

УДК 582.923.5:58.032

DOI: 10.25684/0513-1634-2023-149-112-119

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВИДИМОГО ФОТОСИНТЗА *ARBUTUS ANDRACHNE* L. ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Андрей Владимирович Паштецкий, Олег Антонович Ильницкий

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

Изучение влияния факторов внешней среды в период активной вегетации *Arbutus andrachne* L. на интенсивность видимого фотосинтеза и транспирации позволило определить ряд параметров, дающих возможность построить математическую модель, выраженную в форме пошагового регрессионного анализа. Полученные данные позволяют дать более полную картину адаптации вида к среде обитания и прогнозировать поведение в условиях климатических изменений. Выбранная модель основана на трех показателях эффективности – коэффициента детерминации (R^2), корня из среднеквадратичной ошибки (RMSE) и суммы квадратов ошибок (SSE). В уравнениях достаточно высокие коэффициенты детерминации (для P_n – $R^2 = 0,9692$), небольшие для RMSE и SSE значения и уровень значимости критерия Стьюдента не превышает 0.05. Доля дисперсии зависимой переменной, объясняемой применяемой моделью составляет 97%. Рассчитанные коэффициенты корреляции между зависимой (P_n) и независимыми переменными показывают, что наиболее тесные положительные корреляционные связи существуют между зависимыми переменными и освещенностью ($R = 0.8060$), температурой воздуха ($R = 0.8073$), температурой почвы ($R = 0.3293$), влажностью почвы ($R = 0.30051$) и дефицитом влажности воздуха ($R = 0.6647$), а между влажностью воздуха – отрицательная связь. Практический выход разработанной модели с соответствующими количественными характеристиками заключается в том, что появляется возможность прогнозировать экологическое состояние определенного региона.

Ключевые слова: *Arbutus andrachne*; математическая модель; прогноз; оптимальные и предельные условия окружающей среды

Введение

В условиях усиления аридизации территории Южного берега Крыма (ЮБК) и в связи с глобальным изменением климата [1, 2] исследование эколого-физиологических особенностей редких и охраняемых видов – необходимая основа для их сохранения, разработки экологически обоснованной системы охраны и поддержания биоэкологического потенциала [3, 4].

Из 24 местных видов 11 видов находятся под угрозой исчезновения, а два вида являются эндемиками Крыма [5].

Для сохранения естественной растительности, закладки новых и реконструкции существующих зеленых насаждений в условиях Южного берега Крыма (ЮБК) необходимо особое внимание уделять растениям различных видов, произрастающих в условиях микроклимата, формируемого окружающей средой [6]. В качестве объекта исследований нами был выбран земляничник мелкоплодный *Arbutus andrachne* L.

В научной литературе статьи по земляничнику мелкоплодному (*Arbutus andrachne* L.) практически отсутствуют и основное внимание уделяется земляничнику крупноплодному – *Arbutus unedo* L. [7].

Ещё в начале прошлого века уже было отмечено, что «... земляничник мелкоплодный является вымирающей породой, слабо возобновляющейся и способной давать молодое поколение лишь в отдельные благоприятные годы» [8]. Известны работы по изучению *A. andrachne*, в которых для этого вида исследованы условия произрастания [9], характер развития, экологическая пластичность [10],

дендрометрические характеристики и жизненное состояние [11], (репродуктивный процесс и способы оптимизации воспроизведения [12], показатели транспирации и фотосинтетический потенциал листьев [13].

Целью работы было исследование зависимостей интенсивности фотосинтеза *Arbutus andrachne* L. от основных факторов внешней среды в процессе активного роста (июнь-октябрь), позволяющих определить оптимальные и ограничивающие условия произрастания вида в условиях ЮБК.

