

**СРАВНИТЕЛЬНОЕ АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЛИСТА  
*RHODODENDRON CATAWBIENSE* MICHX. И *RHODODENDRON BRACHYCARPUM* D. DON,  
ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ГЛАВНОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА ИМ. Н.В. ЦИЦИНА РАН**

© 2021

**Бондарь Ю.В.<sup>1</sup>, Зеркаль С.В.<sup>2</sup>, Гетко Н.В.<sup>3</sup>, Рысин С.Л.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина (г. Брест, Республика Беларусь)

<sup>2</sup>(г. Брест, Республика Беларусь)

<sup>3</sup>Центральный ботанический сад НАН Республики Беларусь (г. Минск, Республика Беларусь)

<sup>4</sup>Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН (г. Москва, Российская Федерация)

**Аннотация.** В статье рассматриваются результаты изучения анатомических параметров листа двух видов рода *Rhododendron* L. – *R. catawbiense* Michx. и *R. brachycarpum* D. Don, культивируемых в условиях Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина Российской академии наук (ГБС РАН, г. Москва). Морфо-анатомическая структура листа, используемая в диагностике и таксономии видов, является также ключевым показателем его функциональных характеристик. Она не менее важна при изучении механизмов их адаптации при интродукции в новые условия произрастания и позволяет найти способы оптимизации условий их жизнедеятельности и культивирования. Интродукционный опыт является необходимым условием при изучении адаптационного потенциала видов и при разработке методов управления ростом и развитием этих растений. В статье приводится детальная эколого-географическая характеристика районов естественного произрастания *R. catawbiense* (восточная часть Северной Америки), *R. brachycarpum* (Дальний Восток, Республика Корея, Япония) и района интродукции г. Москва (Северо-восточный административный округ, ГБС РАН). В работе впервые проведен детальный анатомо-морфологический анализ структуры листа двух представителей рода *Rhododendron* – *R. catawbiense* и *R. brachycarpum* – и выявлены диагностические признаки изменений параметров структуры листьев, сформированных в условиях, отличных от естественных мест обитания видов, при их интродукции в ГБС РАН.

**Ключевые слова:** *Rhododendron* L.; *R. catawbiense* Michx.; *R. brachycarpum* D. Don; лист; эпидерма; основные эпидермальные клетки; оболочка клеток; кутикула; устьица; устьичный аппарат; тип устьичного аппарата; замыкающие клетки устьиц; околоустьичные клетки; трихомы; железки; тангентальный и радиальный размеры; город Брест; Бугско-Полесский регион; город Москва; Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН.

**COMPARATIVE ANATOMICAL STRUCTURE OF THE LEAF  
*RHODODENDRON CATAWBIENSE* MICHX. AND *RHODODENDRON BRACHYCARPUM* D. DON,  
GROWING UNDER CONDITIONS OF N.V. TSITSIN MAIN BOTANICAL GARDEN  
OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES**

© 2021

**Bondar Yu.V.<sup>1</sup>, Zerkal S.V.<sup>2</sup>, Hetko N.V.<sup>3</sup>, Rysin S.L.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Brest State A.S. Pushkin University (Brest, Republic of Belarus)

<sup>2</sup>(Brest, Republic of Belarus)

<sup>3</sup>Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of the Republic of Belarus (Minsk, Republic of Belarus)

<sup>4</sup>N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation)

**Abstract.** The paper deals with anatomical parameters of the leaf of two genus representatives *Rhododendron* L.: *R. catawbiense* Michx. and *R. brachycarpum* D. Don, cultivated under conditions of N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences. The morpho-anatomical structure of the leaf, used in the diagnosis and taxonomy of species, is also a key indicator of its functional characteristics. It is no less important for studying the mechanisms of their adaptation during introduction into new growing conditions and allows to find ways to optimize the conditions of their life and cultivation. Introduction experience is a prerequisite for studying the adaptive potential of species and for developing methods for managing the growth and development of these plants. The paper provides a detailed ecological and geographical characteristics of natural growth areas of *R. catawbiense* (eastern part of North America), *R. brachycarpum* (Far East, Republic of Korea, Japan) and the introduction area of Moscow (North-Eastern Administrative District, N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences). In this work, for the first time, a detailed anatomical and morphological analysis of the leaf structure of two genus representatives *Rhododendron*: *R. catawbiense* and *R. brachycarpum* was carried out, and diagnostic signs of changes in the parameters of the structure of leaves, formed in conditions different from the natural habitats of species, were revealed during their introduction into N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences.

**Keywords:** *Rhododendron* L.; *R. catawbiense* Michx.; *R. brachycarpum* D. Don; leaf; epidermis; basic epidermal cells; cell shell; cuticle; stomata; stomatal apparatus; type of stomatal apparatus; stomatal guard cells; peri-stomatal cells; trichomes; glands; tangential and radial dimensions; the city of Brest; Bugsko-Polesky region; Moscow; N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences.

*Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами*

Несмотря на то, что рододендроны как культура для озеленения в странах Западной Европы известны давно, в практике зеленого строительства в Республике Беларусь, к сожалению, они применяются сравнительно недавно и редко. Это связано не только с недостаточной изученностью их эколого-биологических особенностей, сказывается также и отсутствие питомников, выращивающих посадочный материал, а также недостаток литературы по культуре этого растения [1].

Виды рода *Rhododendron* L. известны как лекарственные, эфирномасличные, дубильные, а в культуре – как ценнейшие декоративные растения. В литературе отмечается, что в декоративном садоводстве из семейства вересковых широко применяется 41 род, включающий 500 видов, половину из которых (около 250) составляют рододендроны. Однако далеко не все известные виды рододендронов используются в озеленении.

