
БОТАНИКА, ПЛОДОВОДСТВО

**Анатомические особенности
листьев голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Aiton)
в условиях Московского региона**

**Юлия Сергеевна Черятова[✉], Сергей Сергеевич Макаров,
Антон Игоревич Чудецкий, Татьяна Васильевна Портнова,
Ирина Васильевна Портнова**

Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

[✉]Автор, ответственный за переписку: u.cheryatova@rgau-msha.ru

Аннотация

Приведены результаты изучения особенностей анатомического строения свежесобранных листьев голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Aiton), интродуцированной в условия Дендрологического сада имени Р.И. Шредера (г. Москва). Отсутствие в настоящее время литературных сведений об анатомической адаптации *V. angustifolium* к изменению агроклиматических условий культивирования затрудняет оценку интродукционного потенциала этой ценной ягодной культуры. Поэтому изучение анатомических особенностей листьев *V. angustifolium* в условиях интродукции Московского региона является актуальным. Сбор растительного сырья для анализа проводили в июле 2023–2025 гг. в фазе массового плодоношения растений. Изучение анатомических признаков листьев растений осуществляли в соответствии с требованиями Государственной фармакопеи РФ. Анализ анатомического строения показал, что листья *V. angustifolium* дорсо-вентральные, листовая пластинка гипостоматическая. Устьичный аппарат листьев парацитный. Главная жилка листовой пластинки и черешка листа представлена закрытым коллатеральным проводящим пучком. За весь период наблюдений у растений были отмечены увеличение общей толщины листа, верхней и нижней эпидермы, столбчатого и губчатого мезофилла, изменение соотношения губчатого и столбчатого мезофилла, а также увеличение плотности расположения устьиц. Так, коэффициент палисадности листа *V. angustifolium* с 2023 г. в 2025 г. увеличился на 7%, а устьичный индекс возрос на 3,5%, что говорит об усилении фотосинтетической активности растений и их адаптации к агроклиматическим условиям Московского региона. Установленные анатомо-диагностические признаки листьев *V. angustifolium* могут быть использованы при составлении анатомических атласов культурных растений, идентификации и оценке подлинности растительного сырья, оценке адаптивного потенциала растений-интродуцентов, а также послужат теоретической основой для разработки методики интродукции ягодных культур.

Ключевые слова

Vaccinium angustifolium, анатомия листа, анатомо-диагностические признаки, устьичный индекс, коэффициент палисадности

Благодарности

Работа проведена в рамках выполнения Тематического плана-задания на выполнение НИР по заказу Минсельхоза России по теме «Разработка агротехнологий нового поколения для ягодных растений с использованием биотехнологических методов для закладки ягодных плантаций» (госрегистрация № 125082209764–2) за счет средств федерального бюджета в 2025 г.

Для цитирования:

Черятова Ю.С., Макаров С.С., Чудецкий А.И. и др. Анатомические особенности листьев голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Aiton) в условиях Московского региона // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 5. С. 49–65.

BOTANY, POMICULTURE

Anatomical features of lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Aiton) leaves in the conditions of the Moscow Region, Russia

Yulia S. Cheryatova[✉], Sergey S. Makarov,
Anton I. Chudetsky, Tatiana V. Portnova, Irina V. Portnova

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

[✉]Corresponding author: u.cheryatova@rgau-msha.ru

Abstract

This research presents the results of an investigation into the anatomical features of freshly picked leaves of lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Aiton), introduced into the Dendrological Garden of R.I. Schroeder (Moscow). The current lack of published data regarding the anatomical adaptation of *V. angustifolium* to altered agroclimatic conditions during cultivation hinders the assessment of the introduction potential of this valuable berry crop. Therefore, the study of the anatomical features of *V. angustifolium* leaves under the conditions of introduction in the Moscow Region is relevant. Plant material was collected for analysis in July of the years 2023–2025 during the phase of peak fruit production. The anatomical features of plant leaves were studied in accordance with the requirements of the State Pharmacopoeia of the Russian Federation. Anatomical analysis revealed that *V. angustifolium* leaves are dorsoventral and hypostomatic. The stomatal apparatus of the leaves is paracytic. The midrib of the leaf blade and petiole is characterized by a closed collateral vascular bundle. Over the observation period, plants exhibited an increase in total leaf thickness, upper and lower epidermis thickness, palisade and spongy mesophyll thickness, and an alteration in the ratio of spongy to palisade mesophyll, as well as an increase in stomatal density. Specifically, the palisade coefficient of *V. angustifolium* leaves increased by 7% from 2023 to 2025, and the stomatal index increased by 3.5%, indicating enhanced photosynthetic activity and adaptation of the plants to the agroclimatic conditions of the Moscow Region. The established anatomical diagnostic features of *V. angustifolium* leaves can be utilized in compiling anatomical atlases of cultivated plants, identifying and authenticating of plant material, and assessing the adaptive potential of introduced plants. Furthermore, these findings provide a theoretical foundation for developing a methodology for introducing berry crops.

Keywords

Vaccinium angustifolium, leaf anatomy, anatomical and diagnostic features, stomatal index, palisade ratio

Acknowledgments

This research was conducted under a thematic plan-assignment of the Ministry of Agriculture of Russia, project number 125082209764–2 entitled “Development of New Generation Agrotechnologies for Berry Plants Using Biotechnological Methods for Establishing Berry Plantations”, funded by the federal budget in 2025.

For citation

Cheryatova Yu.S., Makarov S.S., Chudetsky A.I. et al. Anatomical features of lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Aiton) leaves in the Moscow Region, Russia. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 5. P. 49–65.

Введение

Introduction

Голубика узколистная (*Vaccinium angustifolium* Aiton) принадлежит семейству Вересковые (*Ericaceae* Juss.) подсемейства Брусничные (*Vaccinioideae* Arn). Ареалы вида находятся в восточной и центральной Канаде (от Манитобы до Ньюфаундленда), на северо-востоке Соединенных Штатов Америки, на юге до гор Грейт-Смоки-Маунтинс и на западе до района Великих озер. Голубика узколистная естественно произрастает в хвойных (преимущественно еловых), реже – в лиственных лесах, на склонах гор, на окраинах верховых болот, в подлеске редких древостоев, образуя довольно плотные заросли на легких кислых почвах [1–4]. Растения характеризуются высокой зимостойкостью и способны выдержать понижение температуры до $-34... -40^{\circ}\text{C}$ [5, 6], что потенциально расширяет регионы для выращивания этой культуры.

Плоды *V. angustifolium* содержат различные минералы, витамины, жирные кислоты и пищевые волокна, а также широкое разнообразие биологически активных соединений, в том числе фенольные соединения. Биологически активные вещества плодов голубики оказывают защитное действие против хронических заболеваний человека включая сердечно-сосудистые заболевания, рак, болезнь Альцгеймера и др. [7–9]. В связи с высокой пищевой и лекарственной ценностью ягод *V. angustifolium* в настоящее время наблюдается резкое повышение спроса на продукцию данной ценной культуры. Это вызывает необходимость расширения регионов культивирования голубики узколистной в различных регионах России для обеспечения населения местной ягодной продукцией.