Материал и методика исследования

Земляничное дерево или земляничник мелкоплодный (*Arbutus andrachne* L.), принадлежащее к роду *Arbutus* семейства Ericaceae (вересковые) в пределах Ericales, является типичным вечнозеленым растением средиземноморского климата, с широким континентальным ареалом распространения, который включает западное побережье Северной Америки и Центральной Америки, Восточную Европу, Средиземноморский регион, Северную Африку и некоторые части Ближнего Востока, а также распространён и на Южном берегу Крыма (ЮБК). На ЮБК данный вид является представителем средиземноморских третичных реликтов, единственным вечнозеленым аборигенным широколиственным деревом, гемиксерофитом, склерофитом и гелиофитом. Растения растут спонтанно на склонах, обращенных к морю на высоте до 800 м, для которых характерно жаркое лето, мягкая и дождливая зима, в природно-климатических условиях Крыма произрастает преимущественно на скалистых склонах и прибрежных обрывах на высоте до 350-400 м над уровнем моря. Выдерживает зимнее понижение температур до $\text{max} - 17^{\circ}\text{C}$, при этом в ранневесенний период при понижении температуры в диапазоне от $- 9^{\circ}\text{C}$ до $- 13^{\circ}\text{C}$ листья и однолетние побеги подмерзают. *Arbutus andrachne* L. в условиях ЮБК может достигать высоты около 12 метров. Кора гладкая, красно-бурого цвета, летом (в июне) начинает отслаиваться, оголяя слой (хлорофиллоносный) фиштакково-зеленого цвета, который в последствии постепенно меняет окрас на оранжево-коричневый. Данное свойство обеспечивает растению восполнение органических веществ во время летнего обновления листвы. Листья от яйцевидных до продолговатых, размером до $10 \times 3-6$ см, менее чем в два раза длиннее ширины, на сильных молодых побегах края обычно цельнокрайние или несколько пильчатые, сверху темно-зеленые, снизу более светлые, голые; черешок 15-30 мм. Период массового цветения земляничника мелкоплодного наступает в апреле, но при условиях повышенных температур в зимний период, растение может зацвести в феврале. Цветки мелкие, белого или желтовато-зеленого окраса, собранные в соцветие – прямостоячую конечную многоцветковую метелку с опушенными главными осями и цветоножками. Плоды оранжево-красные, мелкие, округлой формы диаметром 8-12 мм, поверхность покрыта сетью борозд, но более гладкая, чем у *Arbutus unedo* L., период созревания на ЮБК ноябрь-декабрь. Размножается семенами и вегетативно. Дает самосев. Растение к почвам нетребовательно, но предпочитает кремнистые, известковые, каменистые и шиферные [14].

Исследования осуществлялись на базе центрального отделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН» (НБС). Растения, выступающие в качестве объекта исследования, представляли собой саженцы с закрытой корневой системой в возрасте 6-8 лет, произрастающих в условиях вегетационного опыта на исследовательском участке, в темно-коричневых, среднеглинистых почвах, с наименьшей влагоемкостью (НВ) колеблющейся от 21,6% до 25,2%, при этом уровень влажности завядания растений составляла 9,9-11,1% [15].

Проведение опытов проходило в период активной вегетации растения *Arbutus andrachne* L., а именно с июня 2019 по ноябрь 2020 гг.

Сбор показателей видимого фотосинтеза в молодых листьях проводился круглосуточно, каждые 15-20 мин с трехкратной повторностью. Для измерений использовалась автоматическая 4-канальная система открытого типа "Монитор фотосинтеза РТМ-48А" производства Bioinstruments S.R.L. (республика Молдова) [16]. Эта система позволяла измерять газообмен CO_2 в листьях при его естественной концентрации в воздухе на уровне 0,04 % [17]. Для этого в систему РТМ-48А были подключены датчики: температуры листа ($^{\circ}\text{C}$) – датчик LT-1P и влажности почвы (%) – датчик SMS-5PM. Для оценки интенсивности CO_2 -газообмена листьев использовались значения скорости фотосинтеза (P_n , $\mu\text{моль CO}_2/(\text{м}^2\text{с})$) в диапазоне ФАР от 0 до 2000 $\mu\text{моль}/(\text{м}^2\text{с})$. Параметры окружающей среды, такие как, температура и влажность воздуха, измерялись при помощи метео-модуля РТН-48, который был подключен к цифровому входу системы РТМ-48А.

