

УДК 582.923.5:58.032

DOI: 10.36305/2712-7788-2020-2-155-94-101

ОСОБЕННОСТИ РОСТА *JUNIPERUS EXCELSA* M. BIEB. В УСЛОВИЯХ ПОЛЕВОГО ВЕГЕТАЦИОННОГО ОПЫТА ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Олег Антонович Ильницкий, Андрей Владимирович Паштецкий,
Александр Тарасович Гиль

Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН,
298648, Республика Крым, г. Ялта, пгт Никита, Никитский спуск, 52
E-mail: ilnitsky.oleg@mail.ru

Изучена зависимость интенсивности роста *Juniperus excelsa* M. Bieb. от некоторых факторов внешней среды в условиях вегетационного опыта ЮБК. В марте вегетация началась при среднесуточной температуре воздуха 3,5–7,5°C и прирост диаметра ствола составлял 1% (0,68 мм). В июле–августе наблюдается два пика: первый 27 июля – 19 августа – интенсивный рост, второй – после 19 августа выход на плато. В сентябре–октябре наблюдается также два пика: первый 1 сентября – 14 октября – интенсивный рост, второй пик после 14 октября – выход на плато роста и окончание периода вегетации. Оптимальные факторы внешней среды равнялись: в марте–мае $T_v=20-26^\circ\text{C}$, $D_v=0,4-1,2$ кПа, $I=300-900$ мкмоль/м²с; июле–августе $T_v=22-28^\circ\text{C}$, $D_v=1,8-2,5$ кПа, $I=500-1000$ мкмоль/м²с; в сентябре–октябре $T_v=17-25^\circ\text{C}$, $D_v=0,3-1,5$ кПа, $I=400-800$ мкмоль/м²с, соответственно.

Ключевые слова: *Juniperus excelsa* M. Bieb.; динамика роста ствола; температурно-световые оптимумы; эколого-физиологическая характеристика.

Введение

В условиях усиления аридизации территории Южного берега Крыма (ЮБК) и в связи с глобальным изменением климата (Анненков и др., 1984; Ена и др., 2015; Ларина, 1980; Чернявская и др., 2015) исследование эколого-физиологических особенностей редких и охраняемых видов – необходимая основа для их сохранения, разработки экологически обоснованной системы охраны и поддержания биоэкологического потенциала. Одним из таких видов является можжевельник высокий (*Juniperus excelsa* M. Bieb.). Известны работы по условиям произрастания данного вида в условиях ЮБК (Григоров, 1980; Ларина, 1980). В работах показаны особенности структуры фитоценозов формации *Junipereta excelsae* в Горном Крыму. Основные закономерности формирования насаждений этого вида в заповеднике «Мыс Мартьян» и прогноз их дальнейшего развития изложены в работе (Григоров, 1980), дан анализ возрастной структуры популяции можжевельника с чередованием влажных и сухих многолетних периодов. Естественное возобновление вида позволяет наблюдать начало периода закладки в той части древостоя, которая составит в возрастной структуре основу очередного 30–35-летнего цикла. В Средиземноморье (Турция), где произрастает данный вид, проводились исследования по определению экологических признаков для моделирования динамики леса в горах Таурус (Kint et al., 2014). Известна работа по исследованию местообитания *Juniperus excelsa* в юго-западной Анатолии вдоль градиента между средиземноморским и континентальным климатом (Özkan et al., 2010). Особенности водного режима у интродуцированных видов позволяют установить степень адаптированности растений к тем или иным условиям среды (Дроздов, 2003; Кайбейнен, 2007; Larcher, 2003).

Целью работы было исследование зависимостей интенсивности роста *Juniperus excelsa* M. Bieb. от основных факторов внешней среды в процессе вегетации растения, что позволяет определить оптимальные и лимитирующие условия произрастания данного вида в условиях ЮБК.

Объекты и методы исследования

Можжевельник высокий (*Juniperus excelsa*) в Крыму растет от мыса Айя до Карадага, а также в Байдарской долине в нижних горных поясах до высоты 400 м над уровнем моря на солнечных сухих склонах, особенно на кальцитовых почвах и представляет собой вечнозеленое хвойное дерево или кустарник высотой 10–15 м. Репродуктивный цикл (от заложения шишек до созревания семян) в Крыму составляет 27 месяцев. Пыление происходит с середины января до апреля (Ена и др., 2015).