В коллекциях ботанических садов мира насчитывается только 500–600 видов рододендронов. Поэтому ботаники, специалисты в области интродукции растений, садоводы должны сделать все, чтобы поразительная красота многих до сих пор мало известных видов стала достоянием как можно большего числа людей [2].

Для успешного выращивания диких видов необходимо знать их географическое распространение и требования к экологическим условиям. Известно несколько ареалов распространения дикорастущих рододендронов: Гималаи, Западный и Центральный Китай, прибрежные районы Китая, Северо-Восточная Азия, Япония, Малайский архипелаг, Европа, Северная Америка. Наибольшее количество видов рододендронов (свыше 700) сосредоточено в Китае [3].

Одним из признанных и доступных методов анализа приспособительных особенностей растений к различным экологическим условиям является изучение анатомии листа [4; 5]. В полной мере это относится и к неаборигенным видам для выявления их адаптационных способностей в новых условиях произрастания. При переносе растений в новые климатические условия адаптационный потенциал вида реализуется через анатомо-морфологические и физиолого-биохимические перестройки, затрагивающие в первую очередь лист. Лист является наиболее структурно пластичным и функционально насыщенным, поскольку в нем осуществляются жизненно важные процессы (фотосинтез, транспирация и газообмен). При переносе растений в новые условия все изменения в структуре листа, несомненно, направлены на поддержание его функций на максимально возможном для конкретных условий уровне [6].

Лист полифункционален, что обусловило такую его структуру, которая наряду с общими закономерностями развития и строения характеризуется многочисленными и очень ценными в диагностическом отношении особенностями. Еще Solereder (1908) и Engler (1889) использовали структурные особенности листа для целей систематики растений [7]. Лист является органом, который способен изменяться и приспосабливаться к условиям окружающей среды [8]. Значение листа как бокового органа чрезвычайно велико [9]. При формировании адаптивных признаков структуры листа существенным и наиболее важ-

ным в этом плане различием, обнаруженным у изучаемых видов рододендронов, выступают объем и соотношение тканей мезофилла листа. Величина отношения *написанный/губчатый мезофилл* является ключевым параметром, интегральным функциональным ответом у растений на водный стресс и интенсивность света [10; 11].

*Анализ исследований по изучаемой проблеме*

Анатомическая структура представителей семейства вересковых (Ericaceae Juss. (DC.)) изучалась ранее в связи с эколого-морфологическим своеобразием, а также с их полезными свойствами [12].

Ранее нами были проведены исследования сравнительно-анатомической структуры листа *R. catawbiense* Michx. и *R. brachycarpum* D. Don, произрастающих у условий Бугско-Полесского региона и ЦБС НАН Республики Беларусь, а также дана подробная эколого-географическая характеристика условий естественного произрастания и районов интродукции [13–17]. Исследования в сравнении климатических факторов показали, что значения основных показателей климатических условий в естественных ареалах значительно превышают таковые в условиях г. Бреста и его окрестностей, что позволяет выращивать значительное количество видов рода *Rhododendron* L. (*R. davidsonianum* Rehd. et Wils., *R. japonicum* (A. Gray) Suring., *R. catawbiense* Michx., *R. smirnowii* Trautv., *R. hybridum* hort.) в открытом грунте Юго-Запада Беларуси. Представители данного рода в исследуемых условиях ведут себя как типичные длиннодневные растения, т.к. световой день в условиях г. Бреста длиннее по отношению к естественным условиям обитания. Это обстоятельство отражается на более ранних сроках цветения рододендронов, что и подчеркивает их особую декоративность [13]. А исследования морфо-анатомической структуры листа данных видов *показало*, что лист в анатомическом строении имеет ряд отличительных особенностей [15–17].

Таким образом, в нашей работе *впервые* проведен детальный анатомический анализ структуры листа представителей двух видов рода *Rhododendron* L. первого и второго годов жизни, произрастающих в условиях Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина Российской академии наук (ГБС РАН), и проведена эколого-географическая характеристика районов естественного произрастания и районов интродукции. В совокупности полученные данные позволят провести более детальный анализ анатомического строения листа исследуемых видов, выделить специфические диагностические признаки, а главное, позволят выделить виды и условия, наиболее оптимальные для дальнейшего роста и развития представителей рода *Rhododendron* L. и их использования в озеленении городов и поселков на территории Бугско-Полесского региона.

*Цель и задачи исследования*

*Цель* наших исследований: изучение особенностей морфо-анатомической структуры листа двух видов рода *Rhododendron* L.: *Rhododendron catawbiense* Michx. и *Rhododendron brachycarpum* D. Don, произрастающих в условиях ГБС РАН (г. Москва).

*Задачи*: изучить эколого-географическую характеристику районов естественного произрастания и района интродукции *R. catawbiense* Michx. и *R. brachycarpum* D. Don; провести сравнительный анализ

эколого-географических характеристик районов происхождения и района интродукции исследуемых видов; провести детальный анализ и описание анатомической структуры листа *R. catawbiense* Michx. и *R. brachycarpum* D. Don и выявить диагностические признаки, касающиеся изменений в его структуре при интродукции видов.

#### Объект и методика исследований

Объектами исследования явились представители рода *Rhododendron* L.: *R. catawbiense* Michx. и *R. brachycarpum* D. Don, произрастающие в условиях Главного ботанического сада имени Н.В. Цицина РАН.