Для моделирования влияния основных факторов внешней среды на интенсивность видимого фотосинтеза в процессе активного роста растений, использовалась модель пошагового регрессионного анализа. В уравнении регрессии в качестве зависимой переменной был выбран показатель интенсивности фотосинтеза (P_n), а в качестве независимых переменных учитывались следующие факторы: фотосинтетически активная радиация (ФАР(I), $\mu\text{моль}/\text{м}^2\text{с}$), температура воздуха (T_v , $^{\circ}\text{C}$), влажность воздуха (H_v , %), температура почвы ($T_{\text{п}}$, $^{\circ}\text{C}$), влажность почвы ($W_{\text{п}}$, об. %) и дефицит влаги воздуха (DVP_v , кПа). Номера переменных в таблице представлены индексом v .

$$P_n = -b_0 + b_1 * v_{32} + b_2 * v_{33} - b_3 * v_{34} + b_4 * v_{36} + b_5 * v_{39} + b_6 * v_{43}$$

Обработка и анализ полученных данных проводились с использованием прикладного программного обеспечения Statistica 10 (США) и Microsoft Excel 2010, с учетом стандартного для статистического анализа уровня значимости $P \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение

Фитомониторинг позволяет получить комплексную оценку состояния растений, которые находятся под влиянием природных и антропогенных факторов среды. Он основывается на использовании современных информационно-измерительных систем, которые позволяют наблюдать за растениями и собирать данные о их физиологических характеристиках, при изменениях различных факторов окружающей среды [18,19].

В ходе проведения исследований в тепличных условиях были изучены ответные реакции *Arbutus andrachne* L. на влияние абиотических детерминантов, таких как температура воздуха и почвы, их влажность и ряд эколого-физиологических характеристик жизнедеятельности изучаемого растения.

Зависимая переменная рассчитывалась по формуле:

$$P_n = -24,2451 + 0,7865 * I + 0,7684 T_v - 0,0402 H_v + 0,4868 * T_{\text{п}} + 0,6238 * W_{\text{п}} + 0,2767 * DVP_v$$

Построенная модель имеет высокую точность аппроксимации, что подтверждено тремя показателями эффективности (таблицы 1-2): коэффициентом детерминации (R^2), корнем из среднеквадратической ошибки (RMSE) и суммой квадратов ошибок (SSE). Данные, представленные в таблицах, подтверждают значительную взаимосвязь между предсказанными и фактическими значениями используемые в уравнении ($R^2 = 0,9692$ (табл. 1), при этом низкие значения RMSE и

SSE (табл. 2), рассчитанные при помощи дисперсионного анализа экспериментальных данных и рассчитанных по модели для зависимой переменной интенсивности видимого фотосинтеза, свидетельствуют о минимизации ошибок в модели, релевантность и достоверность коэффициентов уравнения подтверждены уровнем значимости критерия Стюдента (менее 0,05).

Таблица 1

Результаты пошаговой регрессии зависимости P_n от изучаемых факторов внешней среды

Параметры*	Значение
Множественная R	0,9845
Множественная R^2	0,9692
Скорректированное R^2	0,9626
F(N-6,1074)	896,3637
p	0,00
Стандартная ошибка оценки	2,2097

*Примечание к таблице: R – коэффициент корреляции, R^2 – коэффициент детерминации F – (критерий Фишера, количество измерений – N), p – уровень вероятности полученных результатов.

Таблица 2

Результаты дисперсионного анализа зависимости экспериментальных данных и рассчитанных по модели для (P_n) от изучаемых факторов внешней среды

	Сумма квадратов ошибок	Средне – квадратичная ошибка	F	p-знач.
Регрессия	26260,62	4376,771	896,3637	0,00
Остатки	5244,13	4,883		
Итого	31504,76			

Точность модели можно оценить по остаткам, которые представлены в таблице 3. Остатки представляют разницу между наблюдаемыми значениями и предсказанными значениями. Чем ближе остатки к нулю, тем точнее модель.