Исследования проводились в условиях вегетационного опыта на территории Центрального отделения Никитского ботанического сада. Растения – саженцы 3–4 лет, выращенные из черенков. Время проведения опытов – март–октябрь 2017–2019 гг. В процессе исследований для нахождения зависимостей между основными метеофакторами и ростом ствола растения орошались до влажности почвы 80–90% НВ.

Для измерения характеристик внешней среды использовали беспроводную систему фитомониторинга, которая включает фитомонитор РМ-11z компании “Bioinstruments S.R.L.”, USB адаптер и набор беспроводных датчиков: метеостанция DWS-11z – измерительный комплекс, объединяющий пиранометр (Apogee Instruments, США), датчик температуры и влажности воздуха, дождемер (Decagon Devices, США) и анемометр (Davis Instruments (США). Изменения диаметра ствола (побега) осуществлялось датчиками FI-Sz, SD-10z подключенным в беспроводную систему Фитомонитора РМ-11z (Ильницкий и др., 2018). Статистическую обработку данных выполняли с использованием прикладных компьютерных программ Statistica 10 (“Statsoft Inc.”, США) и Microsoft Excel 2010. Для моделирования и сглаживания двумерных данных использованы методы наименьших квадратов и робастной локально-взвешенной регрессии (Statistica 10). Все расчеты осуществляли при заданном уровне значимости $P \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение

Проведенная серия опытов в условиях вегетационного опыта позволила определить оптимальные и ограничивающие условия произрастания данного вида в условиях ЮБК.

Рост ствола растения является интегральным показателем, характеризующим физиологическое состояние растения и взаимосвязь процессов его жизнедеятельности с основными факторами внешней среды. В наших исследованиях изменения диаметра ствола измерялись по отношению к его значению в начале эксперимента (базовое значение) в относительных единицах (%) или абсолютных (мм). Диаметр ствола *Juniperus excelsa* в начале эксперимента равнялся 35,67 мм. Изучение этих взаимосвязей проводили в различные периоды вегетации вида – весной (март–май), летом – (июль–август) и осенью – (сентябрь–октябрь). Эти периоды характеризуются различной интенсивностью метеофакторов – температурой воздуха, солнечной радиацией и дефицитом влажности воздуха (Дроздов, 1995). На рис. 1 показаны суммы суточных температур (1) и их среднесуточные значения (2) за 2019 г. Наибольшая интенсивность этих параметров наблюдалась в мае–июне и июле–августе.

На рис. 2 показана динамика интенсивности роста ствола *Juniperus excelsa* и взаимосвязь этого процесса с факторами внешней среды в марте–мае 2019 г.

Особенности интенсивности роста ствола изучаемого вида за апрель–май показаны на рис. 2А. Наблюдается три пика изменения этого параметра: первый пик – 1 марта–2 апреля – начало роста, второй пик – 2 апреля–28 мая – интенсивный рост, третий – после 28 мая – выход на плато роста. На первом пике прирост составлял 1% (0,68 мм), на втором – 8,83% (3,72 мм) с дальнейшим выходом на плато.

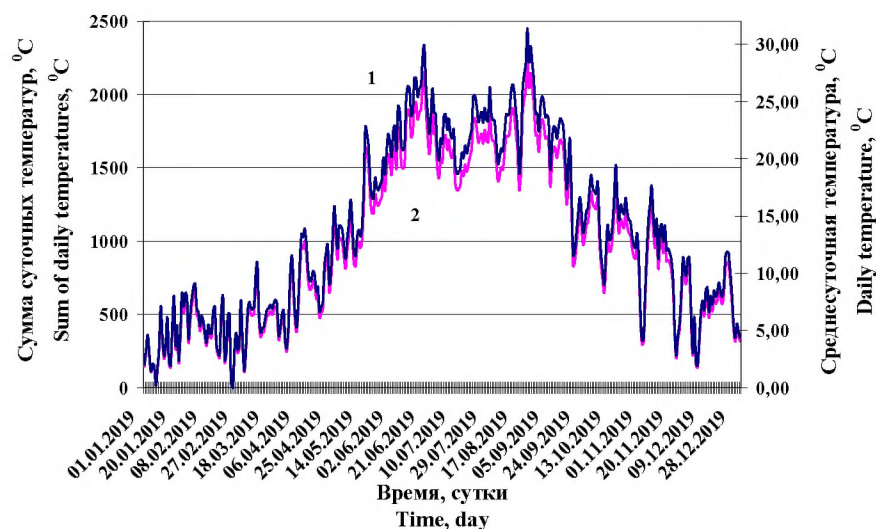


Рис. 1 Суммы суточных температур (1) и их среднесуточные значения (2) за 2019 год
Fig. 1 The sums of daily temperatures (1) and their average daily values (2) for 2019