При интродукции хозяйственно ценных растений наряду с изучением фенологии, биоморфологии, онтогенеза представляется чрезвычайно важным установление морфолого-анатомических характеристик интродуцентов [10, 11]. Изменение растений на анатомическом уровне может послужить основой для анализа структурно-морфологических адаптаций видов в ответ на изменения условий произрастания. Учеными установлено, что наиболее пластичным органом растений в реакции на изменение условий окружающей среды является лист [12]. В работах многих авторов отмечается изменение анатомии листьев растений-интродуцентов в связи с изменением температурного режима территории [13, 14].

Известно, что низкая температура является одним из важнейших лимитирующих факторов, определяющих интродукцию растений [15]. Установлено, что фотосинтез растений увеличивается с повышением температуры листьев, пока температура не достигнет оптимума [16]. Следовательно, при интродукции растений в более теплые регионы можно с уверенностью ожидать положительное влияние температурного режима на фотосинтетическую активность, что найдет свое отражение в изменении устьичного индекса растений [17]. В литературе вопрос об изменении анатомических характеристик листа растений-интродуцентов нашел достаточно широкое освещение [18, 19]. Было установлено, что долгосрочные реакции видов на изменения температуры могут вызвать сдвиг оптимальной температуры фотосинтеза листьев, что стимулирует фотосинтез при новой температуре произрастания и часто приводит к изменению листа на анатомическом уровне [20]. Растения в прохладном регионе также могут повышать активность ферментов, связанных с фотосинтезом, чтобы адаптироваться к потеплению, тем самым усиливая фотосинтез [21].

Среди анатомических признаков листа строение столбчатого мезофилла является важной характеристикой в вопросах оценки фотосинтеза растений. Учеными обнаружено, что толщина столбчатого мезофилла положительно коррелирует со скоростью

фотосинтеза [22]. При этом важно также отметить, что фотосинтез относительно чувствителен к факторам окружающей среды – таким, как температура, свет и водный баланс. Поэтому активность фотосинтетических ферментов закономерно увеличивается с повышением температуры, что стимулирует сам процесс фотосинтеза и, соответственно, может способствовать изменению в анатомии листа растений. Ученые отмечают у растений ответную реакцию на потепление растений путем увеличения общей толщины листьев и эпидермы, а также соотношение столбчатого и губчатого мезофилла [23]. Более высокое соотношение столбчатого и губчатого мезофилла листа способствует более компактному расположению клеток, что улучшает поглощение CO_2 и, следовательно, помогает поддерживать более высокий уровень фотосинтеза растений [24]. Следует также подчеркнуть, что в условиях потепления становится чрезвычайно важным для растений поддержание водного баланса, поэтому неслучайно многие авторы фиксируют утолщение клеток эпидермы в качестве ответной реакции видов [25]. Однако величина и направление фотосинтетических реакций растений-интродуцентов на потепление могут существенно различаться в зависимости от вида и его географического происхождения.

В силу вышесказанного знание видоспецифических реакций растений (в том числе анатомических) на изменение климата может помочь лучше понять адаптации видов и разработать агротехнические мероприятия по их культивированию. В отечественной и иностранной литературе нет полных сведений об анатомическом строении листьев голубики узколистной, и особенно это касается отсутствия сведений об устьичном индексе растений и описания петиолярной анатомии.

В настоящее время в научной литературе отражены многочисленные результаты морфологических и биохимических исследований цветков и плодов представителей рода *Vaccinium* [26–28]. Сегодня широко проводятся интродукционные исследования рода *Vaccinium* в различных регионах России [29–41]. Ученые проводят оценку биоморфологических и биоэкологических особенностей представителей *Vaccinium* с целью дальнейшей селекционной работы [42]. Поскольку на сегодняшний день отсутствуют сведения об анатомической адаптации *V. angustifolium* к изменению агроклиматических условий выращивания, данная работа является актуальной и своевременной, особенно в связи с расширением регионов культивирования этой ценной ягодной культуры.

Цель исследований: изучить особенности анатомического строения листьев голубики узколистной в условиях интродукции в Московском регионе.

Методика исследований

Research method

Экспериментальная работа проводилась на кафедре декоративного садоводства и газоноведения ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в 2023–2025 гг. Объектом исследований служили свежесобранные листья растений голубики узколистной, произрастающих на коллекционном участке ягодных растений в Дендрологическом саду имени Р.И. Шредера (северо-западная часть г. Москвы). Сбор растительного сырья для анализа проводили в июле 2023–2025 гг. в фазе плодоношения растений. Для анатомического анализа отбирали по 10 хорошо сформированных листьев из средней части однолетних приростов 5 растений. Изучали анатомические признаки листьев в соответствии с требованиями ГФ XII «Техника микроскопического и микрохимического исследования лекарственного растительного сырья» [43].

Для анатомического анализа изготавливали временные микропрепараты поперечных и продольных срезов листьев растений. Процессы одревеснения частей растения выявляли с помощью реактива флороглюцина с концентрированной соляной кислотой. Срезы просветляли глицерином, разведенным водой (1:1). Исследование микропрепаратов проводили с помощью микроскопа Carl Zeiss Primo Star (Carl Zeiss, Германия). Микрофотосъемку выполняли с помощью цифровой фотокамеры Canon Digital IXUS105 (Canon, Япония). Линейные измерения анатомических структур листа проводили с помощью окуляр-микрометра Euromex EWF10 × /22mm (Euromex Microscopen, Нидерланды) в 10-кратной повторности. На основании полученных данных были рассчитаны следующие показатели: устьичный индекс и коэффициент палисадности.

Коэффициент палисадности рассчитывали по формуле (1):

$$K = \frac{S_{pal}}{S_{pal} + S_{spon}} \times 100\%, \quad (1)$$

где S_{pal} , S_{spon} – площади поперечных срезов пластинки, занятые клетками столбчатого и губчатого мезофилла, соответственно.

Устьичный индекс рассчитывали по формуле (2):

$$Ui = \frac{2N_{stom}}{2N_{stom} + 2N_{cell_low}} \times 100\%, \quad (2)$$

где N_{stom} – число устьиц на 1 мм² поверхности нижней эпидермы; N_{cell_low} – число основных клеток нижней эпидермы на 1 мм².

