненности (Селянинов, 1937). Цифровые результаты наблюдений обрабатывали, используя методы вариационной статистики (Катмаков, 2025).

Результаты и их обсуждение

ЮБК занимает полосу черноморского побережья Крыма на южном склоне Главного хребта Крымских гор от мыса Айя на западе до массива Карадаг на востоке протяжённостью около 150–180 км и шириной 2–8 км. Климатической особенностью региона является то, что здесь господствует субтропический средиземноморский климат сухого, полусухого и полувлажного типов в зависимости от господствующих ветров и высоты над уровнем моря. Площадь этой узкой полосы составляет порядка 1255 км² или около 18 % территории Горного Крыма. ЮБК характеризуется большим разнообразием растительности: здесь произрастает свыше 1500 видов растений, из которых около 1000 видов являются интродуцентами.

На рост и развитие древесно-кустарниковых растений большое влияние оказывают почвенно-климатические условия произрастания. Средняя годовая температура воздуха на ЮБК 13°C–13,9°C. Лето сухое, жаркое. Морские бризы оказывают заметное влияние на динамику температур, особенно дневных. Средняя температура воздуха 23°C–25°C. В полдень в июле – августе она поднимается до 26°C–28°C, максимальная в отдельные годы до 35°C–37°C. Большая часть атмосферных осадков выпадает в зимний период, их объем увеличивается с запада к центральной части ЮБК от 390 до 610 мм в год и далее в восточном направлении снижается до 430 мм. Наиболее засушливым сезоном является вторая половина лета и начало осени (Ведь, 2000).

На ЮБК преобладают коричневые щебнистые почвы сухих лесов. Представлены они карбонатными, некарбонатными и солонцеватыми разновидностями. Коричневые почвы сформировались в условиях сухого средиземноморского климата под низкорослой древесной и кустарниковой растительностью – *Quercus pubescens* Willd., *Pistacia atlantica* Desf., *Carpinus orientalis* Mill, *Juniperus excelsa* M. Bieb. и другими ксерофитными видами на различных по своим свойствам материнских породах (известняках, сланцах, конгломератах, мергелях, песчаниках, их глинисто-щебнистом элювии и смешанном делювии) (Кочкин, 1952).

В 2025 г. средняя температура за летние месяцы составила 24,3°C, что было незначительно ниже данного показателя в 2024 г. (25,9°C) (табл. 1). Сумма атмосферных осадков за летний период в 2025 г. была 43 мм это на 29% меньше в сравнении с 2024 г. (61 мм). Данная ситуация заметно повлияла на увеличение сухости. В 2024 г. средняя величина ГТК Селянинова Г.Т. за летний период составила 0,27, в 2025 г. она снизилась до 0,19, то есть уменьшилась на 30%. Таким образом, летний сезон 2025 г. по характеристике увлажненности был достаточно неблагоприятным для роста и развития растений.

Q. pubescens светолюбивый ксерофит. Невысокое дерево (до 12–18 метров) с широкой кроной. Молодые побеги сильно опушённые. Листья 5–10 см длиной,

полиморфны по форме и величине, с 4–8 парами тупых или заострённых лопастей, сверху тёмно-зелёные, голые, снизу серо-зелёные, опушённые. Чешуйки плоские, окружающей жёлудь, также пушистые. Возраст отдельных деревьев *Q. pubescens* достигает 1000 лет. Произрастает в Закавказье, Южной Европе и Малой Азии. В Крыму распространен на ЮБК. Образует ксерофитные редколесья на содержащих известь породах. Растет в лесах нижнего пояса на южных склонах гор, поднимаясь на высоту до 400 метров над уровнем моря.

Таблица 1

Погодные условия летнего периода 2024–2025 гг. в районе проведения исследования

Table 1

Weather conditions of the summer period 2024–2025 in the research area

Месяц / Month	Декада / Decade	Сред. темп. °C / Everage temperature °C	Кол. осадков, мм. / Amount of precipitation, mm.	ГТК / ННС
2024				
Июнь / June	I	23,0	1,5	0,07
	II	23,6	38,9	1,65
	III	24,1	0,0	0,00
Июль / July	I	28,5	0,2	0,01
	II	31,0	8,5	0,27
	III	25,8	9,0	0,32
Август / August	I	25,1	1,3	0,05
	II	26,3	0,0	0,00
	III	26,0	1,8	0,06
2025				
Июнь / June	I	23,2	1,3	0,06
	II	21,7	7,1	0,33
	III	21,0	1,5	0,07
Июль / July	I	24,1	6,5	0,27
	II	25,8	9,5	0,37
	III	27,4	0,0	0,00
Август / August	I	26,8	17,5	0,66
	II	24,5	0,0	0,00
	III	23,9	0,0	0,00

