

<https://doi.org/10.33380/2305-2066-2022-11-1-99-105>
УДК 615.071



Оригинальная статья / Research article

Растровая электронная микроскопия в анализе видов рода *Persicaria* Mill.

А. А. Гудкова¹, А. С. Чистякова¹, Д. А. Синецкая¹, А. И. Сливкин¹, А. С. Болгов¹, М. А. Болгова²

¹ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ВГУ»), 394018, Россия, г. Воронеж, Университетская площадь, д. 1

² Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение средняя общеобразовательная школа № 9 (МБОУ СОШ №9), 394030, Россия, г. Воронеж, ул. Карла Маркса, д. 69

*Контактное лицо: Гудкова Алевтина Алексеевна. E-mail: al.f84@mail.ru

ORCID: А. А. Гудкова – <https://orcid.org/0000-0002-1275-5000>; А. С. Чистякова – <https://orcid.org/0000-0002-8291-9904>; Д. А. Синецкая – <https://orcid.org/0000-0002-5911-9474>; А. И. Сливкин – <https://orcid.org/0000-0002-7811-8354>; А. С. Болгов – <https://orcid.org/0000-0001-5827-5953>; М. А. Болгова – <https://orcid.org/0000-0002-3088-8296>.

Статья поступила: 07.09.2021

Статья принята в печать: 00.01.2022

Статья опубликована: 25.02.2022

Резюме

Введение. Растровая электронная микроскопия это современный и перспективный метод анализа, с помощью которого становится возможным описать идентификационные признаки растений, относящихся к одному роду и имеющих сходные морфологические признаки, а также провести микрорентгенструктурный анализ образца в выделенной области с высокой точностью. Метод используется для изучения морфологии поверхности и экспресс определения состава элементов в различных сферах однако, применение метода растровой электронной микроскопии для анализа растительного сырья в фармации ограничено.

Цель. Целью исследования являлось изучение видов рода *Persicaria* Mill. с помощью метода растровой электронной микроскопии.

Материалы и методы. Для проведения исследования в качестве объектов выступали горец почечуйный (*Persicaria maculosa* S.F. Gray), горец перечный (*Persicaria hydropiper* (L.) Delarbre) и близкие к ним горец войлочный (*Persicaria tomentosa* (Schrank) E.P. Bicknell) и горец малый (*Persicaria minor* (Huds.) Opiz) соответственно, а также двух форм горца земноводного [водной (ВФ) и наземной (НФ)] (*Persicaria amphibia* (L.) Delarbre, *Persicaria amphibia* var. *terrestris* (Leyss.) Munshi & Javeid), заготовленные во время цветения в Воронежской области. Анализ проводили на электронном микроскопе JSM-6510LV (ЦКП ФГБОУ ВО «ВГУ»).

Результаты и обсуждение. Исследованы морфолого – анатомические признаки листовых пластинок шести видов рода горец с помощью растровой электронной микроскопии и выявлены новые диагностические признаки. В результате микрорентгенструктурного анализа в объектах исследования установлено содержание некоторых элементов (калия, кальция и магния).

Заключение. Впервые проведено исследование морфологии поверхности листовых пластин некоторых представителей рода *Persicaria* Mill. методом растровой электронной микроскопии. Проведено уточнение особенностей строения устьичного аппарата, трихом и выделительного аппарата на листьях исследуемых видов горцев. С помощью микрорентгенструктурного анализа установлено, что магний является одним из главных минеральных составляющих для листьев горца малого, калия – для листьев горца почечуйного, а кальция – для листьев горца перечного.

Ключевые слова: *Persicaria* Mill., растровая электронная микроскопия, морфология поверхности листа, идентификация, микрорентгенструктурный анализ

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. А. А. Гудкова и А. И. Сливкин отвечали за организационную часть исследования, осуществляли планирование эксперимента, постановку целей и задач исследования, участвовали в обсуждении полученных результатов. Д. А. Синецкая оказывала помощь и консультации при работе на растровом электронном микроскопе, осуществляла пробоподготовку объектов. А. С. Чистякова и А. С. Болгов участвовали в заготовке объектов исследования, их идентификации, приведении в стандартное состояние и подготовке к исследованию. М. А. Болгова выполнила проверку и корректировку конечной версии рукописи и перевод. Все авторы участвовали в обсуждении полученных результатов в формате научной дискуссии.

Для цитирования: Гудкова А. А., Чистякова А. С., Синецкая Д. А., Сливкин А. И., Болгов А. С., Болгова М. А. Растровая электронная микроскопия в анализе видов рода *Persicaria* Mill. *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2022;11(1):99–105. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2022-11-1-99-105>

Scanning Electron Microscopy in the Analysis of Species of the Genus *Persicaria* Mill.

Alevtina A. Gudkova^{1*}, Anna S. Chistyakova¹, Daria A. Sinetskaya¹, Alexey I. Slivkin¹, Alexey S. Bolgov¹, Marina A. Bolgova²

¹ Voronezh State University, 1, Universitetskaja Square, Voronezh, 394018, Russia

² Municipal budgetary general education institution secondary general school No. 9, 69, Karla Marksa str., Voronezh, 394030, Russia

*Corresponding author: Alevtina A. Gudkova. E-mail: al.f84@mail.ru

ORCID: Alevtina A. Gudkova – <https://orcid.org/0000-0002-1275-5000>; Anna S. Chistyakova – <https://orcid.org/0000-0002-8291-9904>;

Daria A. Sinetskaya – <https://orcid.org/0000-0002-5911-9474>; Alexey I. Slivkin – <https://orcid.org/0000-0002-7811-8354>; Alexey S. Bolgov – <https://orcid.org/0000-0001-5827-5953>;

Marina A. Bolgova – <https://orcid.org/0000-0002-3088-8296>.