Статистическую обработку данных производили с использованием стандартных математико-статистических методов [44] с помощью программного обеспечения Microsoft Office Excel 2019 и StatSoft Statistica v10.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Листья *V. angustifolium* – простые, черешчатые, ланцетовидные, слабо опушены простыми одноклеточными трихомами. Наибольшее число волосков обнаруживается по главной жилке, краю листовой пластинки и черешку. Клетки однослойной верхней эпидермы характеризуются прямыми клеточными стенками с хорошо заметными поровыми каналами. Клетки нижней эпидермы листа имеют более извилистые очертания стенок по сравнению с клеточными стенками верхней эпидермы (рис. 1).

Листовая пластинка *V. angustifolium* гипостоматическая, устьица обнаруживаются только на нижней эпидерме листа. Следует особо отметить мозаичный характер распределения устьиц на листовой пластинке. Устьичный аппарат листьев *V. angustifolium* парацитный, побочные клетки располагаются параллельно замыкающим клеткам и устьичной щели (рис. 1б). Замыкающие клетки устьиц в очертании имеют удлиненно-почковидную форму.

Листья *V. angustifolium* дорсовентральные. Столбчатый мезофилл состоит из прямоугольно-удлиненных клеток; губчатый мезофилл характеризуется овальной формой клеток с выраженными межклетниками (рис. 2).

Жилкование листа *V. angustifolium* перистое. Проводящий пучок главной жилки – закрытый коллатеральный, овально-вытянутой формы, окружен многослойной склеренхимной обкладкой (рис. 2б). Боковые жилки листовой пластинки характеризовались более мелкими закрытыми коллатеральными пучками. Особую механическую

прочность пластинке придавали многорядные тяжи уголковой колленхимы, расположенные под верхней и нижней эпидермой листа в месте прохождения главной жилки.

Результаты детального анализа биометрических параметров листьев *V. angustifolium* представлены в таблице 1.

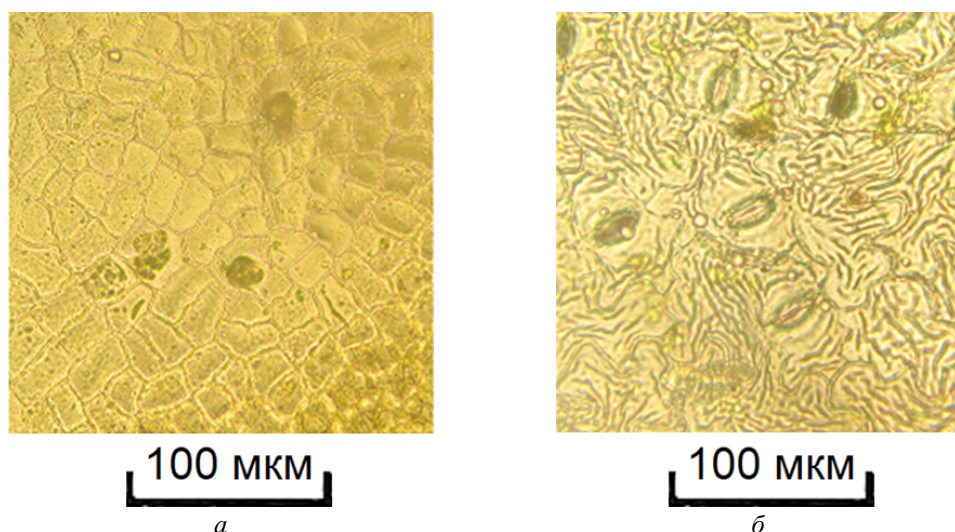


Рис. 1. Строение эпидермы листовой пластинки *Vaccinium angustifolium* (парадермальный срез):
а – верхняя эпидерма; б – нижняя эпидерма

Figure 1. Epidermal structure of *Vaccinium angustifolium* leaf blade (paradermal section):
а – upper epidermis; б – lower epidermis

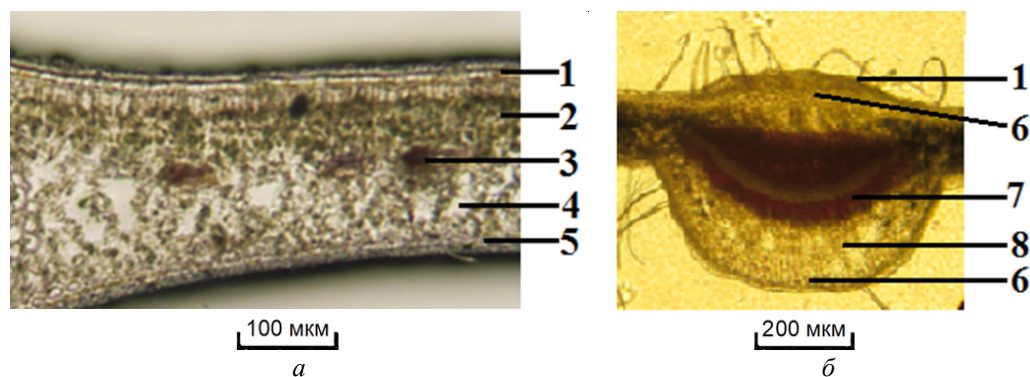


Рис. 2. Анатомическое строение листовой пластинки *Vaccinium angustifolium*:

- а – мезофилл на поперечном срезе листа;
б – поперечный срез листовой пластинки в области главной жилки; 1 – верхняя эпидерма;
2 – столбчатый мезофилл; 3 – закрытый коллатеральный пучок боковой жилки;
4 – губчатый мезофилл; 5 – нижняя эпидерма; 6 – уголковая колленхима;
7 – закрытый коллатеральный пучок главной жилки;
8 – губчатый мезофилл с крупными межклетниками

Figure 2. Anatomical structure of *Vaccinium angustifolium* leaf blade:

- а – mesophyll in a cross-section; б – cross-section of the leaf blade in the area of the midrib;
1 – upper epidermis; 2 – columnar mesophyll; 3 – closed collateral bundle of the lateral vein;
4 – spongy mesophyll; 5 – lower epidermis; 6 – angular collenchyma;
7 – closed collateral bundle of the midrib; 8 – spongy mesophyll with large intercellular spaces