Форма кривой ИФХ чувствительна к изменениям в фотосинтетическом аппарате растений при адаптации к различным условиям среды. Это является основанием для широкого использования эффекта Каутского в исследованиях фотосинтеза. Повышение температуры среды относительно оптимальной для данного вида растений приводит к уменьшению разности $F_v = F_m - F_0$. Причиной является снижение активности электрон-транспортной цепи или световой активности фотосинтеза. При увеличении температуры до деструктивного уровня (45–50 °C) интенсивность F_0 заметно возрастает. Используя эти параметры, можно оценивать устойчивость растений к воздействию высоких температур. При выполнении наблюдений интенсивность флуоресценции определяли в относительных единицах. Максимальная температура воздуха в период проведения исследований изменялась в пределах 34–36 °C, его влажность варьировала от 50 до 56% при этом более 20 дней не наблюдалось атмосферных осадков. Таким образом, изучаемые растения по характеристике температурного и влажностного режима пребывали в ситуации близкой к стрессовой.

Для *Q. pubescens* базовый уровень флуоресценции F_0 составил 416, максимальное значение флуоресценции F_m – 1280 (рис. 1). Расчетные параметры имели следующие показатели. Вариабельная флуоресценция $F_v = 864$. Эффективность световой фазы фотосинтеза $F_v/F_m = 0,68$. Характеристика $F_m/F_0 = 3,08$.

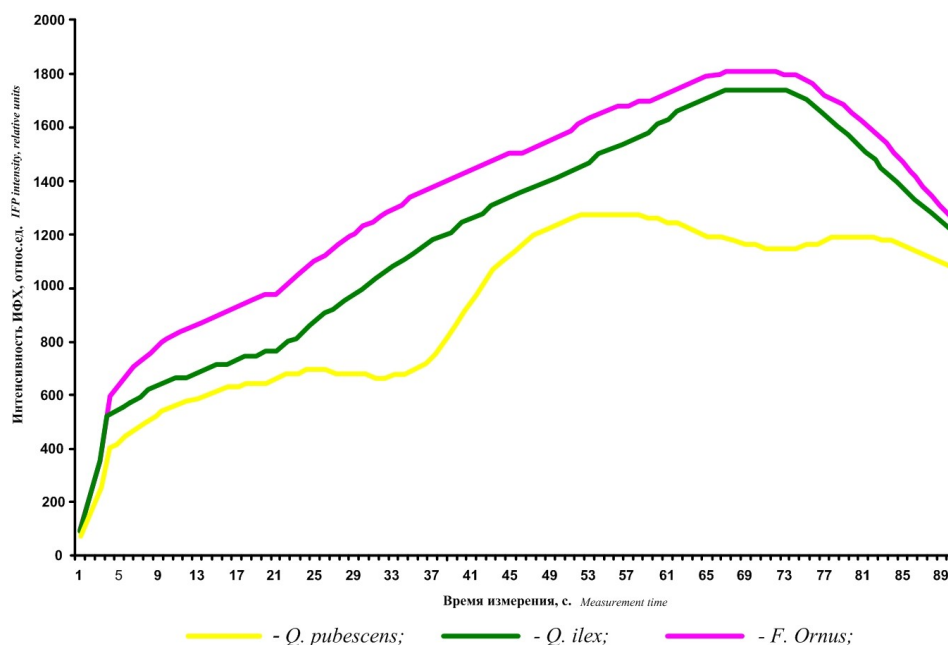


Рис. 1 Динамика индукции флуоресценции хлорофилла древесных видов растений
Fig. 1 Dynamics of chlorophyll fluorescence induction in woody plant species

Q. ilex – вечнозелёное средней высоты дерево с гладкой, тёмно-серой корой, формирует яйцевидную или шатровидную крону. Молодые побеги с густым войлочным сероватым опушением. Листорасположение очередное. Листья 2,5–7,5 см, различной формы: овальные, эллиптические, узкоовальные, широколанцетные, кожистые, плотные, с 8–10 парами изогнутых или прямых боковых жилок, цельно-крайные или по краю с несколькими закруглёнными зубцами. Сверху листья кожистые, блестящие, голые или почти голые, снизу с густым опушением.