Received: 07.09.2021

Revised: 00.01.2022

Published: 25.02.2022

© Гудкова А. А., Чистякова А. С., Синецкая Д. А., Сливкин А. И., Болгов А. С., Болгова М. А., 2022

© Gudkova A. A., Chistyakova A. S., Sinetskaya D. A., Slivkin A. I., Bolgov A. S., Bolgova M. A., 2022

Abstract

Introduction. Scanning electron microscopy acts as a promising method of analysis, allowing to describe in detail the identification features of closely related plant species, as well as to conduct micro-roentgenstructural analysis of the sample in the selected area with high accuracy. The method is used to study the morphology of the surface and express determination of the composition of elements in various fields (physics, materials science, medicine, however, the use of the method of scanning/raster electron microscopy for the analysis of plant raw materials in pharmacy is limited).

Aim. The purpose of the study was to study species of the genus *Persicaria* Mill. using scanning electron microscopy.

Materials and methods. The objects of study were the *Persicaria maculosa* S.F. Gray, *Persicaria hydropiper* (L.) Delarbre, *Persicaria tomentosa* (Schränk) E.P. Bicknell, *Persicaria minor* (Huds.) Opiz, *Persicaria amphibia* (L.) Delarbre, *Persicaria amphibia* var. *terrestris* (Leyss.) Munshi & Javeid, harvested during flowering in the Voronezh region. The study of samples by scanning electron microscopy was carried out on an electron microscope JSM-6510LV (Center for Collective Use of Voronezh State University).

Results and discussion. With the help of scanning electron microscopy, morphological and anatomical signs of leaf plates of six species of the genus *Persicaria* were investigated and new diagnostic signs were identified. As a result of micro-X-RAY analysis, the content of some elements (potassium, calcium and magnesium) was established in the objects of study.

Conclusion. For the first time to analyze the surface morphology of the leaf plate of species of the genus *Persicaria* Mill. the method of scanning electron microscopy is used. The features of the stomatal apparatus, trichomes and glands on the leaves of the studied species of *Persicaria* are clarified. With the help of micro-roentgenstructural analysis it was found, that a greater amount of magnesium is typical for the leaves of *Persicaria minor*, calcium – for the leaves of *Persicaria hydropiper*, and potassium – for the leaves of *Persicaria maculosa*.

Keywords: *Persicaria* Mill., scanning electron microscopy, leaf surface morphology, identification, micro-roentgenstructural analysis

Conflict of interest. The authors declare that they have no obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Contribution of the authors. Alevtina A. Gudkova and Alexey I. Slivkin were responsible for the organizational part of the study, carried out planning, setting goals and objectives of the study, participated in the discussion of the results obtained. Daria A. Sinetskaya provided assistance and advice when working on a scanning electron microscope, carried out sample preparation of objects. Anna S. Chistyakova, Alexey S. Bolgov participated in the collecting of research objects, their identification and preparation for research. Marina A. Bolgova checked and corrected the final version of the content and translated it. All authors participated in the discussion of the results obtained in the format of a scientific discussion.

For citation: Gudkova A. A., Chistyakova A. S., Sinetskaya D. A., Slivkin A. I., Bolgov A. S., Bolgova M. A. Scanning electron microscopy in the analysis of species of the genus *Persicaria* Mill. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv = Drug development & registration*. 2022;11(1):99–105. (In Russ.) <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2022-11-1-99-105>

ВВЕДЕНИЕ

Одним из перспективных направлений современной фармакогностической науки является изучение применимости различных методов анализа из смежных областей. К подобным методам относится растровая электронная микроскопия (РЭМ), используемая, чаще всего, в физике, металлургии для исследования микроструктуры поверхности образца. Преимуществами РЭМ перед оптической микроскопией является повышение четкости изображения, глубины резкости, отсутствие пробоподготовки, негативно влияющей на микродиагностические структуры, а также возможность проведения микрорентгенструктурного анализа [1, 2]. Метод РЭМ все чаще находит применение в медицине и фармации, информация по использованию РЭМ к анализу растительного сырья на настоящий момент ограничена [3–18]. Использование подобных высокоточных и прогрессивных методов микроскопического анализа особенно актуально для изучения близкородственных видов растений, характеризующихся сходными морфологическими и анатомическими признаками, так как становится возможным установить дополнительные анатомические особенности или уточнить уже известные признаки. К роду растений, для видов которого важно выявление дополнительных морфолого-анатомических особен-

ностей, относится род горец *Persicaria* Mill., семейства гречишные *Polygonaceae* Juss., включающий более 300 видов, многие из них, зачастую имеют сходные идентификационные характеристики, произрастают в одних экологических сообществах, образуя смешанные заросли [19, 20]. В Государственную Фармакопею РФ XIV включены два вида рода горец, заготавливаемой частью которых является трава, горец почечуйный и горец перечный [21], обладающие кровоостанавливающей активностью, в народной медицине используются и другие виды (горец щавелелистный, горец малый, горец земноводный и др.), которые на сегодняшний день считаются не допустимыми к заготовке, оказывающие противомикробную, фунгицидную активность [22–25].

Целью исследования являлось изучение видов рода *Persicaria* Mill. с помощью растровой электронной микроскопии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Шесть видов рода горец (*Persicaria* Mill.) выступали в качестве объектов исследования: горец почечуйный (*Persicaria maculosa* S.F. Gray), и горец перечный (*Persicaria hydropiper* (L.) Delarbre) и близкие к ним горец войлочный (*Persicaria tomentosa* (Schränk) E.P. Bicknell) и горец малый (*Persicaria minor* (Huds.)

Opiz) соответственно, а также двух формах горца земноводного [водной (ВФ) и наземной (НФ)] (*Persicaria amphibia* (L.) Delarbre, *Persicaria amphibia* var. *terrestris* (Leyss.) Munshi & Javeid.)).

Растительное сырье было заготовлено от дикорастущих представителей во время цветения в Воронежской области в 2018 году и подвергнуто воздушно – теневой сушке. Видовая принадлежность устанавливалась с использованием гербариев кафедры ботаники и микологии ФГБОУ ВО «ВГУ».