Таблица 1

Биометрические показатели листа *Vaccinium angustifolium*

Table 1

Biometric parameters of *Vaccinium angustifolium* leaf

Биометрический показатель	Значение					
	2023 г.		2024 г.		2025 г.	
	M±m _M	V, %	M±m _M	V, %	M±m _M	V, %
Толщина листовой пластинки, мкм	168,80±2,29	15,46	172,50±3,87	14,27	180,80±4,22	12,85
Общая толщина столбчатого мезофилла листовой пластинки, мкм	64,30±2,11	12,58	66,80±2,53	11,25	72,50±2,15	10,34
Общая толщина губчатого мезофилла листовой пластинки, мкм	105,20±2,24	11,25	108,40±2,65	8,31	110,50±2,58	8,02
Толщина наружного слоя клеток столбчатого мезофилла, мкм	30,10±0,43	7,34	32,54±0,62	6,56	38,41±0,75	5,92
Диаметр клеток губчатого мезофилла, мкм	7,13±0,15	10,12	7,42±0,17	9,23	7,86±0,12	8,16
Толщина верхней эпидермы с кутикулой, мкм	14,80±0,422	13,34	15,30±0,518	11,25	16,00±0,536	11,04
Высота клеток верхней эпидермы, мкм	13,50±0,33	9,28	14,80±0,49	8,06	15,30±0,56	7,85
Размер поперечного сечения клеток верхней эпидермы, мкм	24,60±0,65	12,85	25,70±0,80	11,62	27,50±0,97	10,03
Толщина нижней эпидермы с кутикулой, мкм	11,0±0,375	9,07	11,90±0,463	8,67	12,50±0,485	8,32
Высота клеток нижней эпидермы, мкм	10,4±0,35	7,34	11,70±0,44	6,59	12,40±0,50	6,12
Размер поперечного сечения клеток нижней эпидермы, мкм	20,30±0,49	11,49	21,40±0,62	10,35	22,00±0,75	9,61
Коэффициент палисадности (K), %	31,5±1,49	11,67	34,90±1,53	11,15	38,50±1,78	9,66
Количество устьиц на 1 мм ² поверхности листа, шт.	96,55±5,25	13,36	108,42±4,89	12,84	115,25±4,66	9,75
Устьичный индекс (Ui), %	25,70±0,85	10,05	26,30±0,75	9,46	29,20±0,69	9,18

Из анализа данных таблицы 1 следует, что за годы наблюдений у растений *V. angustifolium* изменялись биометрические параметры листа в сторону общего увеличения. Толщина листовой пластинки растений увеличилась на 12 мкм (с 168,8 до 180,8 мкм), что может свидетельствовать об адаптации растений к засушливому лету периода наблюдений. Толщина клеток нижней эпидермы с кутикулой увеличилась на 1,5 мкм (с 11,0 до 12,5 мкм), а верхней – на 1,8 мкм (с 14,8 до 16,0 мкм). Увеличение общей толщины столбчатого мезофилла листовой пластинки изменилось на 8,2 мкм (с 64,3 до 72,5 мкм), а толщина губчатого мезофилла возросла немного меньше – на 5,3 мкм (с 105,2 до 110,5 мкм).

У листьев растений наблюдалось не только увеличение линейного размера клеток хлоренхимы, но и изменение соотношения губчатого и столбчатого мезофилла в пользу увеличения последнего. Так, коэффициент палисадности листа *V. angustifolium* с 2023 г. в 2025 г. увеличился на 7% (с 31,5 до 38,5%), а устьичный индекс возрос на 3,5% (с 25,75 до 29,2%), что говорит об усилении фотосинтетической активности растений и их адаптации к световому и тепловому режиму Московского региона. Эффективность фотосинтеза растений росла также благодаря закономерному увеличению количества устьиц на 1 мм² поверхности листа (с 96 до 115 шт.). Низкий коэффициент вариации изученных анатомических параметров листа 2025 г. свидетельствует о стабилизации морфометрических анатомических параметров листа растений в условиях интродукции Дендрологического сада имени Р.И. Шредера. Однако следует отметить, что устьичный индекс и коэффициент палисадности листа *V. angustifolium* остаются на достаточно низком уровне по отношению к другим систематическим группам мезотрофных растений средней полосы России. Поскольку индекс палисадности является наиболее информативным показателем, определяющим также и устойчивость растений к засухе [45], увеличение этого показателя в опыте дополнительно указывает на адаптивность голубики узколистной к довольно засушливому летнему периоду наблюдений 2023–2025 гг.

Особое значение при изучении растений-интродуцентов в последнее время приобретает петиолярная анатомия [46]. Анатомия черешка растений отличается от листовой пластинки тем, что менее всего подвержена анатомическим изменениям в связи с экологической адаптацией растений к новым условиям произрастания [47]. Поэтому данные петиолярной анатомии, в том числе растений *V. angustifolium*, могут послужить надежной основой при проведении анатомического анализа растений-интродуцентов. Черешок листа *V. angustifolium* густо опушен простыми мягкими одноклеточными волосками. В полуцилиндрической черешке растений в центральной части находится крупный закрытый коллатеральный пучок, проводящие ткани которого (первичная ксилема и флоэма) на поперечном срезе располагались в виде сектора полукольца (рис. 3).

Со стороны флоэмы проводящего пучка обнаруживалась хорошо заметная склеренхима, которая усиливала механическую функцию черешка листа. Устойчивость черешка к изгибам обеспечивала уголкообразная колленхима его коровой части. Следует отметить, что число слоев уголкообразной колленхимы в черешке зависело от характера ее расположения. Число слоев колленхимы варьировало от 3 до 8, возрастая в ребрах черешка листа. Наибольшее внутреннее пространство черешка занимала основная паренхима, в клетках которой обнаруживались немногочисленные хлоропласты.

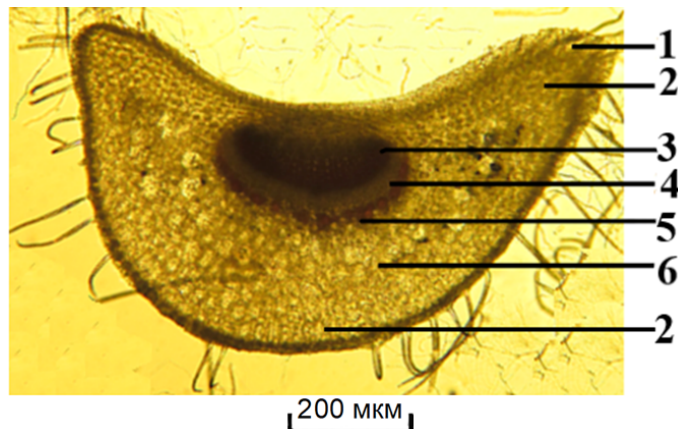


Рис. 3. Анатомическое строение поперечного среза черешка листа *Vaccinium angustifolium*:
 1 – эпидерма с трихомами; 2 – угловая колленхима;
 3 – первичная ксилема коллатерального пучка; 4 – первичная флоэма коллатерального пучка;
 5 – волокна склеренхимы; 6 – основная паренхима коры

Figure 3. Anatomical structure of the cross-section of *Vaccinium angustifolium* leaf petiole:
 1 – epidermis with trichomes; 2 – angular collenchyma;
 3 – primary xylem of the collateral bundle; 4 – primary phloem of the collateral bundle;
 5 – sclerenchyma fibers; 6 – main parenchyma of the cortex

Выводы Conclusions

Адаптивная способность растений-интродуцентов *V. angustifolium* во многом зависит от строения листовой пластинки. Устьичный аппарат, а также другие элементы эпидермы *V. angustifolium* могут играть решающую роль в устойчивости растения к различным стрессовым факторам, в том числе к изменениям климатических условий произрастания. Анатомическое изучение листьев голубики узколистной дает возможность глубже познать экологическую природу данного вида, выявить уровень адаптации растений к изменению экологических условий произрастания.