Естественный ареал: Юго-Восточная и Юго-Западная Европа, Северная Африка, Турция. Является лесообразующей породой, растёт в составе маквиса, на известковых холмах, в засушливых местах. Поднимается на высоту до 1200 м. Введён в культуру в XVI столетии. Широко культивируется в Южной Европе и по Атлантическому побережью до южной Англии. На территории России введён в культуру в 1819 году. В Никитском ботаническом саду имеются старые особи высотой около 20 метров и большое число молодых растений. Широко распространён в парках ЮБК. Хорошо переносит кратковременные заморозки в Южном Крыму, но подмерзает на севере Крыма. В Крыму и на Черноморском побережье Кавказа обильно и регулярно плодоносит.

Изменения в характере индукции флуоресценции проявляются в ослаблении проницаемости мембранных структур хлоропластов. Это приводит к существенному увеличению временных характеристик индукции флуоресценции, которые затем медленно спадают. При этом проявляются заметные видовые различия. Резкое снижение их величины характерно для глубоких функциональных повреждений фотосинтетических структур и клеток конкретного растения в целом. В период воздействия температуры и засухи проявляются существенные видовые различия в устойчивости к фактору высушивания фотосинтетических структур.

Кривая индукции флуоресценции хлорофилла *Q. ilex* существенно отличается от аналогичной кривой *Q. pubescens*. Наблюдается более интенсивный рост параметров, характеризующих специфику фотосинтеза *Q. ilex*. Базовый уровень флуоресценции F_0 составил 525, что на 20,8% больше в сравнении с *Q. pubescens*. Максимальное значение

флуоресценции F_m было 1744, что также существенно выше в сравнении с *Q. pubescens*. Расчетные параметры имели следующие величины. Заметно была выше вариабельная флуоресценция $F_v = 1216$ и эффективность световой фазы фотосинтеза $F_v/F_m = 0,70$. При этом несколько увеличился показатель стрессового состояния растения $F_m/F_0 = 3,30$.

F. ornus – ареал вида охватывает Испанию, Италию, Австрию, Южную Чехию, Балканы, Турцию, некоторые районы Закавказья, Западную Сирию и Ливан. Искусственные декоративные насаждения встречаются на Кавказе и в Крыму. В промышленных масштабах растение культивируется только в Сицилии. Дерево высотой 10–15 м, иногда до 20 м. Ствол 20–60 см в диаметре, короткий, сбежистый. Крона низко посаженная, хорошо разветвлённая, широкояйцевидная, округлая или шатровидная. Листья сложные, состоящие из 5–11 листочков. Листья 3–10 см длиной, 2–4 см шириной, на коротких, желобчатых, буроватойлочных черешках, яйцевидные, эллиптические.

Графическая характеристика индукции флуоресценции хлорофилла *F. ornus* достаточно близка к показателям индукции флуоресценции хлорофилла *Q. ilex* и существенно отличается от аналогичной кривой *Q. pubescens*. При этом происходит более интенсивный рост параметров, характеризующих фотосинтезирующую активность *F. ornus*. Базовый уровень флуоресценции F_0 составил 592, что на 29,8% больше в сравнении с *Q. pubescens*. и на 11,0% в сравнении с *Q. ilex*. Максимальное значение флуоресценции F_m составило 1808, стационарный уровень флуоресценции $F_{st} = 967$, это заметно выше, чем у *Q. pubescens* и *Q. ilex*. Расчетные параметры имели следующие показатели. Вариабельная флуоресценция была такой же, как и у *Q. ilex* – 1216. Эффективность световой фазы фотосинтеза F_v/F_m была ниже – 0,67, что меньше, чем у *Q. ilex* и *Q. pubescens*. Показатель стрессового состояния растения был наиболее низким в сравнении с *Q. ilex* и *Q. pubescens* и составил $F_m/F_0 = 3,03$.