Исследования растительных объектов методом РЭМ проводили после предварительного напыления тонкой металлической пленки золота на установке магнетронного типа с целью обеспечения проводимости. Изучение образцов (диагностические признаки и микрорентгенструктурный анализ) проводили на электронном микроскопе JSM-6510LV (ЦКП ФГБОУ ВО «ВГУ»).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Были получены микрофотографии, где визуализированы поверхности листовых пластинок и цветков исследуемых объектов в нативном состоянии, со всеми особенностями их рельефа (рисунки 1–13). Анализ строения клеток поверхности листовой пластинки видов рода *Persicaria* Mill. методом РЭМ осложнялся образованием складок в результате высушивания образцов.

В результате изучения морфологии поверхности листовых пластинок листа *Persicaria hydropiper* (L.) Delarbre, *Persicaria minor* (Huds.) Opiz и *Persicaria maculosa* S.F. Gray, было выявлено, что клеточные стенки не утолщены и не кутикулизованы, поверхности листьев остальных объектов имеют выраженные утолщения клеточных стенок и покрыты плотным слоем кутикулы (рисунки 1, 2), что позволяет установить их форму (многоугольная, овальная или слегка вытянутая).

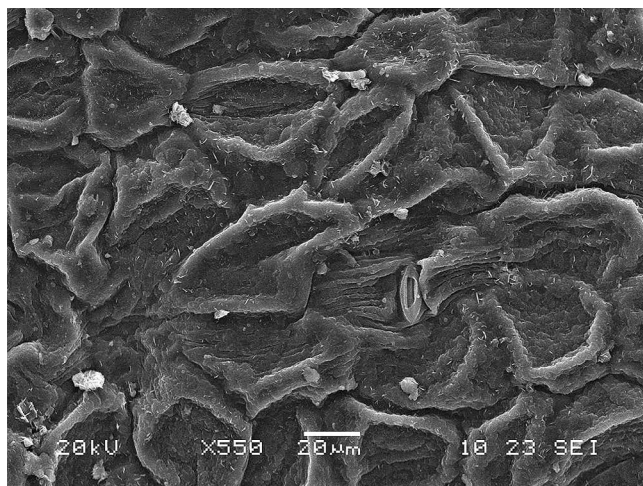


Рисунок 1. Фрагмент листовой пластинки *P. amphibia* var. *terrestris* (Leyss.) Munshi & Javeid: складчатость кутикулы и устьица

Figure 1. Fragment of a leaf blade of *P. amphibia* var. *terrestris* (Leyss.) Munshi & Javeid: folded cuticle and stomata

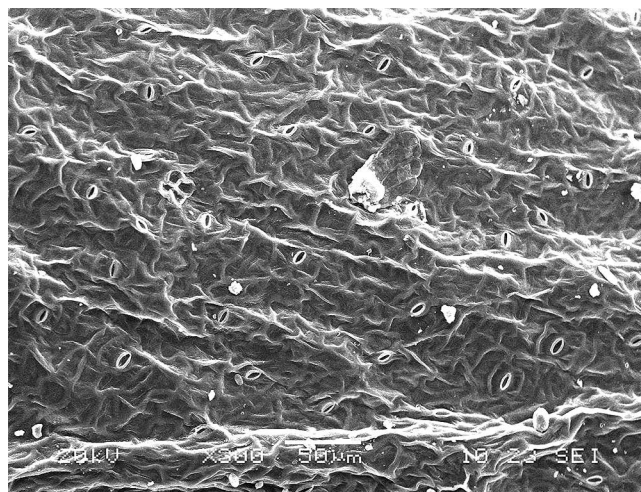


Рисунок 2. Фрагмент листовой пластинки *Persicaria hydropiper* (L.) Delarbre

Figure 2. Fragment of *Persicaria hydropiper* (L.) Delarbre leaf blade

В результате детального изучения остальных диагностических структур (выделительного и устьичного аппарата, трихом), выявлено, что при использовании РЭМ эти структуры отчетливо заметны, и легче визуализируются, чем при использовании оптической микроскопии. В результате подробного изучения «архитектуры» пучковых трихом выявлено, что клетки, их составляющие у всех изучаемых видов растений имеют вытянутые клеточные стенки с утолщениями, клетки в верхней части волоска вытянутее, чем при основании. Около места прикрепления трихом клетки эпидермиса образуют розетку (рисунки 3–6). Установлены различия в строении устьичного аппарата изучаемых растений. *P. maculosa* имеет устьица овальной формы, стенки замыкающих клеток имеют выраженные утолщения, а также выявлено наличие «тяжей», идущих от клеток эпидермиса листовой пластинки к замыкающим клеткам устьиц. Устьич-

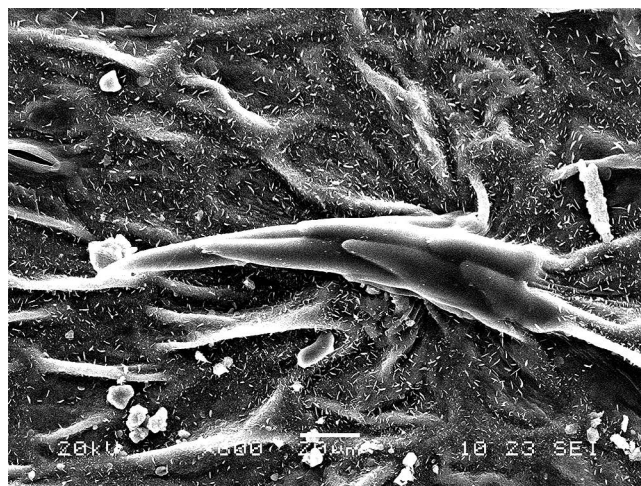


Рисунок 3. Фрагмент листовой пластинки *P. maculosa* с пучковым волоском

Figure 3. Fragment of a leaf blade of *P. maculosa* with a bundle hair

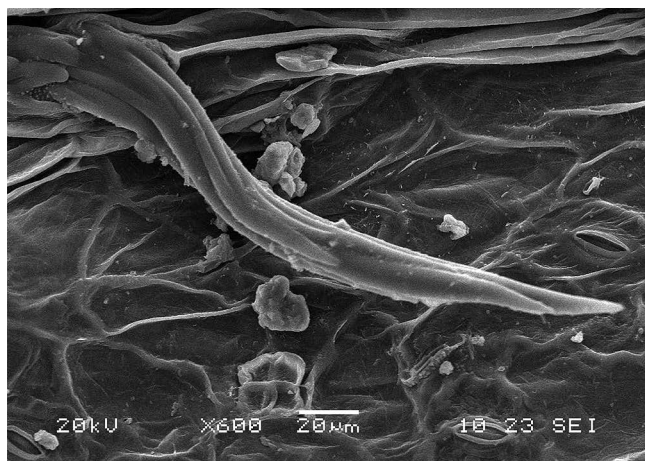


Рисунок 4. Фрагмент листовой пластинки *Persicaria minor* (Huds.) Opiz с пучковым волоском