Установлено, что реакция голубики узколистной к условиям г. Москвы проявлялась в изменении структуры мезофилла и количества устьиц на единицу площади листовой поверхности. В ходе адаптации у растений отмечалось постепенное увеличение толщины слоя столбчатого мезофилла, а также возрастала его доля в общей толщине листовой пластинки, на что ярко указывает увеличение индекса палисадности. Изменение индекса палисадности в большую сторону может свидетельствовать об адаптации голубики узколистной к более интенсивному освещению в условиях открытого, хорошо освещенного опытного участка Дендрологического сада имени Р.И. Шредера, так как столбчатый палисадный мезофилл более эффективно поглощает свет для фотосинтеза, а также об адаптивности *V. angustifolium* к довольно засушливым летним периодам в 2023–2025 гг.

На основании проведенных исследований можно заключить, что за весь период наблюдений выявлена одинаковая закономерность в изменении строения листа голубики узколистной в градиенте климатических факторов Московского региона и агрометеорологических условий территории интродукции. У растений было отмечено увеличение общей толщины листа, верхней и нижней эпидермы, столбчатого и губчатого мезофилла, изменение соотношения губчатого и столбчатого мезофилла в сторону увеличения доли последнего, а также увеличение плотности и размера устьиц.

На основании анализа большого фактического материала исследований можно утверждать, что основными структурными изменениями листьев *V. angustifolium* в условиях интродукции в Московский регион является увеличение толщины листовой пластинки, индекса палисадности и устьичного индекса. Установлено, что у *V. angustifolium* одновременно происходят как фотосинтетическая адаптация к изменению климатических условий региона интродукции, так и адаптивные изменения в анатомии листьев.

В результате проведенных исследований установлены основные анатомо-диагностические признаки листьев *V. angustifolium*, которые могут быть использованы для составления анатомических атласов культурных растений, при идентификации и оценке подлинности сырья листьев растения, оценке адаптивного потенциала растений-интродуцентов, а также послужат теоретической основой для разработки методики интродукции ягодных культур.

Список источников

1. *Flora of North America. Vol. 8: Magnoliophyta: Paeoniaceae to Ericaceae* / FNA Ed Committee. New York, USA: Oxford University Press, 2009. 624 p.
2. Коровкин О.А., Черятова Ю.С. *Ботаника: Учебник*. Москва: КноРус, 2024. 464 с. EDN: CBVVAR
3. Макаров С.С., Сунгурова Н.Р., Чудецкий А.И. *Декоративная дендрология: Учебник для вузов*. Санкт-Петербург: Лань, 2024. 340 с. EDN: ITKLBS
4. Громадин А.В., Сахоненко А.Н. *Дендрологический справочник. Деревья и кустарники, пригодные для культивирования в открытом грунте на территории России*: Справочное издание. Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2025. 695 с. EDN: BXNCKH
5. Cappiello P.E., Dunham S.W. Seasonal variation in low-temperature tolerance of *Vaccinium angustifolium* Ait. *Horticultural Science*. 1994;29(4):302-304
6. Радкевич Т.В. Современное состояние и тенденции развития культуры голубики // Плодоводство. 2022. Т. 34. С. 211–219. <https://doi.org/10.47612/0134-9759-2022-34-211-219>
7. Ly C., Ferrier J., Gaudet J., Yockell-Lelièvre J. et al. *Vaccinium angustifolium* (lowbush blueberry) leaf extract increases extravillous trophoblast cell migration and invasion *in vitro*. *Phytotherapy Research*. 2018;32(4):705-714. <https://doi.org/10.1002/ptr.6021>
8. Miller K., Feucht W., Schmid M. Bioactive Compounds of Strawberry and Blueberry and Their Potential Health Effects Based on Human Intervention Studies: A Brief Overview. *Nutrients*. 2019;11(7):1510. <https://doi.org/10.3390/nu11071510>
9. Wood E., Hein S., Heiss C., Williams C. et al. Blueberries and cardiovascular disease prevention. *Food and Function*. 2019;10(12):7621-7633. <https://doi.org/10.1039/c9fo02291k>
10. Черятова Ю.С. Актуальные аспекты морфолого-анатомического анализа лекарственного растительного сырья – листьев лавровишни лекарственной (*Laurocerasus officinalis*) // *Экосистемы*. 2020. № 21 (51). С. 85–92. EDN: DJYAYG
11. Черятова Ю.С. Анатомо-диагностические признаки лекарственного растительного сырья *Eucalyptus globulus* Labill // *Эпоха науки*. 2019. № 20. С. 620–626. <https://doi.org/10.24411/2409-3203-2019-12130>
12. Bacelar E.A., Correia C.M., Moutinho-Pereira J.M., Gonçalves B.C. et al. Sclerophylly and leaf anatomical traits of five field-grown olive cultivars