Анализируя в целом особенности фотосинтеза изученных трех видов древесных растений в засушливый период летнего сезона 2025 г. следует отметить, что значение интенсивности флуоресценции хлорофилла в точке максимума может определять уровень водного дефицита. В условиях воздействия засухи и повышенных температур проявились заметные различия специфики фотосинтеза у изучаемых видов древесных растений, характеризующие их устойчивость к неблагоприятным погодным явлениям. У *Q. pubescens* выявлены пониженные значения вариабельной флуоресценции, это свидетельствует о снижении фотосинтетической активности и росте тепловой диссипации в условиях дефицита влаги. Очевидно, это связано с тем, что в настоящее время насаждения *Q. pubescens* на ЮБК представлены порослевыми древостоями 3–4 генерации. Мощная корневая система материнского растения в той или иной степени обеспечивает стабильность транспорта влаги к ассимиляционным структурам в засушливый период. При этом величина F_v/F_m , определяющая квантовый выход фотосинтеза и потенциальную квантовую эффективность ФС 2 у *Q. pubescens* были ниже в сравнении с *Q. ilex* и *F. ornus*. Для *Q. pubescens* был также отмечен низкий показатель жизненного состояния – F_m/F_0 , не на много превышающий значения, полученные для *F. ornus*. Таким образом, по характеристике специфики фотосинтеза автохтонный вид древесных растений *Q. pubescens* в засушливый период летнего сезона проявил снижение устойчивости к негативным погодным явлениям в сравнении интродуцированными видами древесных растений, использованных при проведении наблюдений. Очевидно, это связано с тем, что естественный ареал произрастания *Q. ilex* и *F. ornus* характеризуются более теплыми и засушливыми условиями, чем природная территория произрастания *Q. pubescens*, а также значительным возрастом его древостоев, который с учетом 4–5 порослевых генераций следует определить в

пределах 350–400 лет (Коба, 2023). В связи с тенденцией постоянного возрастания температуры даже на региональном уровне, связанной с глобальным изменением климата (Груза, 2012), следует ожидать снижение конкурентных преимуществ *Q. pubescens* и замещение его в природных формациях видами древесных растений, более устойчивых к действию высоких температур и засухи.

N. oleander – крупный вечнозелёный кустарник. Произрастает в сухих и полусухих субтропиках от Марокко и Португалии на западе до Южного Китая на востоке. Олеандр часто занимает русла пересыхающих рек. На территории России культивируется на ЮБК, Черноморском побережье Кавказа, в Закавказье, южных районах Средней Азии. Листья узкие, до 10–15 см длиной и до 3 см шириной, ланцетные или линейно-ланцетные, на коротких черешках. Растение засухоустойчивое и теплолюбивое, в зимнее время выдерживает непродолжительные понижения температуры до минус 10 °С. Хорошо растет в средиземноморских регионах. В качестве декоративного растения олеандр широко используется в ландшафтном дизайне в регионах с субтропическим климатом.

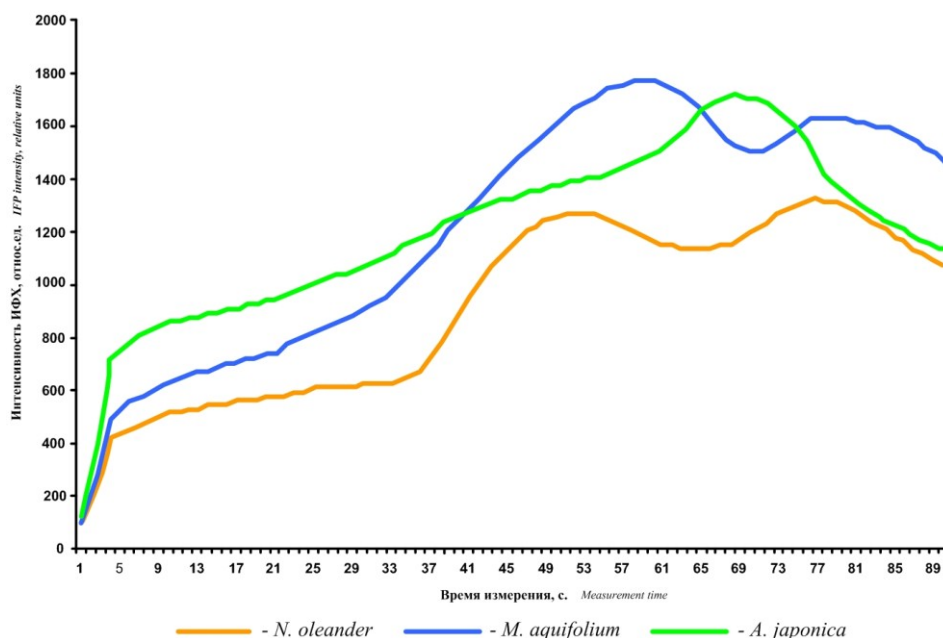


Рис. 2 Динамика индукции флуоресценции хлорофилла кустарниковых видов растений
Fig. 2 Dynamics of chlorophyll fluorescence induction in shrubby plant species