Figure 4. Fragment of a leaf blade of *Persicaria minor* (Huds.) Opiz with a bundle hair

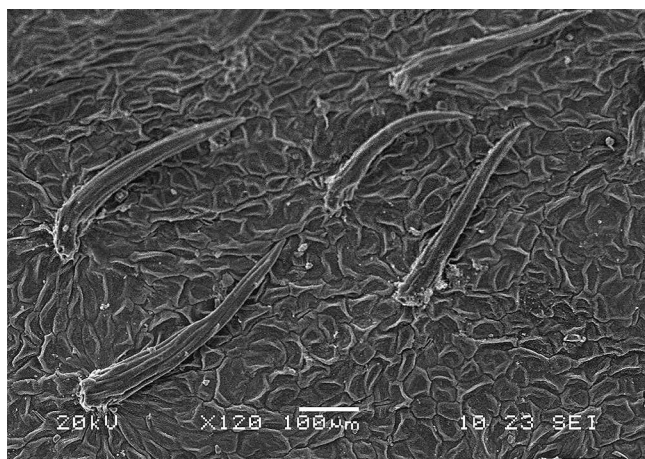


Рисунок 5. Фрагмент листовой пластинки *Persicaria amphibia* var. *terrestris* (Leyss.) Munshi & Javeid с пучковым волоском

Figure 5. Fragment of a leaf blade of *Persicaria amphibia* var. *terrestris* (Leyss.) Munshi & Javeid with a tufted hair

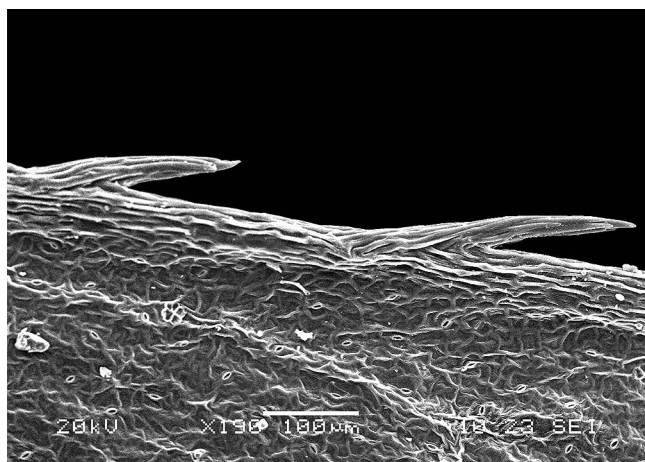


Рисунок 6. Фрагмент листовой пластинки *Persicaria hydropiper* (L.) Delarbre с пучковым волоском

Figure 6. Fragment of *Persicaria hydropiper* (L.) Delarbre leaf blade with tufted hair

ный аппарат *Persicaria tomentosa* (Schrank) E.P. Bicknell сильно выступает над поверхностью листа, замыкающие клетки выпуклые, кутикулизованные. Устьичные щели *Persicaria amphibia* (L.) Delarbre сильно открыты (рисунки 7–8). Выявлено наличие на нижней и (реже) верхней поверхности листа *Persicaria minor* (Huds.) Opiz крупных многоклеточных железок и мест их прикрепления в виде полых образований из четырех клеток с утолщенными стенками. Аналогичные структуры наблюдаются на листовой пластинке *Persicaria hydropiper* (L.) Delarbre (рисунки 9–10).

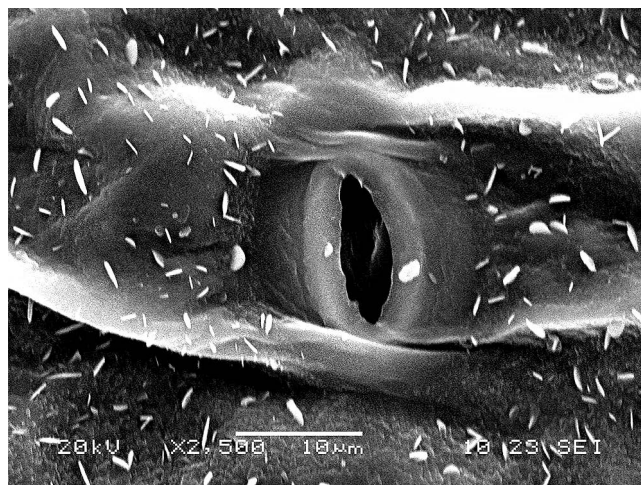


Рисунок 7. Фрагмент листовой пластинки *P. maculosa*

Figure 7. Fragment of a leaf blade of *P. maculosa*

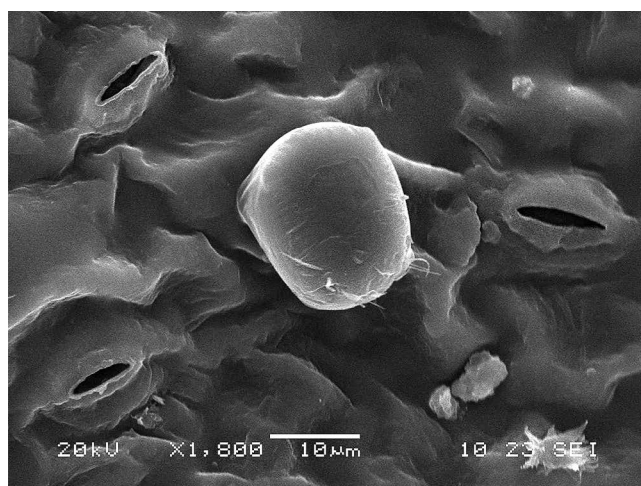


Рисунок 8. Фрагмент листовой пластинки *Persicaria tomentosa* (Schrank) E.P. Bicknell