Таблица 3

Наблюдаемые и предсказанные значения и остатки для зависимой переменной P_n

N=1074	Наблюдаемые значения	Предсказанные значения	Остатки	Стандартные предсказанные значения	Стандартные Остатки
Минимум	-4,0000	-3,1543	-9,2758	-1,2504	-4,1977
Максим.	13,5000	9,606	7,9737	19,5616	3,6085
Среднее	3,0115	3,0114	0,0000	0,0000	0,0000
Медиана	0,6000	1,4559	-0,0947	-0,3154	-0,0428

Анализ результатов таблицы 3 показывает, что минимальное значение остатков равно -9,2758, а максимальное значение – +7,9737. Это указывает на некоторую погрешность в предсказаниях модели, но при этом среднее значение остатков равно нулю, что указывает на отсутствие систематической ошибки и значительно высокую точность модели.

На рис. 1 изображена диаграмма размаха независимых переменных, представленных в уравнении.

Для переменной (P_n) чтобы посмотреть последовательные описательные статистики диапазона, нужно выбрать пункт *Медиана/Квартиль/Размах*. Для ФАР (I) эти значения соответственно равны: медиана = 56; квартиль 75% = 445, 25% = 20; максимум = 1492 минимум = 15. Для остальных независимых переменных эти значения определяются таким же способом.

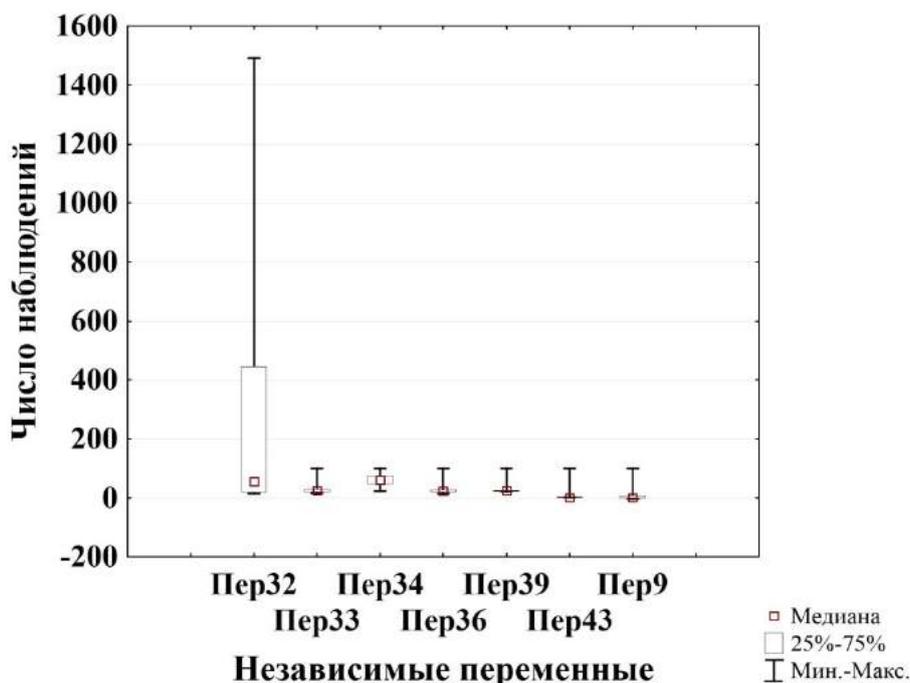


Рис. 1 Диаграмма размаха независимых переменных в уравнении

Доля дисперсии зависимой переменной (P_n) составила 97%, оставшиеся 3% вариации могут быть связаны с другими факторами, который не учитываются в модели. В целом, более высокий процент объясненной дисперсии указывает на более сильную связь или прогностическую способность модели.