При изучении особенностей фотосинтеза у кустарниковых растений было установлено, что у *N. oleander* базовый уровень флуоресценции F_0 составил 416, максимальное значение флуоресценции F_m – 1380 (рис. 2), что приближается к аналогичным показателям для *Q. pubescens*. При этом варибельная флуоресценция увеличилась на 11,6% и была 964. Эффективность световой фазы фотосинтеза F_v/F_m – 0,70. Уровень стрессового состояния растения F_m/F_0 – 3,32. Эти три показателя практически совпали с аналогичными характеристиками для *Q. ilex*.

Естественный ареал *B. aquifolium* – западные штаты Северной Америки, от Британской Колумбии до Калифорнии. В Европе он был интродуцирован в 1823 г. В настоящее время получил широкое распространение, включая территорию России. Встречается в средней полосе и южных регионах России. *B. aquifolium* – вечнозелёный кустарник высотой до 1 м, образующий заросли из-за разрастания корневыми отпрысками. Листья сложные, длиной до 15–20 см, черешок обычно красноватый; листочки кожистые, сверху тёмно-зелёные, глянцевые, с вдавленной сетью жилок,

снизу матовые, бледно-зелёные, по краю выемчато-острозубчатые, длиной 3–9 см, шириной 1,5–2,5 см.

Для *B. aquifolium* базовый уровень флуоресценции F_0 составил 480, на 15,4% больше в сравнении с *N. oleander*. Заметно были выше максимальное значение флуоресценции F_m – 1776, что определило значительное повышение варибельной флуоресценции. Это характеризует увеличение реакции изменения активности фотосинтеза *B. aquifolium* в условиях засухи в сравнении с *N. oleander*. Отмечено повышение эффективности световой фазы фотосинтеза F_v/F_m – 0,73. Относительно высокой была также величина стрессового состояния растения. Таким образом, *B. aquifolium* в сравнении с *N. oleander* более устойчива к действию засухи, у неё выше экологическая пластичность и возможность успешно произрастать при негативном воздействии дефицита увлажнения. Очевидно, это связано с морфологическими особенностями *B. aquifolium*. Кожистая, глянцевая поверхность листовой пластинки обеспечивает снижение перегрева хлорофиллосодержащих структур при действии высоких температур. Плотная хорошо развитая корневая система, позволяет данному виду успешно произрастать в условиях низкого содержания влаги в почве (Лысенко, 2014; Федорова и др., 2018).

A. japonica – золотое дерево (*Aucuba*), из семейства Coigaeae. Встречается от севера Индии и востока Тибета до побережья Жёлтого моря, а также в Японии, Тайване и на полуострове Корея. Вечнозелёный кустарник с кожистыми листьями и красновато-коричневыми цветами. *A. japonica* – широко используется как декоративное растение, интродуцирована в Европу из Японии и Китая, где культивируется в течение столетий, имеет много разновидностей с блестящими листьями, овальными или удлинённо-ланцетовидными, достигает высоты 2,5 м.

A. japonica характеризовалась самым высоким уровнем из изучаемых древесно-кустарниковых растений показателей базовой флуоресценции F_0 – 720 и стационарной флуоресценции F_{st} – 1040. Максимальное значение флуоресценции F_m – 1728 также было сравнительно высоким. Значительно увеличилась варибельная флуоресценция – 1008. При этом показатели, характеризующие жизненное состояние растений были наиболее низкими. Эффективность световой фазы фотосинтеза F_v/F_m – 0,58. Показатель стрессового состояния растения был 2,40. Низкая активность фотосинтеза, очевидно, определяется тем, что *A. japonica* характеризуется пестролистностью, это существенно снижает эффективность фотосинтеза и увеличивает риски угнетения растения в неблагоприятных условиях произрастания при действии высоких температур и засухи (Лысенко и др., 2014; Matishov et al., 2010).