Figure 8. Fragment of a leaf blade of *Persicaria tomentosa* (Schrank) E.P. Bicknell

Анализ морфологии поверхности околоцветника методом РЭМ проводили на примере цветка *P. maculosa*. Эпидермис венчика имеет сильно вытянутые клетки с продольными извилистыми складками. Трихомы редкие, пучкового строения. Выявлено наличие редко встречающихся многоклеточных овальной формы железок на поверхности околоцветника

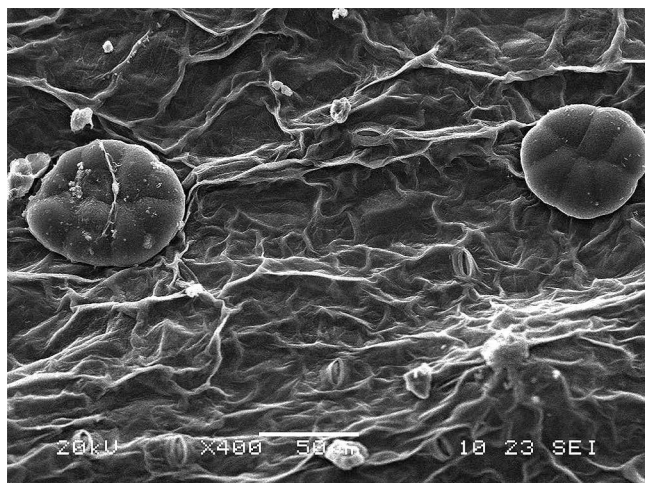


Рисунок 9. Фрагмент листовой пластинки *Persicaria minor* (Huds.) Opiz (выделительный аппарат)

Figure 9. Fragment of a leaf blade of *Persicaria minor* (Huds.) Opiz (excretory apparatus)

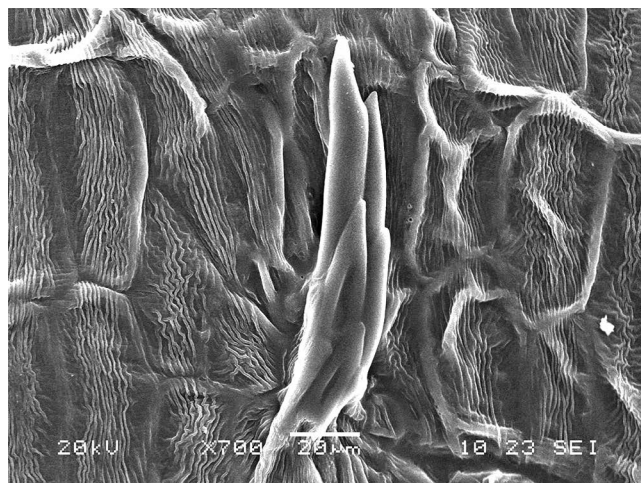


Рисунок 11. Пучковый волосок цветка *P. maculosa*

Paint 11. Tufted hair of *P. maculosa* flower

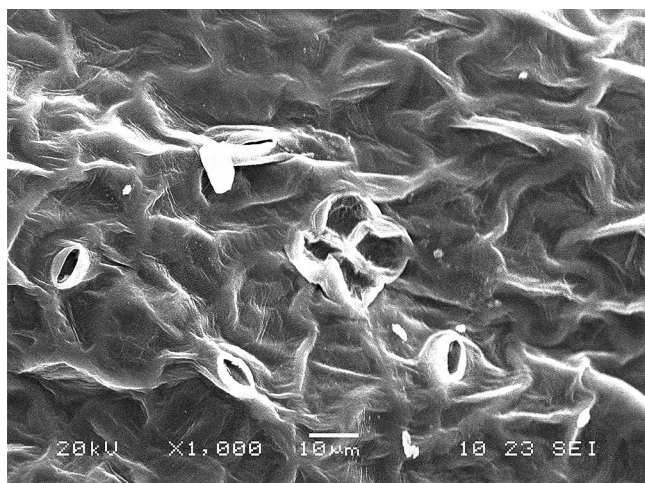


Рисунок 10. Фрагмент листовой пластинки *Persicaria minor* (Huds.) Opiz (устьица и место прикрепления железистого волоска)

Figure 10. Fragment of a leaf blade of *Persicaria minor* (Huds.) Opiz (stomata and place of attachment of the glandular hair)

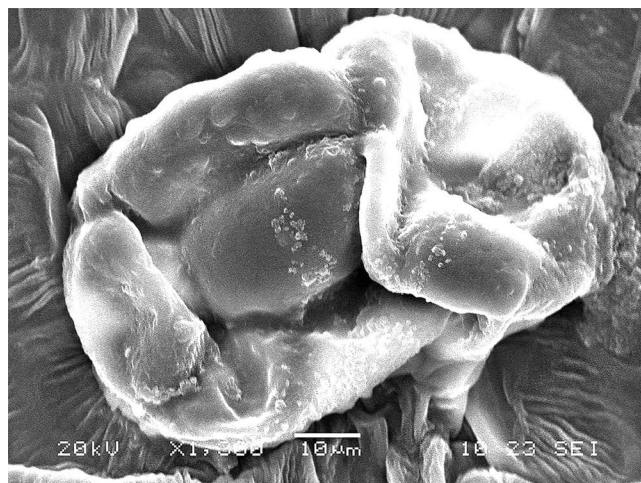


Рисунок 12. Железка цветка *P. maculosa*

Paint 12. *P. maculosa* flower gland

на короткой ножке (рисунки 11–12). Подобные структуры характерны для всех объектов исследования (рисунок 13).