На рис. 2В показаны динамика роста ствола синхронно с изменением температуры воздуха. На первом пике роста среднесуточная температура изменялась от 3,5 до 7,5°C, что привело к изменению диаметра на 1%. Дальнейшее увеличение температуры до 27–28°C вызвало резкое увеличение интенсивности роста с последующим выходом на плато.

Зависимость интенсивности роста от суммарной солнечной радиации и температуры воздуха – $d, \% = f(I, T_v)$ и уравнение нелинейной регрессии этих зависимостей показано на рис. 2С. Интенсивность роста является функцией отклика на воздействие изучаемых факторов окружающей среды. В эту «зону оптимума» попадают точки, со значением интенсивности роста более 90% от d_{max} . Это позволило определить оптимальные и ограничивающие условия максимумов и границы областей оптимумов роста и численные коэффициенты нелинейных регрессионных уравнений этих зависимостей. Оптимальная температура воздуха $T_v = 20–26^\circ\text{C}$, $I = 300–900$ мкмоль/м² с.

Зависимость интенсивности роста от суммарной солнечной радиации и дефицита влажности воздуха – $d, \% = f(I, D_v)$ и уравнение нелинейной регрессии показаны на рис. 2 D. Для этого периода вегетации оптимальные параметры – $D_v = 0,4–1,2$ кПа, $I = 400–1000$ мкмоль/м² с.

На рис. 3 показано изменение интенсивности роста ствола изучаемого вида и параметров внешней среды за июль–август. Наблюдается два пика изменения этого параметра: первый пик 27 июля–19 августа – интенсивный рост $d, \%$ на 4,74%

(1,69 мм), второй – после 19 августа, выход на плато роста (рис. 3А).