Таким образом, из изученных кустарниковых растений *B. aquifolium* проявила наиболее высокую устойчивость к действию засухи и повышенных температур. У *A. japonica* в этих условиях наблюдалось низкая активность фотосинтеза и жизненного состояния. Сравнительный анализ специфики фотосинтеза древесных и кустарниковых растений при негативном воздействии повышенных температур и засухи показал, что использование метода оценки индукции флуоресценции хлорофилла позволяет на видовом уровне достаточно четко характеризовать динамику реакции отдельных видов растений на действие стрессора, анализировать их жизненное состояние и экологическую пластичность при адаптации к факторам внешней среды.

Заключение

Проведенные исследования специфики фотосинтеза позволили выявить, что в условиях воздействия засухи и повышенных температур проявляются существенные видовые различия в реакции древесно-кустарниковых растений ЮБК на действие негативных погодных явлений. У *Q. pubescens* выявлены пониженные значения

вариабельной флуоресценции, это свидетельствует о снижении фотосинтетической активности и росте тепловой диссипации в условиях дефицита влаги. Величина F_v/F_m , определяющая квантовый выход фотосинтеза и потенциальную квантовую эффективность ФС 2 у *Q. pubescens* были ниже в сравнении с *Q. ilex* и *F. ornus*. У *Q. pubescens* выявлены пониженные значения вариабельной флуоресценции, это свидетельствует о снижении фотосинтетической активности и росте тепловой диссипации в условиях дефицита влаги. Таким образом, по характеристике фотосинтеза автохтонный вид древесных растений *Q. pubescens* в засушливый период летнего сезона проявил снижение устойчивости к действию негативных погодных явлений в сравнении с интродуцированными видами древесных растений, использованных при проведении наблюдений. Это связано с тем, что естественный ареал *Q. ilex* и *F. ornus* характеризуются более теплыми и засушливыми условиями, чем природная территория произрастания *Q. pubescens*, а также возрастом его древостоев, которые с учетом количества их порослевых генераций следует отнести к великовозрастным. В условиях увеличения температурного фона следует ожидать снижение конкурентных преимуществ *Q. pubescens* и замещение его в природных формациях видами древесных растений более устойчивых к действию повышенных температур и засухи. Из кустарниковых растений *B. aquifolium* проявила наиболее высокую устойчивость к действию засухи и повышенных температур. У *A. japonica* в этих условиях наблюдалось существенное уменьшение показателей, характеризующих эффективность фотосинтеза и жизненное состояние растений. Сравнительный анализ специфики фотосинтеза древесных и кустарниковых растений при негативном воздействии повышенных температур и засухи показал, что использование метода оценки индукции флуоресценции хлорофилла позволяет на видовом уровне оценивать реакцию отдельных видов растений на действие стрессора, анализировать их жизненное состояние и экологическую пластичность при адаптации к факторам внешней среды.

Литература / References

- Агаркова-Лях И.В., Лях А.М. Антропогенная трансформация ландшафтов Юго-Западного Крыма в окрестностях Балаклавы за период с 1836 по 2017 гг. // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 1. С. 85-89. DOI 10.25750/1995-4301-2021-1-085-089.
- [Agarkova-Lyakh I.V., Lyakh A.M. Anthropogenic transformation of the landscapes of southwestern Crimea in the vicinity of Balaklava from 1836 to 2017 // Theoretical and Applied Ecology. 2021. 1:85-89. DOI 10.25750/1995-4301-2021-1-085-089]
- Ведь И.П. Климатический атлас Крыма. Симферополь: Таврия-Плюс, 2000. 120 с.
- [Ved' I.P. Climatic atlas of the Crimea. Simferopol: Tavria-Plus, 2000. 120 p.]
- Гетманская В.А., Емелин А.В. Физика фотосинтеза: как световые волны влияют на процесс фотосинтеза и рост растений // Тенденции развития науки и образования. 2024. № 116-20. С. 127-130. DOI: 10.31857/S0015330322600395.
- [Getmanskaya V.A., Emelin A.V. Physics of photosynthesis: how light waves affect the photosynthesis process and plant growth // Trends in Science and Education. 2024. 116-20:127-130. DOI: 10.31857/S0015330322600395].
- Гольцев В.Н., Каладжи Х.М., Паунов М., Баба В., Хорачек Т., Мойски Я., Коцел Х., Аллахвердиев С.И. Использование переменной флуоресценции хлорофилла для оценки физиологического состояния фотосинтетического аппарата растений // Физиология растений. 2016. Т. 63. № 6. С. 881-912. DOI 10.7868/S0015330316050055.