В результате проведения микрорентгенструктурного анализа, были получены рентгеновские спектры, позволяющие установить наличие определенных элементов в выделенном участке при анализе образцов методом РЭМ. Данные о количественном содержании элементов в листьях изучаемых видов растений приведены в таблице 1.

Данные таблицы 1 показывают, что, учитывая органическую природу изучаемых образцов, наибольшую долю в составе элементов занимают углерод и кислород. Ведущим элементом для листа *Persicaria maculosa* является калий, которого в листьях *Persicaria amphibia* var. *terrestris* (Leyss.) Munshi & Javeid, *Persicaria minor* (Huds.) Opiz и *Persicaria hydropiper* (L.) De-

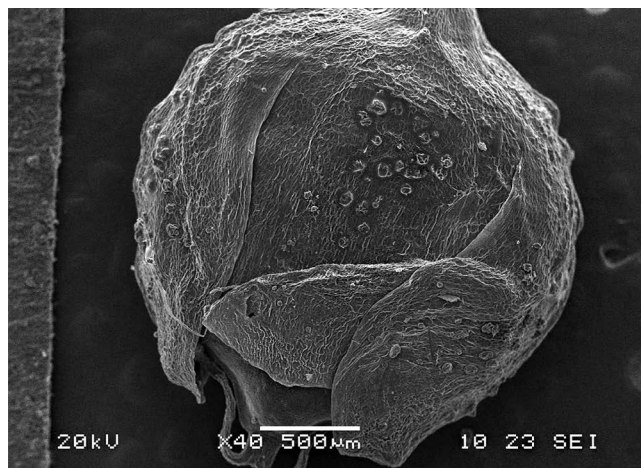


Рисунок 13. Форма и морфология поверхности околоцветника *Persicaria tomentosa* (Schrank) E.P. Bicknell

Paint 13. The shape and morphology of the perianth surface of *Persicaria tomentosa* (Schrank) E.P. Bicknell

Таблица 1. Содержание элементов листа видов рода *Persicaria* Mill.

Table 1. Contents of leaf elements in species of the genus *Persicaria* Mill.

Элемент The elements	Содержание элементов, % The content of the elements, %											
	<i>Persicaria maculosa</i> S.F. Gray		<i>Persicaria tomentosa</i> (Schrank) E.P. Bicknell		<i>Persicaria amphibia</i> (L.) Delarbre		<i>Persicaria amphibia</i> var. <i>terrestris</i> (Leyss.) Munshi & Javeid		<i>Persicaria minor</i> (Huds.) Opiz		<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Delarbre	
	Вес Weight	Атом Atomic	Вес Weight	Атом Atomic	Вес Weight	Атом Atomic	Вес Weight	Атом Atomic	Вес Weight	Атом Atomic	Вес Weight	Атом Atomic
C	33,8	42,8	46,4	55,0	46,2	54,6	48,4	57,2	29,9	38,6	16,5	22,2
O	54,6	51,9	47,2	42,0	48,8	43,3	45,1	40,0	57,1	55,3	72,1	72,7
Mg	2,7	1,7	2,8	1,6	1,2	0,7	1,9	1,1	3,9	2,5	1,7	1,2
K	7,7	3,0	2,5	0,9	2,3	0,8	3,3	1,2	5,8	2,3	5,8	2,4
Ca	1,1	0,4	1,2	0,4	1,5	0,5	1,2	0,4	3,2	1,2	3,7	1,5

larbre в 2 раза меньше, чем в *P. maculosa*, а в *Persicaria tomentosa* (Schrank) E.P. Bicknell и *Persicaria amphibia* (L.) Delarbre наименьшее из всех объектов (0,8 и 0,9 атом. %, соответственно). Наибольшее содержание магния необходимо отметить в *Persicaria minor* (Huds.) Opiz (2,5 атом. %), в остальных объектах количество магния примерно одинаково (1,2–1,7 атом. %), наименьшее наблюдается в траве *Persicaria amphibia* (L.) Delarbre (0,7 атом. %). Большее содержание кальция характерно для *Persicaria hydropiper* (L.) Delarbre и *Persicaria minor* (Huds.) Opiz (1,5 и 1,2 атом. % соответственно), для остальных видов его количество сходно и составляет около 0,5 атом. %.

Проводя сравнение полученных результатов с данными хроматомасспектрометрического анализа (для *P. maculosa*, *Persicaria tomentosa* (Schrank) E.P. Bicknell, *Persicaria minor* (Huds.) Opiz и *Persicaria hydropiper* (L.) Delarbre), нужно отметить расхождение значений [26]. Так, согласно исследованиям, калий в большем количестве характерен для *Persicaria hydropiper* (L.) Delarbre (3142 мг/кг), а кальций для *Persicaria tomentosa* (Schrank) E.P. Bicknell (20847 мг/кг). Магний в большем количестве содержится в *Persicaria minor* (Huds.) Opiz (10987 мг/кг), что коррелирует с данными РЭМ.

Таким образом, метод РЭМ является перспективным для исследования морфологии растительных объектов, что актуально для проведения скринингового анализа подлинности и установления видовой принадлежности растения, особенно, учитывая наличие широкого спектра близкородственных видов. Возможность метода РЭМ, одновременно с микроскопическим анализом, определить элементный состав, включая обширный спектр элементов (в т. ч. и тяжелых металлов), и отсутствие многоуровневой пробоподготовки, позволяет использовать данный метод в фармацевтическом анализе, в качестве экспрессного.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые использован метод РЭМ для анализа морфологии поверхности листовой пластинки видов рода *Persicaria* Mill. Уточнены особенности устьичного аппарата, трихом и железок на листьях

P. maculosa, *Persicaria tomentosa* (Schrank) E.P. Bicknell, двух формах земноводного, *Persicaria minor* (Huds.) Opiz и *Persicaria hydropiper* (L.) Delarbre. Методом РЭМ установлено содержание некоторых элементов в растительном сырье. Больше количество магния характерно для *Persicaria minor* (Huds.) Opiz, кальция – для *Persicaria hydropiper* (L.) Delarbre, а калия – для *P. maculosa*.