- growing under drought conditions. *Tree Physiology*. 2004;24:233-239. <https://doi.org/10.1093/treephys/24.2.233>
13. Oberbauer S.F., Tweedie C.E., Welker J.M., Fahnestock J.T. et al. Tundra CO₂ fluxes in response to experimental warming across latitudinal and moisture gradients. *Ecological Monographs*. 2007;77:221-238. <https://doi.org/10.1890/06-064>
 14. Hartikainen K., Nerg A.-M., Kivimäenpää M., Kontunen-Soppela S. et al. Emissions of volatile organic compounds and leaf structural characteristics of European aspen (*Populus tremula*) grown under elevated ozone and temperature. *Tree Physiology*. 2009;29:1163-1173. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpp033>
 15. Sharp E.D., Sullivan P.F., Steltzer H., Csank A.Z. et al. Complex carbon cycle responses to multi-level warming and supplemental summer rain in the high Arctic. *Global Change Biology*. 2013;19:1780-1792. <https://doi.org/10.1111/gcb.12149>
 16. Slot M., Winter K. In situ temperature response of photosynthesis of 42 tree and liana species in the canopy of two Panamanian lowland tropical forests with contrasting rainfall regimes. *New Phytologist*. 2017;214:1103-1117. <https://doi.org/10.1111/nph.14469>
 17. Welker J.M., Fahnestock J.T., Henry G.H.R., O'dea K.W. et al. CO₂ exchange in three Canadian High Arctic ecosystems: Response to long-term experimental warming. *Global Change Biology*. 2004;10:1981-1995. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00857.x>
 18. Natali S.M., Schuur E.A.G., Trucco C., Pries C.E.H. et al. Effects of experimental warming of air. *Global Change Biology*. *Chang. Biol.* 2011;17:1394-1407. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02303.x>
 19. Natali S.M., Schuur E.A.G., Webb E.E., Pries C.E.H. et al. Permafrost degradation stimulates carbon loss from experimentally warmed tundra. *Ecology*. 2014;95:602-608. <https://doi.org/10.1890/13-0602.1>
 20. Berry J., Björkman O. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*. 1980;31:491-543. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.31.060180.002423>
 21. Yamori W., Hikosaka K., Way D.A. Temperature response of photosynthesis in C₃, C₄, and CAM plants: Temperature acclimation and temperature adaptation. *Photosynthesis Research*. 2014;119:101-117. <https://doi.org/10.1007/s11120-013-9874-6>
 22. Schollert M., Kivimäenpää M., Michelsen A., Blok D. et al. Leaf anatomy, BVOC emission and CO₂ exchange of arctic plants following snow addition and summer warming. *Annals of Botany*. 2017;119:433-445. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw237>
 23. Carroll C.J.W., Knapp A.K., Martin P.H. Dominant tree species of the Colorado Rockies have divergent physiological and morphological responses to warming. *Forest Ecology and Management*. 2017;402:234-240. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.07.048>
 24. Chartzoulakis K., Bosabalidis A., Patakas A., Vemmos S. Effects of water stress on water relations, gas exchange and leaf structure of olive tree. *Acta Horticultura*. 2000;537:241-247. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.537.25>
 25. Schollert M., Kivimäenpää M., Valolahti H.M., Rinnan R. Climate change alters leaf anatomy, but has no effects on volatile emissions from arctic plants. *Plant, Cell & Environment*. 2015;38:2048-2060. <https://doi.org/10.1111/pce.12530>
 26. Del Bo' C., Cao Y., Roursgaard M., Riso P. et al. Anthocyanins and phenolic acids from a wild blueberry (*Vaccinium angustifolium*) powder counteract lipid accumulation in THP-1-derived macrophages. *European Journal of Nutrition*. 2016;55(1):171-182. <https://doi.org/10.1007/s00394-015-0835-z>
 27. Yang L., Liu L., Wang Z., Zong Y. et al. Comparative anatomical and transcriptomic insights into *Vaccinium corymbosum* flower bud and fruit throughout development. *BMC Plant Biology*. 2021;21(1):289. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03067-6>

28. Zhu B., Guo P., Wu S., Yang Q. et al. A Better Fruit Quality of Grafted Blueberry Than Own-Rooted Blueberry Is Linked to Its Anatomy. *Plants (Basel)*. 2024;13(5):625. <https://doi.org/10.3390/plants13050625>
29. Яковлев А.П., Морозов О.В. Развитие вегетативной сферы голубики узколистной при интродукции в условиях Беларуси // *Лесохозяйственная информация*. 2008. № 12. С. 40-44
30. Макаров С.С., Кузнецова И.Б., Упадышев М.Т. и др. Особенности клонального микроразмножения клюквы болотной (*Oxycoccus palustris* Pers.) // *Техника и технология пищевых производств*. 2021. Т. 51, № 1. С. 67–76. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-67-76>
31. Макаров С.С., Родин С.А., Кузнецова И.Б. и др. Влияние освещения на ризогенез ягодных растений при клональном микроразмножении // *Техника и технология пищевых производств*. 2021. Т. 51, № 3. С. 520–528. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-520-528>
32. Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Chudetsky A.I., Rodin S.A. Obtaining High-Quality Planting Material of Forest Berry Plants by Clonal Micropropagation for Restoration of Cutover Peatlands. *Russian Forestry Journal*. 2021;2:21-29. <https://doi.org/10.17238/0536-1036-2021-2-21-29>
33. Зорин Д.А. Интродукция *Vaccinium angustifolium* Ait. в Удмуртии // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2022. № 4. С. 26–32. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-4-26-32>
34. Макаров С.С., Кузнецова И.Б., Заушинцева А.В. и др. Повышение эффективности многоцелевого лесопользования на выработанных торфяниках // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2022. № 3. С. 91–102. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-3-91-102>
35. Макаров С.С., Упадышев М.Т., Кузнецова И.Б. и др. Применение освещения различного спектрального диапазона при клональном микроразмножении лесных ягодных растений // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2022. № 6. С. 82–93. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-6-82-93>
36. Макаров С.С., Тяк Г.В., Чудецкий А.И. и др. Перспективы плантационного выращивания лесных ягодных растений в северных регионах России // *Арктика 2035: актуальные вопросы, проблемы, решения*. 2023. № 3 (15). С. 62–77. EDN: KFKHUA
37. Макаров С.С., Феклистов П.А., Кузнецова И.Б. и др. Технологии размножения и возделывания видов и сортов голубики для создания биоресурсной коллекции // *Достижения науки и техники АПК*. 2023. Т. 37, № 12. С. 11–16. https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_12_11
38. Макаров С.С., Чудецкий А.И., Сахоненко А.Н. и др. Создание биоресурсной коллекции ягодных растений на базе РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // *Тимирязевский биологический журнал*. 2023. № 4. С. 23–33. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-4-23-33>
39. Макеева Г.Ю., Тяк Г.В., Макеев В.А., Макаров С.С. Создание первых российских сортов голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Ait.) // *Современное садоводство*. 2023. № 1. С. 1–14. https://doi.org/10.52415/23126701_2023_0101
40. Makarov S.S., Vinogradova V.S., Khanbabaeva O.E. et al. Prospects for Enhanced Growth and Yield of Blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.) Using Organomineral Fertilizers for Reclamation of Disturbed Forest Lands in European Part of Russia. *Agronomy*. 2024;14(7):1498. <https://doi.org/10.3390/agronomy14071498>
41. Макаров С.С., Чудецкий А.И., Кузнецова И.Б. и др. Совершенствование технологии адаптации *Vaccinium angustifolium* и *Vaccinium corymbosum* ex vitro в открытом

грунте // Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55, № 1. С. 107–121. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2558>

42. Атрощенко Г.П., Логинова С.Ф., Кошман А.И. Оценка феноритмики сезонного развития и зимостойкости таксонов рода *Vaccinium* (голубики) для селекции и практики // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2019. № 56. С. 37–42. <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2019-13037>

43. *Государственная фармакопея Российской Федерации. Изд. XXI. Т. 1.* Москва: Научный центр экспертизы и средств медицинского применения, 2008. 704 с.

44. Доспехов Б.А. *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)*: Учебник. Изд. 6-е. Москва: Альянс, 2011. 350 с.