[Goltsev V.N., Kaladzhi Kh.M., Paunov M., Baba V., Khorachek T., Moisky Ya., Kotsel Kh., Allakhverdiev S.I. The use of variable chlorophyll fluorescence to assess the physiological state of the photosynthetic apparatus of plants // Plant Physiology. 2016. 63(6):881-912. DOI 10.7868/S0015330316050055.]

Грибкова А.А., Дерендовская А.И., Секриеру С.А. Адаптивные особенности винограда сорта бианка при произрастании на склонах // Виноградарство и виноделие. 2020. Т. 49. С. 143-146.

[Gribkova A.A., Derendovskaya A.I., Sekrieru S.A. Adaptive features of the Bianca grape variety when growing on slopes // Viticulture and Winemaking. 2020. 49:143-146].

Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МДЦ», 2012. 194 с.

[Gruza G.V., Rankova E.Ya. Observed and expected changes in Russia's climate: air temperature. Obninsk: FGBU "VNIIGMI-MDC", 2012. 194 p.]

Катмаков П. С., Гавриленко В. П., Бушов А. В. Биометрия. Москва: Издательство Юрайт, 2025. 186 с. ISBN 978-5-534-15732.

[Katmakov P.S., Gavrilenko V.P., Bushov A.V. Biometrics. Moscow: Yurait Publishing House, 2025. 186 p. ISBN 978-5-534-15732]

Коба В.П., Пшеничников Н.А., Нагорняк А.А. Возобновление *Quercus pubescens* Willd. в заповеднике «Мыс Мартьян» // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартьян». 2023. Вып. 14. С. 150–156.

[Koba V.P., Pshenichnikov N.A., Nagornyak A.A. The restocking of *Quercus pubescens* Willd. in the “Cape Martyan” Nature Reserve // Scientific notes of the Cape Martyan Nature Reserve. 2023. 14:150-156.]

Кочкин М.А. Леса Крыма / Крымск. филиал Акад. наук СССР. Симферополь, Крымиздат, 1952. 100 с.

[Kochkin M.A. Forests of the Crimea / Krymsk. Branch of the USSR Academy of Sciences. Simferopol: Krymizdat, 1952. 100 p.]

Лысенко В.С. Фотосинтез в хлорофилл-дефицитных тканях растений: флуоресцентные и фотоакустические исследования. Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2014. 138 с. ISBN 978-5-9275-1195-2.

[Lysenko V.S. Photosynthesis in chlorophyll-deficient plant tissues: fluorescent and photoacoustic studies. Rostov-on-Don: Southern Federal University, 2014. 138 p. ISBN 978-5-9275-1195-2]

Лысенко В.С., Соьер В.Г., Зимаков Д.В. Функциональные особенности фотосинтетической системы нормальных и хлорофилл-дефицитных секторов пестролистных растений *Ficus benjamina* L. // Вестник Южного научного центра РАН. 2010. Т. 6. № 2. С. 38-44.

[Lysenko B.S., Sawyer V.G., and Zimakov D.V. Functional features of the photosynthetic system of normal and chlorophyll-deficient sectors of variegated plants *Ficus benjamina* L. // Bulletin of the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2010. 6(2):38-44.]

Мокроносов А.Т., Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В. Фотосинтез Физиолого-экологические и биохимические аспекты. Москва: Академия, 2006. 448 с.

[Mokronosov A.T., Gavrilenko V.F., and Zhigalova T.V. Photosynthesis: physiological, ecological, and biochemical aspects. Moscow: Akademiya, 2006. 448 p.]

Плугатарь Ю.В., Пилькевич Р.А., Герасимчук В.Н., Губанова Т.Б. Водный режим и функционирование фотосинтетического аппарата вечнозелёных видов рода *Ligustrum* L. в условиях гидротермического стресса // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2024. Вып. 3. № 172. С. 43-52.

[*Plugatar Yu.V., Pilkevich R.A., Gerasimchuk V.N., Gubanov T.B.* Water regime and photosynthetic apparatus functioning in some evergreen *Ligustrum* L. species under the hydrothermal stress // *Plant Biology and Horticulture: theory, innovation.* 2024. 3(172):43-52.]

Селянинов Г.Т. Мировой агроклиматический справочник. Методика сельскохозяйственной характеристики климата. Москва: Гидрометеиздат, 1937. С. 5–27.