Для исследования образцы отбирали, как минимум, с 3-х особей каждого вида, производили отбор с одновозрастных особей, в сходных условиях обитания, с одной высоты над уровнем почвы, с южной стороны. Листья этикетировали и помещали в фиксатор – 96% спирт, спустя 10–15 дней добавляли от 1/3 до 1/2 по объему глицерин и в этой смеси материал хранили. Поперечные срезы готовили на санном микротоме с замораживающим столиком. В соответствии с общепринятой методикой перед изготовлением срезов материал помещали на 30 мин. в водную среду. Затем срезы окрашивали регрессивным способом, помещая в спиртовые растворы сафранина и нильского синего. После окраски срезы подвергали дегидратации в спирте разной концентрации (50%, 75%, 90% и абсолютный спирт). На следующем этапе срезы обрабатывали карбоксилломом и ксилломом, после чего помещали в канадский бальзам.

Для изучения эпидермального комплекса листа эпидерму снимали при помощи лезвия безопасной бритвы, а также использовали метод отпечатков эпидермы по Дж.Н. и Н.А. Анели.

Анатомические исследования проводились по общепринятой методике с собственными модифика-

циями на фиксированном и свежем материале с использованием световых микроскопов Р-15, С-11, Микмед-5 в проходящем свете. Устанавливали общую картину структуры, гистологический состав, топографию (расположение) тканей на разных срезах, их параметры, соотношение и наличие идиобластов и других включений. Замеры производили с помощью винтового окуляр-микрометра МОВ 1–15. Размеры элементов приводили в пределах «от» и «до» (например, диаметр сосудов варьирует в пределах 100–150 мкм). Определения выполнены в трехкратной биологической повторности с анализом и обработкой в каждом случае не менее 25 полей зрения. Результаты подвергали статистической обработке по программе StatSoft STATISTICA 6.0. Уровень значимости 5% ( $W = 5$ ), доверительный уровень равен 95%. При этом, помимо вычисления средней арифметической, ошибки средней величины, среднего квадратичного отклонения, коэффициента вариации, учитывали достоверность средней величины, показатель точности [18].

#### Результаты исследования и их обсуждение

При сравнении эколого-географических характеристик районов происхождения и района интродукции двух видов было отмечено, что у *R. catawbiense* Michx. по многим показателям имеются довольно существенные расхождения почти в два раза (табл. 1, показатели 1, 5 и 12). Однако по основным показателям районы схожи (показатели 2–4, 6–11), что позволяет культивировать представителей этого вида в условиях ГБС РАН. ГБС (табл. 1). При этом мы наблюдаем способности вида проявлять возможности психрофитизации в зависимости от условий произрастания.

**Таблица 1** – Эколого-географическая характеристика районов естественного произрастания *R. catawbiense* Michx. (восточная часть Северной Америки), *R. brachycarpum* D. Don (Дальний Восток РФ, Республика Корея, Япония) и района интродукции г. Москва, Северо-восточный административный округ

№ п/п	Климатический фактор	Сев. Америка	Дальний Восток	Республика Корея	Япония	Москва (СВАО) (55°45' с.ш.; 37°36' в.д.)
1	Суммарная солнечная радиация, ккал/см <sup>2</sup> в год	80–180	30–50	40–60	50–70	90
2	Температура самого теплого месяца (июль), °С	+20	+20,6	+24,9	+28	+18...+19
3	Температура воздуха самого холодного месяца (январь), °С	–8 (–10)	–23	–2,5	–9	–6,4 (–9,5)
4	Годовая амплитуда температуры воздуха, °С	24	28–42	28–32	20–24	24,9
5	Суммы температур воздуха за период с температурой выше +10°С, °С	3000–3200	1200–1400	1700–1800	1600–1800	1900
6	Длительность периода с температурой выше +10°С, дни	180	80–100	90–115	95–120	145
7	Даты начала и конца безморозного периода	01.05–13.10	15.08–15.09	15.09–15.10	15.10–15.11	13.05–20.09
8	Длительность безморозного периода на воздухе, дни	180	190	260	270	140
9	Длительность безморозного периода на почве, дни	160	187	248	250	135
10	Количество осадков в год, мм	900–950	500–800	1000–2000	600–2000	600–700
11	Количество дней с осадками, дни	140–160	45–60	156–160	170–180	183
12	Число дней со снежным покровом, дни	60–80	20–28	80–86	90–95	134

Примечание. Показатели приведены из [13–17; 19–21].

Как можно отметить, для *R. brachycarpum* D. Don по многим показателям имеются довольно существенные расхождения, почти в два раза (показатели 2, 7–10, 12). Но по основным показателям, влияющим на рост и развитие растений, районы схожи (показатели 1, 3–6, 11), что позволяет выращивать этот вид рододендронов в условиях ГЭС РАН. При сравнении эколого-географических характеристик районов происхождения (Республика Корея, Дальний Восток РФ) видим, что климатические условия схожи лишь по нескольким показателям с районом интродукции (показатели 5, 6, 11 – с Республикой Кореей; 2, 10 – с Дальним Востоком РФ). А по основным показателям имеются довольно существенные расхождения почти в два раза (показатели 1–10, 12 – с Республикой Кореей; 1, 3–9, 11–12 – с Дальним Востоком РФ). Но несмотря на это, вид прекрасно чувствует себя в условиях района интродукции (табл. 1).

Для единого подхода при проведении исследования был составлен кодекс диагностических признаков анатомического строения листа (на поперечных срезах), по которым описывались виды [13].