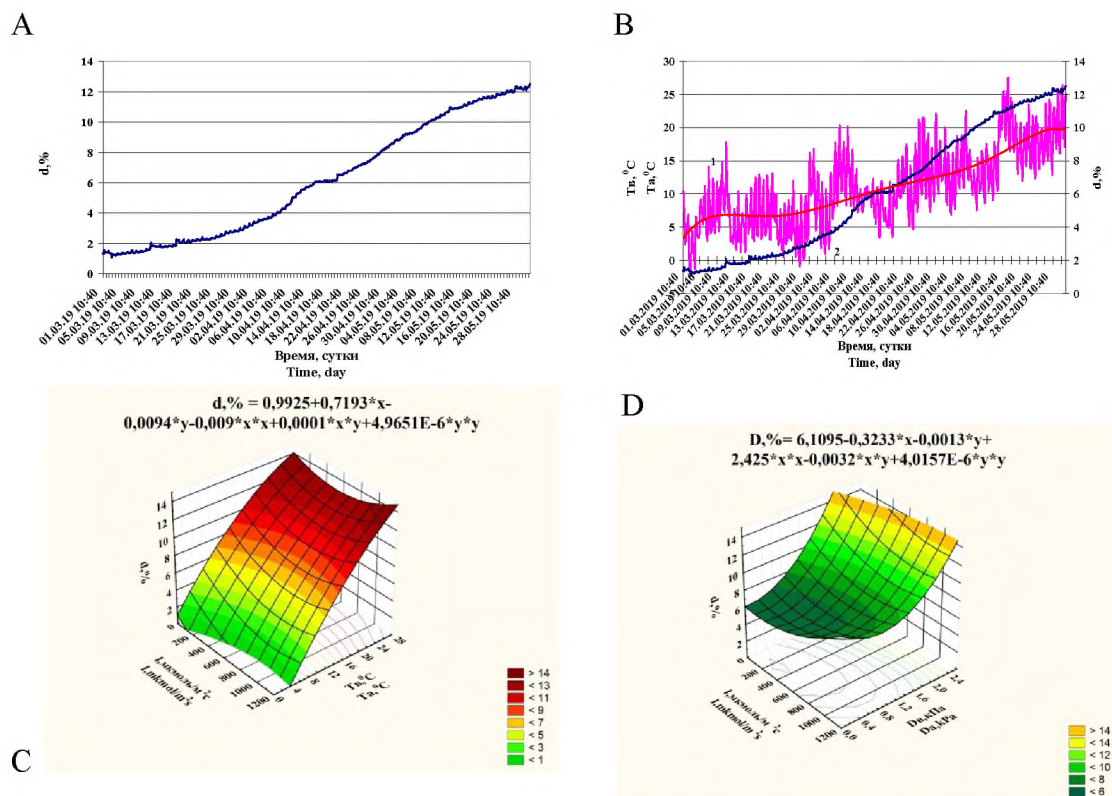


Рис. 2 Динамика интенсивности роста ствола *Juniperus excelsa* M. Bieb. и взаимосвязь этого процесса с факторами внешней среды в марте–мае 2019г. : А – особенности роста диаметра ствола ($d, \%$); В – естественные изменения параметров $d, \%$ (2) и температуры воздуха (1) и линия тренда; С – поверхность квадратичной функции $d, \% = f(I, T_b)$ и $d, \% = f(I, D_b)$ – D; вверху графика показаны численные коэффициенты нелинейных регрессионных уравнений этих зависимостей

Fig. 2 Dynamics of trunk growth rate *Juniperus excelsa* M. Bieb. and the relationship of this process with environmental factors in March–May 2019. : А – features of the growth of the diameter of the trunk ($d, \%$); В – natural changes in the parameters $d, \%$ (2) and air temperature (1) and trend line; С – is the surface of a quadratic function $d, \% = f(I, T_b)$; and $d, \% = f(I, D_b)$ – D; the top of the graph shows the numerical coefficients of the nonlinear regression equations of these dependencies

Наблюдается зависимость изменения параметра $d, \%$ от температуры воздуха. Увеличение температуры воздуха до $30\text{--}35^\circ\text{C}$ вызвало снижение интенсивности роста с последующим выходом на плато (рис. 3В).

На рис. 3С показана зависимость интенсивности роста от суммарной солнечной радиации и температуры воздуха $d, \% = f(I, T_b)$ и приведено уравнение нелинейной регрессии этих зависимостей. Оптимальные условия максимумов и границы областей оптимумов – $T_b = 22\text{--}28^\circ\text{C}$, $I = 500\text{--}1000 \text{ мкмоль}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$.

На рис. 3D показана зависимость интенсивности роста от суммарной солнечной радиации и дефицита влажности воздуха – $d, \% = f(I, D_b)$ и приведено уравнение нелинейной регрессии этих зависимостей. Определены оптимальные и ограничивающие условия максимумов и границы областей оптимумов роста и численные коэффициенты нелинейных регрессионных уравнений этих зависимостей – $D_b = 1,8\text{--}2,5 \text{ кПа}$, $I = 500\text{--}1000 \text{ мкмоль}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$.