Коэффициенты корреляции (табл. 4) между переменными указывают на значимость и направление связи между ними.

Таблица 4

Коэффициенты корреляции между независимыми (I, Тв, Тп, Wп, Дв) и зависимой (P_n) переменной

Независимые переменные	I	Тв	Нв	Тп	Wп	DV _P
Зависимая переменная	ФАР (мкмоль/м ² ·с)	Температура возд. (С)	Отн. влаж. воз. (%)	Температура почвы (С)	Влажность почвы (%)	Дв (кПа)
P_n , мкмоль/м ² ·с	0,8060	0,8073	-0,4601	0,3293	0,30051	0,6647

Анализ коэффициентов корреляции, показал значительную взаимосвязь между P_n и ФАР (I), где уровень показателя составил 0,8060, это свидетельствует о том, что чем выше интенсивность фотосинтетической активной радиации, тем выше интенсивность видимого фотосинтеза. Значение коэффициента корреляции между P_n и Тв составило 0,8073 и указывает на положительную взаимозависимость, а именно при повышении одного показателя будет повышать соответственно другой. Отрицательное

значение корреляционной связи между P_n и H_v (-0.4601), говорит, о том, что при увеличении относительной влажности воздуха интенсивность видимого фотосинтеза снижается. Остальные значения коэффициентов указывают не значительную положительную взаимосвязь переменных.

Таким образом, на основе анализа коэффициентов корреляции можно сделать вывод о положительных связях между факторами внешней среды (I , T_v , T_p , W_p , DVP_v) и интенсивностью видимого фотосинтеза (P_n), а также об отрицательной корреляционной связи с влажностью воздуха (H_v).

Опыты, проведенные в тепличных условиях ЮБК, позволили определить оптимальные, при которых растение показывает наилучший рост и развитие и ограничивающие условия для произрастания *Arbutus andrachne* L., что важно для прогнозирования произрастания данного вида растения в природно-климатических условиях ЮБК с учетом их изменений.

Прогностические модели зависимости эколого-физиологических характеристик растений и их биологических процессов от условий среды, позволяют предсказать, как растение будет реагировать на изменение окружающей среды, например, на изменение температуры или доступности воды. Это важно для определения оптимальных условий выращивания растений, а также для предсказания их поведения в условиях изменяющегося климата. Кроме того, модели могут помочь установить границы толерантности растений к экстремальным условиям, таким как засуха или высокая температура, а также предсказать возможности компенсации этих факторов [20]. Используя эти модели, можно также оценить физиологическое состояние растений и их генетические свойства. Как результат, мы можем получить данные о процессе фотосинтеза, обмене веществ, устойчивости к засухе и тени, а также о росте и развитии растений. Это информация является важным инструментом для понимания растений и их адаптивных механизмов, а также для разработки эффективных стратегий улучшения сельскохозяйственного производства и устойчивого управления экосистемами [21].

Выводы

Исследование физиологических реакций *Arbutus andrachne* L. на воздействие факторов окружающей среды в период его активной вегетации, а именно влияющих на процессы фотосинтеза позволили построить прогностическую модель, выраженную в форме математической модели пошаговой регрессии. Полученные данные позволяют дать более полную картину адаптации вида к среде обитания и прогнозировать его поведение в условиях климатических изменений.

Построенная прогностическая модель имеет высокий уровень эффективности (высокий $R^2 = 0,9767$), низкую среднеквадратичную ошибку (низкий RMSE) и низкую сумму квадратов ошибок (низкий SSE), что говорит о том, что модель имеет высокую объясняющую способность, хорошо приближает наблюдаемые данные и позволяет сделать точные прогнозы. Уровень значимости критерия Стьюдента меньше 0,05, что свидетельствует о статистической значимости коэффициентов модели. В целом, эти результаты подтверждают, что прогностическая модель является эффективной и может быть использована для прогнозирования в будущем.

Итоги дисперсионного анализа показывают, что точность модели достаточно высокая – средние значения разности между наблюдаемыми и предсказанными значениями (остатки) равна нулю, при этом доля дисперсии зависимой переменной составила 97%.