Так, исследование морфо-анатомической структуры листа *R. catawbiense* Michx. и *R. brachycarpum* D. Don показало, что лист исследованных видов имеет дорзивентральное строение. Надо отметить, что в проводящем пучке в виде кольца флоэма всегда располагается с морфологически нижней стороны листа, а ксилема с морфологически верхней.

Исследованию были подвергнуты следующие элементы листа и их параметры: *эпидермальный комплекс* – количество слоев основных клеток верхнего и нижнего эпидермиса, тангентальные и радиальные размеры основных клеток, наличие кутикулы, наличие трихом, желез, волокон склеренхимы; *устыичный аппарат* – тип, число устьиц и их расположение; *мезофилл листа* – размер клеток столбчатого и губчатого мезофилла, коэффициент палисадности мезофилла, наличие идиобластов; *проводящая система листа* – количество и тип проводящего пучка, тангентальный и радиальные размеры и *механические ткани*.

На поперечном срезе лист *R. catawbiense* Michx. имеет следующую топографию тканей: на верхней и нижней сторонах листа располагается эпидерма. Верхняя эпидерма покрыта слоем кутикулы, ко внутри от верхней эпидермы находится столбчатая и губчатая паренхима. Проводящая система листа представлена проводящими, паренхимными и механическими элементами. В центре пучка располагается паренхима. При анализе внутренней структуры листа были выявлены следующие анатомические особенности.

Вид *R. catawbiense* Michx. – лист первого года: *верхний эпидермис* однослойный. Основные клетки верхнего эпидермиса овально-прямоугольной формы. Стенки основных клеток утолщены равномерно, толщина их внешних стенок  $2,52 \pm 0,1$  мкм. Тангентальный размер основных клеток  $11,04 \pm 0,165$  мкм. Радиальный размер  $6,12 \pm 0,163$  мкм. Присутствует кутикула. Ее радиальный размер составляет  $7,04 \pm 0,165$  мкм. Трихомы отсутствуют (рис. 1).

Под слоем верхней эпидермы располагаются 2 слоя гиподермы. Радиальный размер ее клеток –  $17,6 \pm 0,349$  мкм, а тангентальный –  $32,6 \pm 0,349$  мкм.

*Нижний эпидермис* однослойный. Клетки различной формы, то более вытянутые, то более округлые. Тангентальный размер основных клеток состав-

ляет  $8,96 \pm 0,174$  мкм. Радиальный размер клеток составляет  $8,92 \pm 0,159$  мкм. Кутикула присутствует, ее радиальный размер –  $7,08 \pm 0,16$  мкм.

Под слоем нижней эпидермы располагаются 2 слоя гиподермы. Радиальный размер ее клеток –  $12,56 \pm 0,34$  мкм, а тангентальный –  $22,36 \pm 0,334$  мкм.

*Устыичный аппарат* аномоцитного типа (рис. 2). Устьица расположены хаотично, на уровне эпидермиса, не погруженные.

*Мезофилл* дифференцирован на столбчатый и губчатый. *Столбчатый мезофилл* трех-четырёхслойный. Клетки его вытянутые в радиальном направлении. Тангентальный размер клеток столбчатого мезофилла  $22,44 \pm 0,315$  мкм, а радиальный –  $42,6 \pm 0,349$  мкм (рис. 1).

Клетки *губчатого мезофилла* округлой формы. Тангентальный размер клеток  $33,04 \pm 0,317$  мкм, а радиальный –  $33,2 \pm 0,315$  мкм. В клетках губчатого мезофилла встречаются кристаллы оксалата кальция в виде друз в небольшом количестве.

*Проводящая система листа*. Центральный проводящий пучок концентрического типа. Тангентальный размер проводящего пучка составляет  $677,4 \pm 3,251$  мкм, а радиальный –  $576,2 \pm 3,05$  мкм (рис. 1).

Склеренхима располагается в виде обкладки проводящего пучка в 3–4 слоя. Радиальный размер склеренхимных волокон  $17,6 \pm 0,349$  мкм.

Лист второго года: *верхний эпидермис* однослойный. Основные клетки верхнего эпидермиса овально-прямоугольной формы. Стенки основных клеток утолщены равномерно, толщина которых  $2,6 \pm 0,98$  мкм и остается неизменной у листа и первого, и второго года. Тангентальный размер основных клеток  $22,48 \pm 0,349$  мкм, а радиальный –  $9,16 \pm 0,157$  мкм. Как тангентальный, так и радиальный размеры основных клеток эпидермы у листа второго года возрастают по сравнению с листом первого года практически в два раза (рис. 3).

Эпидермис покрыт слоем кутикулы, радиальный размер которой  $3,52 \pm 0,1$  мкм. Однако радиальный размер кутикулярного слоя в листе второго года меньше в два раза в сравнении с листом первого года.

Под слоем верхней эпидермы располагается 1 слой гиподермы. Радиальный размер ее клеток –  $27,6 \pm 0,349$  мкм, а тангентальный –  $32,8 \pm 0,344$  мкм. В листе второго года количество склеренхимных волокон под эпидермой уменьшилось до одного, хотя при этом радиальные размеры клеток, слагающих их, увеличились вдвое по сравнению с листом первого года. Поэтому общая толщина слоя не уменьшилась.

*Нижний эпидермис* однослойный. Клетки округлой формы. Тангентальный размер основных клеток составляет  $9,08 \pm 0,169$  мкм, а радиальный –  $9,04 \pm 0,174$  мкм. Стенки основных клеток утолщены равномерно, толщина внешних стенок нижней эпидермы увеличилась практически в два раза в сравнении с листом первого года.