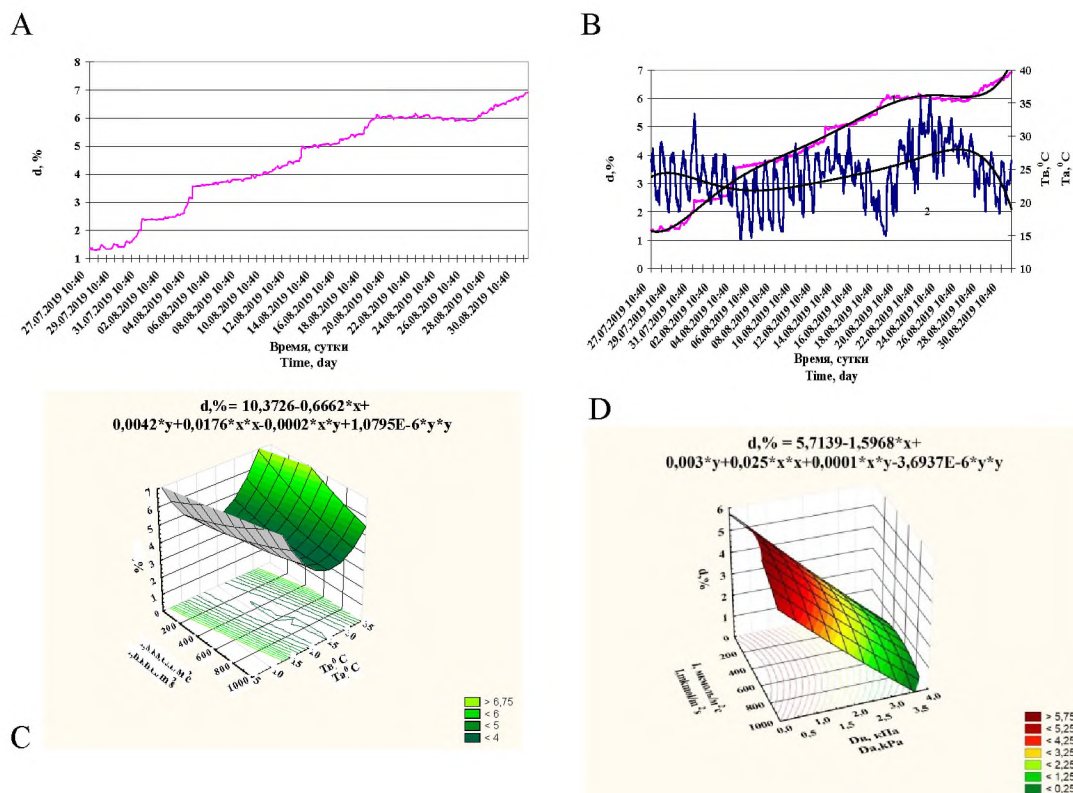


Рис. 3 Динамика интенсивности роста ствола *Juniperus excelsa* M. Bieb. и взаимосвязь этого процесса с факторами внешней среды в июле–августе 2019г. : А – особенности роста диаметра ствола ($d, \%$); В – естественные изменения параметров $d, \%$ (2) и температуры воздуха (1) и линия тренда; С – поверхность квадратичной функции $d, \% = f(I, T_b)$ и $d, \% = f(I, D_b)$ – D; вверху графика показаны численные коэффициенты нелинейных регрессионных уравнений этих зависимостей

Fig. 3 Dynamics of trunk growth rate *Juniperus excelsa* M. Bieb. and the relationship of this process with environmental factors in July–August 2019. : А – features of the growth of the diameter of the trunk ($d, \%$); В – natural changes in the parameters $d, \%$ (2) and air temperature (1) and trend line; С – is the surface of a quadratic function $d, \% = f(I, T_a)$ and $d, \% = f(I, D_a)$ – D; the top of the graph shows the numerical coefficients of the nonlinear regression equations of these dependencies

На рис. 4 показано изменение интенсивности роста ствола изучаемого вида и параметров внешней среды за сентябрь–октябрь месяцы. Наблюдается также два пика изменения этого параметра: первый пик 1 сентября–14 октября – интенсивный рост $d, \%$ на 4,39% (1,53 мм), второй – после 14 октября – выход на плато роста (рис. 4А). При этом наблюдается зависимость изменения параметра $d, \%$ от температуры воздуха. Снижение температуры воздуха в октябре до 10–12°C вызвало снижение интенсивности роста с последующим выходом на плато (рис. 4В).

Определена зависимость интенсивности роста от суммарной солнечной радиации и температуры воздуха – $d, \% = f(I, T_b)$ и приведено уравнение нелинейной регрессии этих зависимостей (4С). Это позволило определить оптимальные и ограничивающие условия максимумов и границы областей оптимумов роста – $T_b = 17–25^\circ\text{C}$, $I = 400–800 \text{ мкмоль}/\text{м}^2\cdot\text{с}$.

Изучена зависимость интенсивности роста от суммарной солнечной радиации и дефицита влажности воздуха – $d, \% = f(I, D_b)$ и приведено уравнение нелинейной регрессии этих зависимостей (рис. 4.D). Это позволило определить оптимальные и ограничивающие условия максимумов: $D_b = 0,3–1,5 \text{ кПа}$, $I = 400–800 \text{ мкмоль}/\text{м}^2\cdot\text{с}$.

В ноябре прирост $d, \%$ прекратился и возобновился только в марте следующего года.