45. Hernández-Fuentes C., Bravo L.A., Cavieres L.A. Photosynthetic responses and photoprotection strategies of *Phacelia secunda* plants exposed to experimental warming at different elevations in the central Chilean Andes. *Alpine Botany*. 2015;125:87-99. <https://doi.org/10.1007/s00035-015-0151-5>

46. Cheryatova Yu.S. Actual aspects of anatomical research of medicinal plant material of *Vinca minor* L. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;723:022036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022036>

47. Cheryatova Y. Arnautova, G. Comparative morphological and anatomical study of *Primula macrocalix* Bge. and *Primula sibthorpii* Hoffm. leaves growing in Dagestan. *E3S Web of Conferences*, 2021;254:01018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125401018>

References

1. *Flora of North America. Vol. 8: Magnoliophyta: Paeoniaceae to Ericaceae*. FNA Ed Committee. New York, USA: Oxford University Press, 2009:624.

2. Korovkin O.A., Cheryatova Yu.S. *Botany: a textbook*. Moscow, Russia: KnoRus, 2024:464. (In Russ.)

3. Makarov S.S., Sungurova N.R., Chudetsky A.I. *Ornamental Dendrology*. St. Petersburg, Russia: Lan, 2024:340. (In Russ.)

4. Gromadin A.V., Sakhonenko A.N. *Dendrological handbook. Trees and shrubs suitable for open ground cultivation in Russia: a reference book*. Moscow, Russia: KMK Scientific Press Ltd., 2025:695. (In Russ.)

5. Cappiello P.E., Dunham S.W. Seasonal variation in low-temperature tolerance of *Vaccinium angustifolium* Ait. *Horticultural Science*. 1994;29(4):302-304.

6. Radkevich T.V. Current state and development trends of blueberry culture. *Fruit-Growing*. 2022;34:211-219. (In Russ.) <https://doi.org/10.47612/0134-9759-2022-34-211-219>

7. Ly C., Ferrier J., Gaudet J., Yockell-Lelièvre J. et al. *Vaccinium angustifolium* (lowbush blueberry) leaf extract increases extravillous trophoblast cell migration and invasion *in vitro*. *Phytotherapy Research*. 2018;32(4):705-714. <https://doi.org/10.1002/ptr.6021>

8. Miller K., Feucht W., Schmid M. Bioactive Compounds of Strawberry and Blueberry and Their Potential Health Effects Based on Human Intervention Studies: A Brief Overview. *Nutrients*. 2019;11(7):1510. <https://doi.org/10.3390/nu11071510>

9. Wood E., Hein S., Heiss C., Williams C. et al. Blueberries and cardiovascular disease prevention. *Food and Function*. 2019;10(12):7621-7633. <https://doi.org/10.1039/c9fo02291k>

10. Cheryatova Yu.S. Actual aspects of anatomical and morphological research of medicinal plant material of *Laurocerasus officinalis* (M. Roem.). *Ekosistemy*. 2020;(21(51)):85-92. (In Russ.)

11. Cheryatova Yu.S. Anatomico-diagnostic traits of medicinal vegetable raw materials of *Eucalyptus globulus* Labill. *Era of Science*. 2019;(20):620-626. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2409-3203-2019-12130>
12. Bacelar E.A., Correia C.M., Moutinho-Pereira J.M., Gonçalves B.C. et al. Sclerophylly and leaf anatomical traits of five field-grown olive cultivars growing under drought conditions. *Tree Physiology*. 2004;24:233-239. <https://doi.org/10.1093/treephys/24.2.233>
13. Oberbauer S.F., Tweedie C.E., Welker J.M., Fahnestock J.T. et al. Tundra CO₂ fluxes in response to experimental warming across latitudinal and moisture gradients. *Ecological Monographs*. 2007;77:221-238. <https://doi.org/10.1890/06-064>
14. Hartikainen K., Nerg A.-M., Kivimäenpää M., Kontunen-Soppela S. et al. Emissions of volatile organic compounds and leaf structural characteristics of European aspen (*Populus tremula*) grown under elevated ozone and temperature. *Tree Physiology*. 2009;29:1163-1173. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpp033>
15. Sharp E.D., Sullivan P.F., Steltzer H., Csank A.Z. et al. Complex carbon cycle responses to multi-level warming and supplemental summer rain in the high Arctic. *Global Change Biology*. 2013;19:1780-1792. <https://doi.org/10.1111/gcb.12149>
16. Slot M., Winter K. *In situ* temperature response of photosynthesis of 42 tree and liana species in the canopy of two Panamanian lowland tropical forests with contrasting rainfall regimes. *New Phytologist*. 2017;214:1103-1117. <https://doi.org/10.1111/nph.14469>
17. Welker J.M., Fahnestock J.T., Henry G.H.R., O'dea K.W. et al. CO₂ exchange in three Canadian High Arctic ecosystems: Response to long-term experimental warming. *Global Change Biology*. 2004;10:1981-1995. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00857.x>
18. Natali S.M., Schuur E.A.G., Trucco C., Pries C.E.H. et al. Effects of experimental warming of air. *Global Change Biology. Chang. Biol.* 2011;17:1394-1407. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02303.x>
19. Natali S.M., Schuur E.A.G., Webb E.E., Pries C.E.H. et al. Permafrost degradation stimulates carbon loss from experimentally warmed tundra. *Ecology*. 2014;95:602-608. <https://doi.org/10.1890/13-0602.1>
20. Berry J., Björkman O. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*. 1980;31:491-543. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.31.060180.002423>
21. Yamori W., Hikosaka K., Way D.A. Temperature response of photosynthesis in C₃, C₄, and CAM plants: Temperature acclimation and temperature adaptation. *Photosynthesis Research*. 2014;119:101-117. <https://doi.org/10.1007/s11120-013-9874-6>
22. Schollert M., Kivimäenpää M., Michelsen A., Blok D. et al. Leaf anatomy, BVOC emission and CO₂ exchange of arctic plants following snow addition and summer warming. *Annals of Botany*. 2017;119:433-445. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw237>
23. Carroll C.J.W., Knapp A.K., Martin P.H. Dominant tree species of the Colorado Rockies have divergent physiological and morphological responses to warming. *Forest Ecology and Management*. 2017;402:234-240. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.07.048>
24. Chartzoulakis K., Bosabalidis A., Patakas A., Vemmos S. Effects of water stress on water relations, gas exchange and leaf structure of olive tree. *Acta Horticultura*. 2000;537:241-247. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.537.25>
25. Schollert M., Kivimäenpää M., Valolahti H.M., Rinnan R. Climate change alters leaf anatomy, but has no effects on volatile emissions from arctic plants. *Plant, Cell & Environment*. 2015;38:2048-2060. <https://doi.org/10.1111/pce.12530>
26. Del Bo' C., Cao Y., Roursgaard M., Riso P. et al. Anthocyanins and phenolic acids from a wild blueberry (*Vaccinium angustifolium*) powder counteract lipid accumulation