[*Selyaninov G.T.* World agro-climatic reference book. Methodology of agricultural climate characteristics. Moscow: Gidrometeoizdat, 1937. P. 5–27.]

Сукачев В.Н., Дылиса Н.В. Основы лесной биogeоценологии. Москва: Наука, 1964. 566 с.

[*Sukachev V.N., Dylisa N.V.* Fundamentals of forest biogeocenology. Moscow: Nauka, 1964. 566 p.]

Федорова О.С., Смыков А.В., Иващенко Ю.А., Иващенко Ю.В. Устойчивость к засухе и фотоактивность листового аппарата сортов персика в условиях Южного берега Крыма // Мат. VIII Межд. научно-практической конференции: Биотехнология как инструмент сохранения биоразнообразия растительного мира (физиолого-биохимические, эмбриологические, генетические и правовые аспекты). 2018. С. 131-132.

[*Fedorova O.S., Smykov A.V., Ivashchenko Yu.A., Ivashchenko Yu.V.* Drought resistance and photoactivity of the leaf apparatus of peach varieties in the conditions of the Southern Coast of Crimea // Materials of the VIII International Scientific and Practical Conference: Biotechnology as a Tool for Preserving the Biodiversity of the Plant World (Physiological, Biochemical, Embryological, Genetic, and Legal Aspects). 2018. Pp. 131-132.]

Холл Д.О., Рао К.К. Фотосинтез. Москва: Мир, 1983. 136 с.

[*Hall D.O., Rao K.K.* Photosynthesis. Moscow: Mir, 1983. 136 p.]

Korneev D.Yu. Informational capabilities of the chlorophyll fluorescence induction method. Kiev: Al't'erpres, 2002. 188 p.

Krause G.H., Weis E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics // Annual review of plant biology. 1991. T. 42. № 1. С. 313-349. DOI:10.1146/annurev.pp.42.060191.001525.

Matishov G.G., Soier V.G., Lysenko V.S. Cyclic electron transport around photosystems i and ii in thylacoids of light-green sectors of variegated *Ficus benjamina* L. leaves Doklady Biological Sciences. 2010. Vol. 435. № 1. С. 425-427. DOI: 10.1134/S0012496610060153

Moustakas M., Guidi L., Calatayud A. Chlorophyll fluorescence analysis in biotic and abiotic stress, volume II // Frontiers in Plant Science. 2022. T. 13. С. 1066865. DOI: 10.3389/fpls.2022.1066865.

Romanov V.A., Galelyuka I.B., Sarakhan E.V. Portable fluorimeter and its application features // Sensor electronics and microsystem technologies. 2010. Vol. 1. № 7.3. P. 146-152.

Статья поступила в редакцию 05.09.2025 г.

Plugatar Yu.V., Koba V.P., Makarov N.A. Features of photosynthesis of some woody and shrubby plants of the Southern Coast of Crimea // Plant Biology and Horticulture: theory, innovation. 2025. № 3 (176). P. 7-18

The research was conducted in August 2025 in the natural plantings and park communities of the Southern Federal District. The specifics of photosynthesis were studied using a portable “Floratest” chronofluorimeter. To assess the functional state of the photosynthetic apparatus in the studied plant species, the parameters of induced photosynthetic fluorescence (IPF) were measured. Studies of the specifics of photosynthesis have revealed that under conditions of exposure to drought and elevated temperatures, significant species differences occur in the level of response of woody and shrubby plants of the SCC to the effects of

negative weather events. Decreased values of variable fluorescence were found in *Q. pubescens*. At the same time, the values of F_v/F_{st} and F_v/F_m , which determine the quantum yield of photosynthesis and the potential quantum efficiency of PS 2 in *Q. pubescens*, were lower in comparison with *Q. ilex* and *F. ornus*. For *Q. pubescens*, a low indicator of the vital condition is noted. In general, according to the features of photosynthesis, the autochthonous species *Q. pubescens*, during the dry period of summer season, showed a decrease in the level of physiological processes of maintaining vital functions in comparison with introduced species of woody plants. Of the shrubby plants, *B. aquifolium* was characterized by the highest resistance to drought and elevated temperatures. In these conditions, *A. japonica* showed a significant decrease in indicators characterizing the efficiency of photosynthesis and the vital state of plants.

Key words: *woody and shrubby plants; photosynthesis; fluorescence; drought; temperature; vital condition*