Эпидермис покрыт слоем кутикулы, радиальный размер которой  $2,64 \pm 0,096$  мкм. Размеры кутикулы нижней эпидермы уменьшились в два раза в листе второго года по сравнению с листом первого года.

Под слоем нижней эпидермы располагаются 2 слоя гиподермы. Радиальный размер ее клеток –  $15,52 \pm 0,658$  мкм, а тангентальный –  $12,76 \pm 0,336$  мкм. Тангентальные размеры клеток склеренхимных волокон по сравнению с листом первого года уменьшились почти в два раза.

*Устьичный аппарат*, как и в нижней эпидерме листа первого года, аномоцитного типа (рис. 4). Устьица расположены хаотично, на уровне эпидермиса, не погруженные.

*Мезофилл* дифференцирован на столбчатый и губчатый. *Столбчатый* мезофилл трехслойный (радиальный размер слоя  $175,88 \pm 0,544$  мкм), клетки его вытянутой формы. Тангентальный размер клеток столбчатого мезофилла  $22,64 \pm 0,314$  мкм, а радиальный –  $57,6 \pm 0,349$  мкм.

Клетки *губчатого* мезофилла округлой формы. Тангентальный размер клеток составляет  $33,32 \pm 0,287$  мкм, а радиальный –  $33,56 \pm 0,26$  мкм. В клетках губчатого мезофилла встречаются друзы оксалата кальция.

Центральный *проводящий пучок* концентрического типа. Тангентальный размер составляет  $679,2 \pm 3,12$  мкм, а радиальный –  $579,2 \pm 2,708$  мкм.

Склеренхима располагается в виде обкладки проводящего пучка в 3–4 слоя. Радиальный размер склеренхимных волокон  $26,7 \pm 0,349$  мкм.

Вид *R. brachycarpum* D. Don – лист первого года: *Верхний эпидермис* однослойный. Форма поперечного сечения основных клеток верхнего эпидермиса прямоугольная. Тангентальный размер основных клеток  $17,4 \pm 0,349$  мкм, радиальный –  $12,4 \pm 0,349$  мкм. Наружные оболочки основных клеток утолщены, их толщина  $2,5 \pm 0,99$  мкм (рис. 5).

Присутствует кутикула. Ее радиальный размер составляет  $3,48 \pm 0,1$  мкм. Трихомы представлены простыми одноклеточными волосками.

Под слоем верхней эпидермы располагается 2 слоя гиподермы. Радиальный размер ее клеток –  $13,08 \pm 0,309$  мкм, а тангентальный –  $12,8 \pm 0,336$  мкм.

*Нижний эпидермис*. Форма поперечного сечения основных клеток вытянуто-овальная. Тангентальный размер основных клеток  $17,8 \pm 0,301$  мкм, радиальный –  $12,88 \pm 0,331$  мкм. Стенки основных клеток утолщены равномерно. Толщина внешних стенок основных клеток  $2,4 \pm 0,1$  мкм. Присутствует кутикула. Ее радиальный размер составляет  $2,52 \pm 0,1$  мкм. Трихомы представлены как простыми короткими железистыми одноклеточными волосками, так и простыми одноклеточными волосками.

Под слоем нижней эпидермы располагаются 2 слоя гиподермы. Радиальный размер ее клеток –  $17,8 \pm 0,316$  мкм, а тангентальный –  $22,2 \pm 0,344$  мкм.

*Устьичный аппарат* пентасектного типа с хорошо видимой устьичной щелью. Вокруг устьиц расположены пять побочных прилегающих клеток. Основные эпидермальные клетки кривостеночные (по Н.А. Анели). Устьица средних размеров с бобовидными замыкающими клетками. Расположены хаотично, на уровне клеток эпидермы. Замыкающие клетки устьиц окружены клетками, отличающимися от основных эпидермальных клеток (рис. 6).

*Мезофилл* дифференцирован на столбчатый и губчатый. Клетки *столбчатого* мезофилла располагаются в 2–3 слоя. Форма клеток вытянутая. Размер клеток столбчатого мезофилла в тангентальном срезе  $17,5 \pm 0,321$  мкм, в радиальном –  $31,76 \pm 0,206$  мкм.

Форма клеток *губчатого* мезофилла округлая, тангентальный размер клеток  $47,56 \pm 0,32$  мкм, радиальный –  $47,68 \pm 0,352$  мкм. Идиообласты (в виде друз оксалата кальция) имеются в небольшом количестве.

*Проводящая система*. Центральный проводящий пучок один – концентрического типа в форме полу-

круга. Тангентальный размер проводящего пучка  $815,88 \pm 1,047$  мкм, радиальный –  $725,4 \pm 3,309$  мкм (рис. 5).

*Лист второго года: верхний эпидермис* – форма поперечного сечения основных клеток прямоугольная. Тангентальный размер основных клеток  $17,6 \pm 0,33$  мкм, радиальный –  $12,6 \pm 0,349$  мкм. Наружные оболочки основных клеток имеют утолщение. Толщина внешних стенок основных клеток  $2,6 \pm 0,1$  мкм. Тангентальные размеры эпидермальных клеток и толщина их внешних стенок остаются неизменными как у листа первого года, так и у листа второго года (рис. 7).

Присутствует кутикула. Ее радиальный размер составляет  $3,56 \pm 0,993$  мкм, он остается неизменным в сравнении с листом первого года. Трихомы, как и в листе первого года.