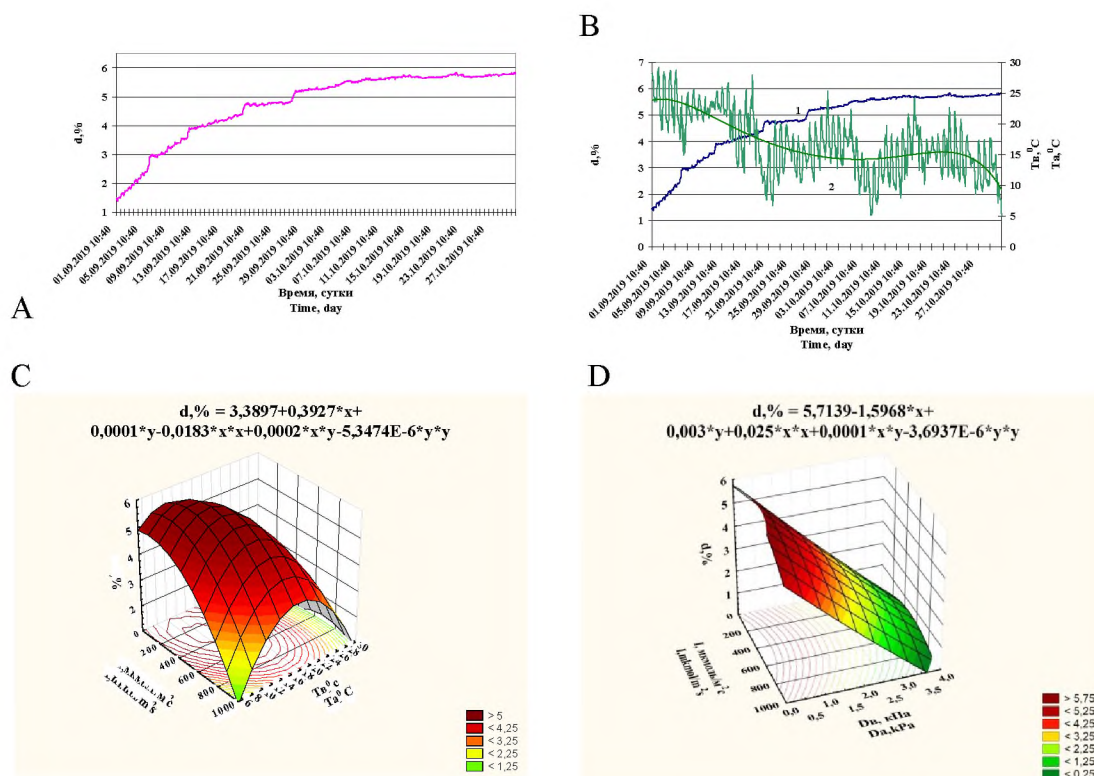


Рис. 4 Динамика интенсивности роста ствола *Juniperus excelsa* M. Bieb. и взаимосвязь этого процесса с факторами внешней среды в сентябре–октябре 2019г. : А – особенности роста диаметра ствола ($d, \%$); В – естественные изменения параметров $d, \%$ (2) и температуры воздуха (1) и линия тренда; С – поверхность квадратичной функции $d, \% = f(I, T_a)$ и $d, \% = f(I, D_v)$ – D; вверху графика показаны численные коэффициенты нелинейных регрессионных уравнений этих зависимостей

Fig. 4 Dynamics of trunk growth rate *Juniperus excelsa* M. Bieb. and the relationship of this process with environmental factors in September–October 2019. : А – features of the growth of the diameter of the trunk ($d, \%$); В – natural changes in the parameters $d, \%$ (2) and air temperature (1) and trend line; С – is the surface of a quadratic function $d, \% = f(I, T_a)$ and $d, \% = f(I, D_v)$ – D; the top of the graph shows the numerical coefficients of the nonlinear regression equations of these dependencies

Динамика изменения оптимумов диаметра ствола и факторов внешней среды в течение вегетации

The dynamics of the optimum diameter of the trunk temperature and environmental factors during vegetation

Измеряемый показатель Parameter, unit	Время измерения Month of measurement		
	Март–май March–May	Июль–август July–August	Сентябрь–октябрь September–October
$T_b, ^\circ C / T_a, ^\circ C$	20–26	22–28	17–25
$D_v, kPa / D_a, kPa$	0,4–1,2	1,8–2,5	0,3–1,5
$I, \mu mol/m^2 \cdot s / I, \mu mol/m^2 \cdot s$	300–900	500–1000	400–800
$d, \%$	8,83	4,74	4,39

За изучаемый период вегетации значение диаметра ствола изучаемого вида в марте–мае увеличилось на 8,83%, в июле–августе на 4,74%, а в сентябре–октябре на 4,39% по отношению к базовому значению. Оптимальная температура воздуха в марте–мае равнялась 20–26°C, июле–августе 22–28°C, в сентябре–октябре 17–25°C.