Расчет коэффициентов корреляции между зависимой (P_n) и независимыми переменными показал, что между интенсивностью видимого фотосинтеза и фотосинтетической активной радиацией ($R = 0.8060$), температурой воздуха

($R = 0.8073$), дефицитом влажности воздуха ($R = 0.6647$), температурой почвы ($R = 0.3293$) и влажностью почвы ($R = 0.30051$) наблюдается положительная прямолинейная связь, в то же время, наблюдается отрицательная зависимость с влажностью воздуха.

Практическое применение разработанной прогностической модели заключается в возможности проведения оценки влияния климатических изменений на растительность и предсказания будущих изменений в экосистеме. Она позволяет лучше понять, какие факторы окружающей среды влияют на физиологические характеристики растения *Arbutus andrachne* L. и как оно адаптируется к ним. Это может помочь в разработке методов сохранения и восстановления экосистем, а также в создании стратегий адаптации к изменяющемуся климату.

Список литературы

1. 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.
2. Гиль А.Т., Ильницький О.А. Зависимость интенсивности видимого фотосинтеза, температуры и транспирации листа *Arbutus andrachne* L. от некоторых факторов внешней среды // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2019. – № 133. – С. 42-50. DOI: 10.36305/0513-1634-2019-133-42-50
3. Губанова Т.Б. Оценка состояния растений *Arbutus andrachne* L. на территории природного заповедника "Мыс Мартьян" и арборетума Никитского ботанического сада после неблагоприятных зимних условий 2011-2012 гг. // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартьян». – 2013. – № 4. – С. 121.
4. Дроздов С.Н. Влияние света и температуры на нетто-фотосинтез и дыхание *Betula pendula* var. *pendula* и *Betula pendula* var. *carelica* (Betulaceae) // Ботанический журнал. – 1995. – Т. 80, № 3. – С. 60-64.
5. Дроздов С.Н. Некоторые аспекты экологической физиологии растений / С.Н. Дроздов, В.К. Курец. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2003. – 172 с.
6. Ильницький О.А., Гиль А.Т., Паптецкий А.В. Особенности роста *Arbutus andrachne* L. в условиях полевого вегетационного опыта Южного берега // Plant Biology and Horticulture: theory, innovation. – 2020. – №. 4(157). – С. 135-143. DOI: 10.36305/2712-7788-2020-4-157-135-143
7. Ильницький О.А., Плугатарь Ю.В., Корсакова С.П. Методология, приборная база и практика проведения фитомониторинга. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2018. – 233 с.
8. Исиков В.П., Плугатарь Ю.В. Дикорастущие деревья и кустарники Крыма. 2-е изд., испр. и доп. – Симферополь: ИТ «Ариал», 2018. – 324 с.
9. Коба В.П., Панельбу В.В., Сахно Т.М. Состояние и дендрометрические характеристики молодых растений *Arbutus andrachne* L. заповедника "Мыс Мартьян". // Вестник Нижневартговского государственного университета. – 2018. – № 3. – С. 42-46.
10. Плугатарь Ю.В., Корсакова С.П., Ильницький О.А. Экологический мониторинг Южного берега Крыма. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2015. – 162 с.
11. Плугатарь Ю.В., Корсакова С.П., Ковалев М.С. Сравнительная оценка CO_2/H_2O -газообмена вечнозеленых древесно-кустарниковых растений в благоприятных и стрессовых условиях внешней среды // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2020. – № 135. – С. 9-23. DOI: 10.36305/0513-1634-2020-135-9-23
12. Фалькова Т.В., Галушко Р.В., Лицук А.И., Захаренко Г.С., Крайнюк Е.С. Пластичность *Arbutus andrachne* (Ericaceae) в условиях засухи на Южном берегу Крыма // Украинский ботанический журнал. – 2001. – Т. 58. – № 6. – С. 700-706.
13. Шевченко С.В. Особенности репродуктивных процессов некоторых редких видов флоры Крыма. // В сборнике: Актуальные проблемы ботаники и охраны

природы. Сборник научных статей Международной научно-практической конференции, посвященной 150-летию со дня рождения профессора Г.Ф. Морозова / под редакцией С.Ф. Котова. – 2017. – С. 320-330

14. Эггерс Е.В. Земляничное дерево в Крыму // Бюллетень Никитского ботанического сада. – 1934. – №14. – С. 3-38.