Под слоем верхней эпидермы располагается 2 слоя гиподермы (склеренхима неизменна у листов первого и второго года). Радиальный размер ее клеток –  $13,24 \pm 0,306$  мкм, а тангентальный –  $12,9 \pm 0,339$  мкм. Толщина внешних стенок гиподермальных клеток –  $2,48 \pm 0,1$  мкм.

*Нижний эпидермис*. Форма поперечного сечения основных клеток вытянуто-овальная. Тангентальный размер основных клеток  $18 \pm 0,307$  мкм, радиальный –  $13,04 \pm 0,322$  мкм. Стенки основных клеток утолщены равномерно. Толщина внешних стенок основных клеток  $2,56 \pm 0,1$  мкм.

Присутствует кутикула. Ее радиальный размер составляет  $2,6 \pm 0,98$  мкм. Трихомы, как и в листе первого года.

Под слоем нижней эпидермы располагается гиподерма (склеренхима неизменна у листов первого и второго года). Радиальный размер ее клеток –  $17,8 \pm 0,298$  мкм, а тангентальный –  $23,2 \pm 0,281$  мкм.

*Устьичный аппарат* пентасектного типа, с хорошо видимой устьичной щелью. Вокруг устьиц расположены пять прилегающих клеток. Устьица крупнее и их больше по сравнению с листом первого года. Их количество на  $1 \text{ мм}^2$  достигает 45–50. Основные эпидермальные клетки кривостеночные (по Н.А. Анели). Устьица расположены неравномерно, хаотично. Замыкающие клетки устьиц окружены клетками, отличающимися от клеток эпидермы (рис. 8).

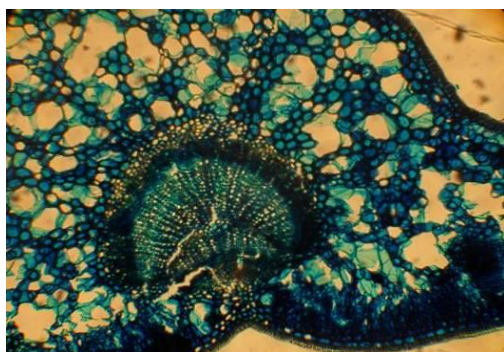
*Мезофилл* дифференцирован на столбчатый и губчатый. Клетки *столбчатого* мезофилла располагаются в 2–3 слоя. Форма клеток столбчатого мезофилла овальная. Тангентальный размер клеток столбчатого мезофилла  $17,7 \pm 0,318$  мкм, радиальный –  $32 \pm 0,188$  мкм.

Клетки *губчатого* мезофилла округлой формы. Тангентальный размер их клеток  $47,76 \pm 0,311$  мкм, радиальный –  $47,88 \pm 0,346$  мкм. Идиообласты (в виде друз оксалата кальция) располагаются одиночно.

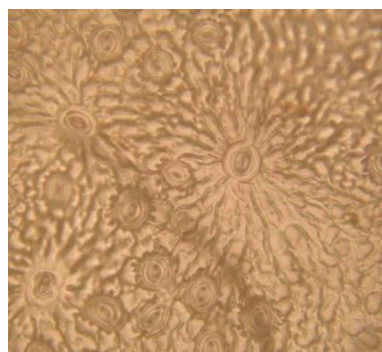
*Проводящая система*. Центральный проводящий пучок один – концентрического типа в виде полукруга (рис. 7). Его тангентальный его размер  $590 \pm 1,414$  мкм, а радиальный –  $421,4 \pm 3,131$  мкм. В листе второго года все размеры пучка (тангентальный, радиальный) по сравнению с листом первого года уменьшились в 2 раза, и, как показывают исследования, это произошло за счет изменения количества слоев силенемы.

Склеренхима располагается в виде обкладки проводящего пучка в 7 слоев. Радиальный размер склеренхимных волокон  $12,4 \pm 0,349$  мкм.

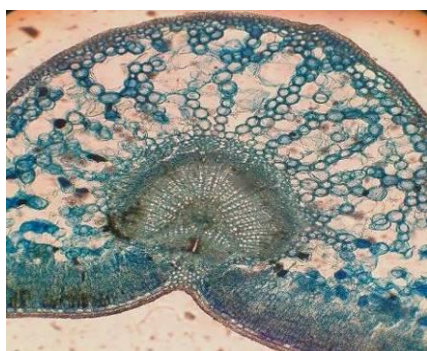




**Рисунок 1** – Топография тканей листа *R. catawbiense* Michx. (лист первого года)



**Рисунок 2** – Слепок нижней стороны листа *R. catawbiense* Michx. (лист первого года)



**Рисунок 3** – Топография тканей листа *R. catawbiense* Michx. (лист второго года)



**Рисунок 4** – Слепок нижней стороны листа *R. catawbiense* Michx. (лист второго года)



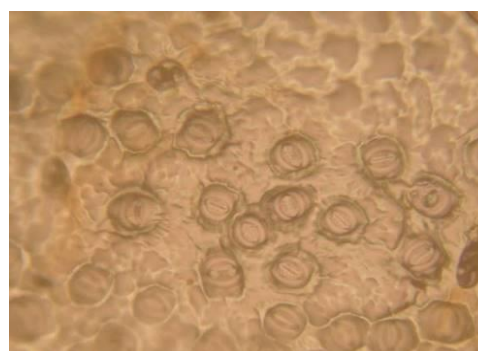
**Рисунок 5** – Топография тканей листа *R. brachycarpum* D. Don (лист первого года)



**Рисунок 6** – Слепок нижней стороны листа *R. brachycarpum* D. Don (лист первого года)



**Рисунок 7** – Верхний эпидермис листовой пластинки *R. brachycarpum* D. Don (лист второго года)



**Рисунок 8** – Слепок нижней стороны листа *R. brachycarpum* D. Don (лист второго года)

### Выводы

1. Сравнительный анализ климатических факторов естественных ареалов представителей рода *Rhododendron* L.: *Rhododendron catawbiense* Michx. (Северная Америка) и *Rhododendron brachycarpum* D. Don (Дальний Восток, Республика Корея, Япония) показал, что наиболее важными для роста и развития растений являются такие показатели, как суммарная солнечная радиация, длительность безморозного и вегетационного периодов, сумма температур воздуха выше +10°C и среднегодовое количество осадков.