Оптимальный дефицит влажности воздуха (Дв) равнялся 0,4–1,2 кПа в марте – мае, 1,8–2,5 в июле–августе и 0,3–1,5 кПа в сентябре–октябре. Оптимальная освещенность – 300–900 мкмоль/м²с в марте–мае, 500–1000 мкмоль/м²с в июле–августе и 400–800 мкмоль/м²с в сентябре–октябре.

Выводы

Изучение взаимосвязей между динамикой роста диаметра ствола данного вида и факторами внешней среды позволило найти оптимальные и ограничивающие условия его выращивания в условиях ЮБК.

Весной (март–май) наблюдается три пика изменения этого параметра: первый – 1 марта–2 апреля – начало роста, второй – 2 апреля–28 мая – интенсивный рост, третий – после 28 мая – выход на плато роста. На первом пике прирост составлял 1% (0,68 мм) при среднесуточной температуре воздуха от 3,5 до 7,5°C, на втором – 8,83% (3,72 мм) с дальнейшим выходом на плато. Оптимальные и ограничивающие условия равнялись: Тв=20–26°C, Дв=0,4–1,2 кПа, I= 400–1000 мкмоль/м² с.

В июле–августе наблюдается два пика изменения d,%: первый пик 27 июля–19 августа – интенсивный рост d% на 4,74% (1,69 мм), второй – после 19 августа – выход на плато роста. Увеличение температуры воздуха до 30–35°C вызвало снижение интенсивности роста с последующим выходом на плато. Для этого периода вегетации оптимальные и ограничивающие условия равнялись: температура воздуха Тв=22–28°C, Дв=1,8–2,5 кПа, I=500–1000 мкмоль/м² с.

В сентябре–октябре наблюдается два пика изменения d,%: первый пик 1 октября–14 октября – интенсивный рост на 4,39% (1,53 мм), второй – после 14 сентября выход на плато роста. Оптимальные и ограничивающие условия равнялись: Тв=17–25°C, Дв=0,3–1,5 кПа, I=400–800 мкмоль/м² с.

Проведенные исследования позволили определить оптимальные и ограничивающие условия произрастания данного вида в условиях ЮБК и возможности интродукции его в другие регионы.

Литература / References

Анненков А.А., Иванов В.Ф., Хохрин А.В., Акимов Ю.А. Методические рекомендации по изыскательским работам для проектирования объектов озеленения в Крыму. Ялта, 1984. 26 с.

[Annenkov A.A., Ivanov V.F., Khokhrin A.V., Akimov Yu.A. Methodological recommendations on prospecting for the design of the planting sites in the Crimea. Yalta, 1984. 26 p.]

Григоров А.Н. Естественное возобновление и возрастная структура насаждений можжевельника высокого в заповеднике «Мыс Мартыян» // Труды Никитского ботанического сада. 1980. Т. 81. С. 35–44.

[Grigorov A. N. Natural renewal and age structure of high juniper plantings in the reserve "Cape Martyan" Proceedings of the Nikitsky Botanical garden. 1980. Vol. 81. P. 35–44.]

Дроздов, С. Н. Некоторые аспекты экологической физиологии растений / С.Н. Дроздов, В.К. Курец. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2003. 172 с.

[Drozdov S.N., Kurets V.K. Some aspects of ecological physiology of plants. Petrozavodsk: Petrozavodsk State University, 2003. 172 p.]

Дроздов, С. Н. Влияние света и температуры на нетто-фотосинтез и дыхание *Betula pendula* var. *pendula* и *Betula pendula* var. *carelica* (Betulaceae) / С. Н. Дроздов, Э. Г. Попов, В. К. Курец и др. // Ботанический журнал. 1995. Т. 80, № 3. С. 60–64.

[Drozdov S.N., Popov E.G., Talanov V.K., Kuretz, A.V., Obshadko L.A., Vetchinnikova L.V. Influence of light and temperature on net photosynthesis and respiration *Betula pendula* var. *pendula* and *Betula pendula* var. *carelica* (Betulaceae, represented by). Botanical journal. 1995. Vol. 80. № 3. P. 60–64.]