15. Anderegg W.R.L., Schwalm C., Biondi F., Camarero J.J., Koch G., Litvak M., Ogle K., Shaw J.D., Shevliakova E., Williams A.P., Wolf A., Ziaco E., Pacala S. Pervasive drought legacies in forest ecosystems and their implications for carbon cycle models // Science. – 2015. – Vol. 349. – P. 528-532.

16. Tognetti R., Lasserre B., Di Febbraro M., Marchetti M. Modeling regional drought-stress indices for beech forests in Mediterranean mountains based on tree-ring data // Agric For Meteorol. – 2019. – Vol. 265. – P. 110-120.

17. Koerner C., Sarris D., Christodoulakis D. Long-term increase in climatic dryness in the East-Mediterranean as evidenced for the island of Samos // Reg Environ Change. – 2005. – No. 5. – P. 27-36.

18. Karam F., Doulis A., Ozturk M., Dogan Y., Sakcali S. Eco-physiological behaviour of two woody oak species to combat desertification in the east Mediterranean-a case study from Lebanon // Procedia Social and Behavioral Sciences. – 2011. – No. 19. – p. 787-796.

19. Plugatar Y.V., Klymenko Z.K., Ulanovskaya I.V., Zykova V.K., Plugatar S.A. Prospects for the use of the Crimean flora resources in the floriculture // Acta Horticulturae. – 2019. – Vol. 1240. – P. 65-68.

20. Miquel Nadal, Margalida Roig-Oliver, Josefina Bota, Jaume Flexas. Leaf age-dependent elastic adjustment and photosynthetic performance under drought stress // Arbutus unedo seedlings Flora. – 2020. – Vol. 271.

21. Wickens G.E. Ecophysiology of economic plants in arid and semi-arid lands / Gerald E. Wickens. – 1998. – 348 p.

Статья поступила в редакцию 23.05.2023 г.

Ilitsky O.A., Pashtetsky A.V. Modeling of visible photosynthesis features of *Arbutus andrachne* L. to determine the optimal growing conditions in the conditions of the Southern Coast of the Crimea// Bull. of the State Nikita Botan. Gard. – 2023. – № 149. – P. 112-119

Study of the influence of environmental factors during the active vegetation period of *Arbutus andrachne* L. the intensity of visible photosynthesis and transpiration allowed us to determine a number of parameters that make it possible to build a mathematical model expressed in the form of step-by-step regression analysis. The data obtained allows us to give a more complete picture of the adaptation of the species to the habitat and predict behavior in conditions of climatic changes. The chosen model is based on three performance indicators – the coefficient of determination (R^2), the root of the root mean square error (RMSE) and the sum of squared errors (SSE). The equations have sufficiently high coefficients of determination (for $P_n - R^2 = 0.9692$), small values for RMSE and SSE, and the significance level of the Student's criterion does not exceed 0.05. The proportion of variance of the dependent variable explained by the applied model is 97%. The calculated correlation coefficients between the dependent (P_n) and independent variables show that the closest positive correlations exist between the dependent variables and illumination ($R = 0.8060$), air temperature ($R = 0.8073$), soil temperature ($R = 0.3293$), soil moisture ($R = 0.30051$) and air humidity deficiency ($R = 0.6647$), and there is a negative relationship between the humidity of the air. The practical output of the developed model with appropriate quantitative characteristics is that it becomes possible to predict the ecological state of a certain region.

Key words: *Arbutus andrachne*; mathematical model; forecast; optimal and limiting environmental conditions