2. Климатические условия города Москвы по ряду важнейших характеристик (температура воздуха самого теплого (июль) и самого холодного месяца (январь), годовая амплитуда температуры воздуха, длительность периода с температурой выше +10°C, годовое количество осадков, количество дней с осадками) схожи с климатическими условиями регионов естественного произрастания изученных нами представителей рода *Rhododendron* L. В то же время некоторые показатели (суммарная солнечная радиация, сумма температур воздуха за период с температурой выше +10°C, число дней со снежным покровом) существенно различны.

3. Исследования морфо-анатомической структуры листа *R. catawbiense* и *R. brachycarpum* позволили выявить следующие диагностические признаки адаптационного потенциала видов:

3.1. У обоих видов верхний эпидермис однослойный у листа как первого года, так и второго года. Форма основных клеток – овално-прямоугольная у *R. catawbiense*, прямоугольная у *R. brachycarpum*. У *R. catawbiense* как тангентальные, так и радиальные размеры основных эпидермальных клеток верхнего эпидермиса у листа второго года практически возрастают в 2 раза по сравнению с листом первого года. У *R. brachycarpum* и тангентальные, и радиальные размеры основных эпидермальных клеток остаются неизменными.

3.2. У обоих видов нижний эпидермис однослойный у листа как первого года, так и второго года. Клетки округлой формы у *R. catawbiense*, вытянуто-овальной формы у *R. brachycarpum*. Как тангентальные, так и радиальные размеры основных эпидермальных клеток нижнего эпидермиса у листа первого года и листа второго года у обоих видов остаются неизменными.

3.3. Устьичный аппарат у *R. catawbiense* аномоцитного типа у листа первого и второго годов. Устьица расположены хаотично, на уровне эпидермиса, не погруженные. Устьичный аппарат у *R. brachycarpum* пентасектного типа с хорошо видимой устьичной щелью. Вокруг устьиц расположены пять побочных прилегающих клеток. Расположены хаотично, на уровне клеток эпидермы.

3.4. Мезофилл у обоих видов дифференцирован на столбчатый и губчатый. Столбчатый мезофилл у обоих видов имеет зернистую структуру. У *R. catawbiense* образован 3–4 слоями, толщина которого  $175,36 \pm 0,627$  мкм (у листа второго года – трехслойный, толщина слоя составляет  $175,88 \pm 0,544$  мкм) вытянутых, плотно прилегающих друг к другу клеток. У *R. brachycarpum* он образован 2–3 слоями (толщина слоя составляет  $94,44 \pm 0,519$  мкм – у листа

первого года,  $95,4 \pm 0,606$  мкм – у листа второго года) вытянутых, плотно прилегающих друг к другу клеток. Клетки губчатого мезофилла, примыкающие к абаксидальной стороне, овальной неправильной формы. В отличие от столбчатого, губчатый расположен рыхло, содержит межклетники. В клетках ассимиляционной ткани располагаются кристаллы оксалата кальция в виде друз и рафид.

3.5. Проводящий пучок листа первого и второго годов обоих видов концентрического типа. У *R. catawbiense* тангентальный и радиальный размеры проводящего пучка у листа первого и второго годов остается неизменным. В листе второго года у *R. brachycarpum* все размеры пучка (тангентальный и радиальный) по сравнению с листом первого года уменьшаются в 2 раза. Как показывают наши данные, это происходит за счет изменения слоев ксилемы.

Полученные нами результаты значительно расширяют объем знаний об анатомическом строении листа представителей рода *Rhododendron* L., что может быть использовано при выявлении приспособительных реакций данных растений в процессе экологического мониторинга и оценке окружающей среды [16; 17; 21].