- in THP-1-derived macrophages. *European Journal of Nutrition*. 2016;55(1):171-182. <https://doi.org/10.1007/s00394-015-0835-z>
27. Yang L., Liu L., Wang Z., Zong Y. et al. Comparative anatomical and transcriptomic insights into *Vaccinium corymbosum* flower bud and fruit throughout development. *BMC Plant Biology*. 2021;21(1):289. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03067-6>
28. Zhu B., Guo P., Wu S., Yang Q. et al. A Better Fruit Quality of Grafted Blueberry Than Own-Rooted Blueberry Is Linked to Its Anatomy. *Plants (Basel)*. 2024;13(5):625. <https://doi.org/10.3390/plants13050625>
29. Yakovlev A.P., Morozov O.V. Development of the vegetative sphere of lowbush blueberry during introduction in the conditions of Belarus. *Forestry Information*. 2008;12:40-44. (In Russ.)
30. Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Upadyshev M.T., Rodin S.A. et al. Clonal micropropagation of cranberry (*Oxycoccus palustris* Pers.). *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021;51(1):67-76. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-67-76>
31. Makarov S.S., Rodin S.A., Kuznetsova I.B., Chudetsky A.I. et al. Effect of light on rhizogenesis of forest berry plants during clonal micropropagation. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021;51(3):520-528. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-520-528>
32. Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Chudetsky A.I., Rodin S.A. Obtaining High-Quality Planting Material of Forest Berry Plants by Clonal Micropropagation for Restoration of Cutover Peatlands. *Russian Forestry Journal*. 2021;(2):21-29. <https://doi.org/10.17238/0536-1036-2021-2-21-29>
33. Zorin D.A. Introduction of *Vaccinium angustifolium* Ait. *Izvestiya of the Timiryazev Agricultural Academy*. 2022;(4):26-32. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-4-26-32>
34. Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Zaushintsena A.V., Kulikova E.I. et al. Improving the efficiency of multipurpose forest management of depleted peatlands. *Russian Forestry Journal*. 2022;(3(387)):91-102. (In Russ.) <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-3-91-102>
35. Makarov S.S., Upadyshev M.T., Kuznetsova I.B., Zaushintsena A.V. et al. The use of lighting of various spectral ranges for clonal micropropagation of forest berry plants. *Russian Forestry Journal*. 2022;(6(390)):82-93. (In Russ.) <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-6-82-93>
36. Makarov S.S., Tyak G.V., Chudetsky A.I., Petrova Yu.Yu. et al. Prospects for plantation cultivation of forest berry plants in the northern regions of Russia. *Arktika 2035: aktualnye voprosy, problemy, resheniya*. 2023;(3(15)):62-77. (In Russ.)
37. Makarov S.S., Feklistov P.A., Kuznetsova I.B., Kulikova E.I. et al. Technologies for propagation and cultivation of blueberry species and varieties to create a bioresource collection. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2023;37(12):11-16. (In Russ.) https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_12_11
38. Makarov S.S., Chudetsky A.I., Sakhonenko A.N., Solovyov A.V. et al. Creation of a bioresource collection of berry plants on the basis of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. *Timiryazev Biological Journal*. 2023;(4):23-33. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-4-23-33>
39. Makeeva G.Yu., Tyak G.V., Makeev V.A., Makarov S.S. Creation of the first Russian cultivars of blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.). *Contemporary Horticulture*. 2023;(1):1-14. (In Russ.) https://doi.org/10.52415/23126701_2023_0101
40. Makarov S.S., Vinogradova V.S., Khanbabaeva O.E., Makarova T.A. et al. Prospects for Enhanced Growth and Yield of Blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.) Using Organomineral Fertilizers for Reclamation of Disturbed Forest Lands in European Part of Russia. *Agronomy*. 2024;14(7):1498. <https://doi.org/10.3390/agronomy14071498>

41. Makarov S.S., Chudetsky A.I., Kuznetsova I.B., Kulikova E.I. et al. Improving the *ex vitro* adaptation technology for *Vaccinium angustifolium* and *Vaccinium corymbosum* on the field. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2025;55(1):107-121. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2558>
42. Atroshchenko G.P., Loginova S.F., Koshman A.I. Evaluation of phenological rhythms of seasonal development and winter hardiness of taxa of the genus *Vaccinium* (blueberries) for breeding and practice. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2019;(56):37-42. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2019-13037>
43. *State Pharmacopoeia of the Russian Federation*. Ed. XXI. Vol. 1. Moscow, Russia: Scientific Center on Expertise of Medical Application Products of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2008:704. (In Russ.)
44. Dospekhov B.A. *Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results)*: a textbook. 6th ed. Moscow, Russia: Alyans, 2011:350. (In Russ.)
45. Hernández-Fuentes C., Bravo L.A., Cavieres L.A. Photosynthetic responses and photoprotection strategies of *Phacelia secunda* plants exposed to experimental warming at different elevations in the central Chilean Andes. *Alpine Botany*. 2015;125:87-99. <https://doi.org/10.1007/s00035-015-0151-5>
46. Cheryatova Yu.S. Actual aspects of anatomical research of medicinal plant material of *Vinca minor* L. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;723:022036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022036>
47. Cheryatova Y. Arnautova, G. Comparative morphological and anatomical study of *Primula macrocalix* Bge. and *Primula sibthorpii* Hoffm. leaves growing in Dagestan. *E3S Web of Conferences*. 2021;254:01018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125401018>

Сведения об авторах

Юлия Сергеевна Черятова, канд. биол. наук, доцент, доцент кафедры декоративного садоводства и газоноведения, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: u.cheryatova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5614-2225>

Сергей Сергеевич Макаров, д-р с.-х. наук, заведующий кафедрой декоративного садоводства и газоноведения, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: s.makarov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0564-8888>

Антон Игоревич Чудецкий, канд. с.-х. наук, доцент кафедры декоративного садоводства и газоноведения, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: chudetski@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4804-7759>

Татьяна Васильевна Портнова, д-р искусствоведения, доцент, профессор кафедры ландшафтной архитектуры, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева»;

127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: t.portnova@rgau-msha.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-4221-3923>

Ирина Васильевна Портнова, канд. искусствоведения, доцент, доцент кафедры ландшафтной архитектуры, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева»; 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: i.portnova@rgau-msha.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-9064-5288>

Information about the authors

Yuliya S. Cheryatova, CSc (Biol), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Ornamental Horticulture and Lawn Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: u.cheryatova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5614-2225>

Sergey S. Makarov, DSc (Ag), Head of the Department of Ornamental Horticulture and Lawn Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: s.makarov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0564-8888>

Anton I. Chudetsky, CSc (Ag), Associate Professor at the Department of Ornamental Horticulture and Lawn Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: chudetski@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4804-7759>

Tatiana V. Portnova, DSc (Art Hist), Associate Professor, Professor at the Department of Landscape Architecture, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: t.portnova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4221-3923>

Irina V. Portnova, CSc (Art Hist), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Landscape Architecture, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: i.portnova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9064-5288>