Красная книга Республики Крым. Растения, водоросли, грибы /Отв. ред. Ена А.В., Фатерыга А.В. – Симферополь: ООО ИТ «АРИАЛ», 2015. 480 с.

[Red book of the Republic of Crimea. Plants, algae, fungi. Exec. Editor A. V. Jena and A. V. Feteryga. – Simferopol: LLC PH «ARIAL», 2015. 480 p.]

Ильницкий О.А., Плугатарь Ю.В., Корсакова С.П. Методология, приборная база и практика проведения фитомониторинга. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2018. 233 с.

[Ilitsky O.A., Plugatar Yu.V., Korsakova S.P. Methodology, instrument base and practice of phytomonitoring. Simferopol: ARIAL, 2018. 233 p.]

Кайбяйнен, Э.Л. Оптимизация фотосинтеза и транспирации у неотделенных листьев ивы на плантациях быстрого возобновления / Э.Л. Кайбяйнен, П. Пелконен // Физиология растений. 2007. Т. 54. С. 350–355.

[Kaibeyainen E.L., Pelkonen P. Optimization of the photosynthesis and of transpiration from attached leaves of willow plantations for rapid resumption. *Plant Physiology*. 2007. Vol. 54. P. 350–355.]

*Ларина Т.Г. О структуре фитоценозов формации *Junipereta excelsae* в Горном Крыму* // Экология. 1980. № 4. С. 38–44.

[Larina T.G. On the structures of phytocenoses of *Junipereta excelsae* formation in the Upper Crimea Ecology. 1980. № 4. From-for. 34.]

*Чернявская И.В., Толстикова Т.Н., Еднич Е.М. Представители рода *Juniperus excelsa* L. в Ботаническом саду Адыгейского государственного университета.* – Научный журнал «Вестник АГУ». 2015. Вып. 4 (171). С.79–86.

[Chernyavskaya I.V., Tolstikova T.N., Ednich E.M. Representatives of the genus *Juniperus Excelsa* L in the Botanical garden of the Adygea state University. – Scientific journal "Bulletin of ASU". 2015. Issue 4 (171). P. 79–86.]

Kint V., Aertsen W., Fyllas N.M., Trabucco A., Janssen E., Özkan K., Muys B. Ecological traits of Mediterranean tree species as a basis for modelling forest dynamics in the Taurus mountains, Turkey // Ecological Modelling. 2014. V. 286. P. 53–65.

Larcher W. Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups. – Heidelberg: Springer-Verlag, 2003. 506 p.

*Özkan K., Gulsoy S., Aerts R., Muys B. Site properties for Crimean juniper (*Juniperus excelsa*) in semi-natural forests of south western Anatolia, Turkey* // J. Environ. Biol. 2010. V. 31. P. 97–100.

Статья поступила в редакцию 12.05.2020

Ilitsky O.A., Pashtetsky A.V., Gil A.T. Growth features of *Juniperus excelsa* M. under field vegetation experience of the Southern Coast of the Crimea // Plant Biology and Horticulture: theory, innovation. 2020. № 2(155). P. 94–101.

The dependence of the growth rate of *Juniperus excelsa* M. Bieb on some environmental factors was studied under the conditions of the Southern Coast. In March, vegetation began at an average daily air temperature of 3.5–7.5°C and the increase in stem diameter was 1% (0.68 mm). In July–August, two sections: the first one – 27.07. – 08. – intensive growth, the second one – after 08. – access to the growth plateau. In September–October there are also two sections: the first one – 01.09. – 14.10. – intensive growth, the second section after 14.10. – exit to the growth plateau and the end of the growing season.

The optimal environmental factors were: in March–May, $T_a=20-26^{\circ}\text{C}$, $D_a=0.4-1.2\text{ kPa}$, $I=300-900\text{ mmol/m}^2\text{s}$; July–August, $T_a=22-28^{\circ}\text{C}$, $D_a=1.8-2.5\text{ kPa}$, $I=500-1000\text{ }\mu\text{mol/m}^2\text{s}$; in September–October, $T_a=17-25^{\circ}\text{C}$, $D_a=0.3-1.5\text{ kPa}$, $I=400-800\text{ }\mu\text{mol/m}^2\text{s}$, respectively.

Keywords: *Juniperus excelsa*; trunk growth dynamics; temperature and light optimums; ecological and physiological characteristic.