ЛИТЕРАТУРА

- Агапов Б. Л., Куликова Т. В. Растровая электронная микроскопия. Воронеж: Издательский дом ВГУ; 2018. 28 с.
- Гудкова А. А., Чистякова А. С., Сорокина А. А., Кузнецов А. Ю., Хромых Е. Г. Идентификация представителей рода *Persicaria* Mill. по морфологическим признакам. *Фармация*. 2019;68(1):10–19.
- Камалова Ю. Б. Разработка алгоритма распознавания изображений зерен пыльцы, полученных с помощью растрового электронного микроскопа, и статистический анализ их информативных параметров. *Вестник ИжГТУ*. 2014;62(2):115–117.
- Dart P. J. Scanning Electron Microscopy of Plant Roots. *Journal of Experimental Botany*. 1976;70(22):163–168.
- Kim S.-J., Kremer R. J. Scanning and transmission electron microscopy of root colonization of morningglory (*Ipomoea* spp.) seedlings by rhizobacteria. *SYMBIOSIS*. 2005;39(3):117–124.
- Talbot M. J., White R. G. Methanol fixation of plant tissue for Scanning Electron Microscopy improves preservation of tissue morphology and dimensions. *Talbot and White Plant Methods*. 2013;36(9).
- Sato T., Kwon O. Ch., Miyake H., Taniguchi T., Maeda E. Optical Microscopy and Scanning Electron Microscopy on the Surface of Rice Callus after Treatment with Cell Wall Degrading Enzymes. *Plant Prod. Sci.* 2001;4(2):145–150.
- Филонов А., Яминский И. Обработка и анализ данных в сканирующей зондовой микроскопии: алгоритмы и методы. *Наноиндустрия*. 2007;2:32–34.
- Широкова А. Г., Пасечник Л. А., Борисов С. В., Яценко С. П. Электронная микроскопия для изучения микрокапсулированных объектов. *Аналитика и контроль*. 2010;14(2):95–99.
- Бессуднова Н. О., Биленко Д. И., Вениг С. Б., Аткин В. С., Галушка В. В., Захаревич А. М. Экспериментальное исследование кристаллических образований, обнаруженных на поверхности дентина, методами растровой электронной микроскопии. *Молекулярная медицина*. 2012;5:1–7.
- Сирота Е. А., Кранина Н. А., Васильева В. И., Малыхин М. Д., Семенов В. Ф. Разработка и экспериментальная апробация программного комплекса для определения доли ионопроницающей поверхности гетерогенных мембран по данным растровой электронной микроскопии *Вестник ВГУ, серия: Химия. Биология. Фармация*. 2011;2:53–59.
- Павлова Л. А., Щоголев А. И., Павлова Т. В., Нестеров А. В. Инновации в применении наноструктурных методов для изучения регенерации. *Научные ведомости, серия: Медицина. Фармация*. 2012;135(16):104–107.