### Список литературы:

1. Ботяновский И.Е. Рододендроны. Минск: Красико-Принт, 2007. 64 с.
2. Бавтуго Г.А., Еремин В.М. Ботаника. Минск: Вышэйшая школа, 1997. 374 с.
3. Гайшун В.В. Рододендроны. М.: Изд. дом МПС, 2004. 32 с.
4. Анели Н.А. Атлас эпидермы листа. Тбилиси: Мецниереба, 1975. 108 с.
5. Эзау К. Анатомия растений / пер. с англ. А.Е. Васильева; под ред. Л.В. Кудряшова. М.: Мир, 1969. 564 с.
6. Кабушева И.Н. Изменения морфоанатомической структуры листьев у *Rudbeckia hirta* L. при интродукции в Беларусь // Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. 2006. № 4. С. 12–16.
7. Зеркаль С.В. Сравнительная анатомия листа Сосновых (Pinaceae Lindl.): дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05. Брест, 2000. 269 с.
8. Несцяровіч Н.Д., Панамарова А.У. Да анатамічнай характарыстыкі лісця некаторых экзотаў // Весці Акадэміі навук Беларускай ССР. Серыя біялагічных навук. 1960. № 3. С. 5–11.
9. Esau K. Plant anatomy. New York; London, 1965. 565 p.
10. Boeger M.R.T., Alves L.C., Negrelle R.R.B. Leaf morphology of 89 tree species from a lowland tropical rain forest (Atlantic forest) in South Brazil // Brazilian Archives of Biology and Technology. 2004. Vol. 47, № 6. P. 933–943.
11. Гетко Н.В., Поболовец Т.А., Титок В.В. Функциональная анатомия листа тропических и субтропических древесных видов в оранжерейной культуре // Доклады НАН Беларуси. 2015. Т. 59, № 4. С. 88–94.
12. Сытник К.М., Мусатенко Л.И., Богданова Т.Л. Физиология листа. Киев: Наук. думка, 1978. 392 с.
13. Бондарь Ю.В., Зеркаль С.В., Гетко Н.В., Володько И.К. Видовые особенности анатомо-морфологической структуры листа *Rhododendron molle* (Bl.) G. Don и *Rhododendron japonicum* (A. Gray) Suring // Ботаника (исследования): сб. науч. тр. Вып. 45. Мн.: Ин-т эксперимент. бот. НАН Беларуси, 2016. С. 255–269.

14. Зеркаль С.В., Бондарь Ю.В. К вопросу об интродукции некоторых видов рода *Rhododendron* L. в условиях Юго-Запада Беларуси // Вучоныя запіскі Брэсцкага дзярж. ун-та. Сер. прыродазнаўчыя навукі. 2009. Вып. 5, ч. 2. С. 46–56.
15. Бондарь Ю.В. Сравнительная эколого-географическая характеристика районов естественного произрастания и районов интродукции *Rhododendron brachycarpum* D. Don ex G. Don f., используемого в озеленении юго-запада Беларуси // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. / под общ. ред. Е.А. Памфилова. Вып. 43. Брянск: БГИТУ, 2015. С. 123–126.
16. Еленевский А.Г., Соловьева М.П., Тихомиров В.Н. Ботаника. Систематика высших, или наземных, растений: учеб. для студ. высш. пед. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2006. С. 346–349.
17. Кондратович Р.Я. Рододендроны в Латвийской ССР: Биологические особенности культуры: монография. Рига: Зинатне, 1981. 332 с.
18. Кожевников Ю.П. Семейство вересковые (Ericaceae) // Жизнь растений. Т. 5, ч. 2. Цветковые растения. М.: Просвещение, 1981. С. 88–95.
19. Александров В.Г. Анатомия растений: учеб. для биол. спец. ун-тов. 4-е изд., испр. и доп. М.: Высш. школа, 1966. 431 с.
20. Бондарь Ю.В. Сравнительный анализ анатомического строения листа видов *Rhododendron catawbiense* Michx. и *Rh. maximum* L., применяемых в зеленом строительстве Бугско-Полесского региона // Современная фитоморфология: мат-лы 1-й междунар. науч. конф. по морфологии растений (24–26 апреля 2012 г., Львов, Украина). Т. 2. Львов, 2012. С. 67–69.
21. Бондарь Ю.В., Зеркаль С.В. Морфо-анатомические аспекты эпидермы листа первого и второго года жизни некоторых зимне-зеленых видов рода *Rhododendron* L. в условиях Бугско-Полесского региона // Самарский научный вестник. 2017. Т. 6, № 1 (18). С. 14–19. DOI: 10.17816/snv201761102.

Информация об авторе(-ах):	Information about the author(-s):
<p><b>Бондарь Юлия Владимировна</b>, старший преподаватель кафедры ботаники и экологии; Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина (г. Брест, Республика Беларусь). E-mail: ulchitay@mail.ru.</p> <p><b>Зеркаль Сергей Владимирович</b>, кандидат биологических наук, доцент (г. Брест, Республика Беларусь). E-mail: ulchitay@mail.ru.</p> <p><b>Гетко Нелли Владимировна</b>, доктор биологических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории оранжерейных растений; Центральный ботанический сад НАН Республики Беларусь (г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: n.hetko@cbg.org.by.</p> <p><b>Рысин Сергей Львович</b>, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией дендрологии; Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН (г. Москва, Российская Федерация). E-mail: ser-rysin@yandex.ru.</p>	<p><b>Bondar Yulia Vladimirovna</b>, senior lecturer of Botany and Ecology Department; Brest State A.S. Pushkin University (Brest, Republic of Belarus). E-mail: ulchitay@mail.ru.</p> <p><b>Zerkal Sergey Vladimirovich</b>, candidate of biological sciences, associate professor (Brest, Republic of Belarus). E-mail: ulchitay@mail.ru.</p> <p><b>Hetko Nelly Vladimirovna</b>, doctor of biological sciences, associate professor, chief researcher of Orangerie Plants Laboratory; Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of the Republic of Belarus (Minsk, Republic of Belarus). E-mail: n.hetko@cbg.org.by.</p> <p><b>Rysin Sergey Lvovich</b>, candidate of biological sciences, head of Dendrology Laboratory; N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation). E-mail: ser-rysin@yandex.ru.</p>

**Для цитирования:**

Бондарь Ю.В., Зеркаль С.В., Гетко Н.В., Рысин С.Л. Сравнительное анатомическое строение листа *Rhododendron catawbiense* Michx. и *Rhododendron brachycarpum* D. Don, произрастающих в условиях Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН // Самарский научный вестник. 2021. Т. 10, № 1. С. 33–40. DOI: 10.17816/snv2021101104.