13. Бондарев А. В., Жиликова Е. Т., Демина Н. Б., Новиков В. Ю. Исследование морфологии сорбционных веществ. *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2019;(2):33–37. DOI: 10.33380/2305-2066-2019-8-2-33-37.
14. Смирнова М. В., Петров А. Ю., Емельянова И. В. Изучение особенностей тонкой структуры лекарственного средства Тизоль геля. *Бутлеровские сообщения*. 2012;31(7):52–54.
15. Белаева Я. В. Особенности строения листовой пластинки видов рода *Begonia* L. (BEGONIACEAE C. AGARDH) в условиях интродукции. *Young Scientist*. 2016;35(8):131–135.
16. Олонова М. В., Мезина Н. С., Хисориев Х. Х. Строение стеблевой эпидермы *Poa relaxa* Ovcz. (Roaceae) и возможность использования ее признаков в систематике. *Систематические заметки по материалам Гербария им. П. Н. Крылова Томского государственного университета*. 2013;108:29–36.
17. Зеер Г. М., Фоменко О. Ю., Ледяева О. Н. Применение сканирующей электронной микроскопии в решении актуальных проблем материаловедения. *Journal of Siberian Federal University. Chemistry*. 2009;4:287–293.
18. Поляков В. В., Неймарк А. И., Устинов Г. Г., Петрухно Е. В. Исследование элементного состава различных видов биоминеральных образований в организме человека. *Известия Алтайского государственного университета*. 2010;65(1–1)(65):151–157.
19. Высочина Г. И. Фенольные соединения в систематике и филогении семейства гречишные (Polygonaceae juss.). Сообщение. III. Род горец – *Persicaria* Mill. *Turczaninowia*. 2008;11:129–137.
20. Маевский П. Ф. Флора средней полосы европейской части России. 11-е испр. и доп. изд. М.: КМК; 2014. 635 с.
21. Государственная фармакопея Российской Федерации. В 4 томах. XIV изд. М. Министерство здравоохранения Российской Федерации; 2018.
22. Abubakar M. A., Zulkifli R., Wan Nur Atiqah, Wan Hassan, Shariff A. H. M., Nik Ahmad Nizam Nik Malek, Zakaria Z., Ahmad F. B. Antibacterial properties of *Persicaria minor* (Huds.) ethanolic and aqueous-ethanolic leaf extracts. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. 2015;5(2):50–56. DOI: 10.7324/JAPS.2015.58.58.
23. Borchardt J. R., Wyse D. L., Sheaffer C. C., Kauppi K. L., Fulcher R. G., Ehlike N. J., Biesboer D. D., Bey R. F. Antimicrobial activity of native and naturalized plants of Minnesota and Wisconsin. *Journal of Medicinal Plants Research*. 2008;2(5):98–110.
24. Ozbay H., Alim A. Antimicrobial activity of some water plants from the Northeastern Anatolian of Turkey. *Molecule*. 2009;14(1):321–328.
25. Ma C. J., Kiyong L., Jeong E. J., Kim S. H., Park J., Choi Y. H., Kim Y. C., Sung S. H. Persicarin from water dropwort (*Oenanthe javanica*) protects primary cultured rat cortical cells from glutamate-induced neurotoxicity. *Phytotherapy Research*. 2010;24(6):913–918. DOI: 10.1002/ptr.3065.
26. Гудкова А. А., Чистякова А. С., Сливкин А. И., Сорокина А. А. Сравнительное изучение минерального комплекса травы горца почечуйного (*Polygonum persicaria* L.) и горца войлочного (*Persicaria tomentosa* (Schrank) E.P. Bicknell). *Микроэлементы в медицине*. 2019;20(1):35–42. DOI: 10.19112/2413-6174-2019-20-1-35-42.
5. Philonov A., Yaminskiy I. Data processing and analysis in scanning probe microscopy: algorithms and methods. *Nanoindustrialiya = Nanoindustry*. 2007;2:32–34. (In Russ.)
9. Shirokova A. G., Pasechnik L. A., Borisov S. V., Yacenko S. P. Electron microscopy for studying microencapsulated objects. *Analitika i kontrol'*. 2010;14(2):95–99. (In Russ.)
10. Bessudnova N. O., Bilenko. D. I., Venig S. B., Atkin V. S., Galushka V. V., Zaharevich A. M. Experimental study of crystalline formations found on the surface of dentin using scanning electron microscopy. *Molekulyarnaya medicina = Molecular medicine*. 2012;5:1–7. (In Russ.)
11. Sirota E. A., Kranina N. A., Vasilieva V. I., Malykhin M. D., Selemenev V. F. Development and experimental testing of a software package for determining the fraction of the ion-conducting surface of heterogeneous membranes from the data of scanning electron microscopy. *Vestnik VGU seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya = Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*. 2011;2:53–59. (In Russ.)
12. Pavlova L. A., Schogolev A. I., Pavlova T. V., Nesterov A. V. Innovation in the Application of Nanostructured Methods to Study Regeneration. *Nauchnie vedomosti, seriya: Medicina. Pharmaciya*. 2012;135(16):104–107. (In Russ.)
13. Bondarev A. V., Zhilyakova E. T., Demina N. B., Novikov V. U. Study of the morphology of sorption substances. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv = Drug development & registration*. 2019;(2):33–37. (In Russ.) DOI: 10.33380/2305-2066-2019-8-2-33-37.
14. Smirnova M. V., Petrov A. U., Emelyanova I. V. Study of the features of the fine structure of the drug Tizol gel. *Butlerovskie soobshcheniya*. 2012;31(7):52–54. (In Russ.)
15. Belayeva Y. V. Features of the structure of the leaf blade of species of the genus *Begonia* L. (BEGONIACEAE C. AGARDH) under conditions of introduction. *Young scientist*. 2016; 35(8):131–135. (In Russ.)
16. Olonova M. V., Mezina N. S., Hisoriyev H. H. The structure of the stem epidermis *Poa relaxa* Ovcz. (Roaceae) and the possibility of using its features in taxonomy. *Sistematicheskie zametki po materialam Gerbariya im. P. N. Krylova Tomskogo gosudarstvennogo universiteta = Systematic notes on the materials of P. N. Krylov Herbarium of Tomsk State University*. 2013;108:29–36. (In Russ.)
17. Zeer G. M., Phomenko O. U., Ledyayeva O. N. Application of scanning electron microscopy in solving urgent problems of materials science. *Journal of Siberian Federal University. Chemistry*. 2009;4:287–293. (In Russ.)
18. Polyakov V. V., Neymark A. I., Ustinov G. G., Petrukhno E. V. Study of the elemental composition of various types of biomineral formations in the human body. *Izvestiya Altayskogo Gosudarstvennogo universiteta = Izvestiya of Altai State University*. 2010;65(1–1)(65):151–157. (In Russ.)
19. Visochina G. I. Phenolic compounds in the taxonomy and phylogeny of the buckwheat family (Polygonaceae juss.). Community III. Highlander genus – *Persicaria* Mill. *Turczaninowia*. 2008;11:129–137. (In Russ.)
20. Mayevskiy P. F. *Flora sredney polosy evropeyskoy chasti Rossii* [Flora of the middle zone of the European part of Russia]. 11th rev. and add. ed. M.: KMK; 2014. 635 p. (In Russ.)
21. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation]. In 4 volumes. 14th ed. Moscow: Ministerstvo zdravookhraneniya Rossiyskoy Federatsii; 2018. (In Russ.)
22. Abubakar M. A., Zulkifli R., Wan Nur Atiqah, Wan Hassan, Shariff A. H. M., Nik Ahmad Nizam Nik Malek, Zakaria Z., Ahmad F. B. Antibacterial properties of *Persicaria minor* (Huds.) ethanolic and aqueous-ethanolic leaf extracts. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. 2015;5(2):50–56. DOI: 10.7324/JAPS.2015.58.58.
23. Borchardt J. R., Wyse D. L., Sheaffer C. C., Kauppi K. L., Fulcher R. G., Ehlike N. J., Biesboer D. D., Bey R. F. Antimicrobial activity of native and naturalized plants of Minnesota and Wisconsin. *Journal of Medicinal Plants Research*. 2008;2(5):98–110.
24. Ozbay H., Alim A. Antimicrobial activity of some water plants from the Northeastern Anatolian of Turkey. *Molecule*. 2009;14(1):321–328.
25. Ma C. J., Kiyong L., Jeong E. J., Kim S. H., Park J., Choi Y. H., Kim Y. C., Sung S. H. Persicarin from water dropwort (*Oenanthe javanica*) protects primary cultured rat cortical cells from glutamate-induced neurotoxicity. *Phytotherapy Research*. 2010;24(6):913–918. DOI: 10.1002/ptr.3065.
26. Gudkova A. A., Chistyakova A. S., Slivkin A. I., Sorokina A. A. Comparative study of the mineral complex of the grass of the knotweed (*Polygonum persicaria* L.) and the knotweed (*Persicaria tomentosa* (Schrank) E.P. Bicknell). *Microelementy v medicine = Trace elements in medicine*. 2019;20(1):35–42. (In Russ.) DOI: 10.19112/2413-6174-2019-20-1-35-42.

REFERENCES