

УДК 615.322:543.645.9



## ИЗУЧЕНИЕ ПРОФИЛЯ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ ВИДОВ РОДА ГОРЕЦ (*PERSICARIA* MILL.)

А.С. Чистякова, А.А. Гудкова, А.И. Сливкин, Е.Е. Чупандина

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации  
394018, Россия, г. Воронеж, Университетская пл., д. 1

E-mail: anna081189@yandex.ru

Получена 03.04.2020

После рецензирования 22.11.2021

Принята к печати 06.12.2021

Виды рода горец (*Persicaria* Mill. (L.), относящиеся к семейству гречишных (*Polygonaceae* Juss.), широко распространены на территории России, являются сорняками. Основными компонентами химического состава травы видов рода горец являются флавоноидные гликозиды (рутин, авикулярин, гиперозид и др.). Данных, касающихся сравнительного изучения органических кислот в траве представителей рода горец, в доступной литературе не обнаружено.

**Цель.** Сравнительное изучение качественного и количественного состава органических кислот видов рода горец (*Persicaria* Mill. (L.), произрастающих в Воронежской области.

**Материалы и методы.** Объектами исследования служили высушенные образцы травы видов рода горец. Все виды были заготовлены в Воронежской области во время цветения. Количественное содержание аскорбиновой кислоты и суммы органических кислот в пересчете на яблочную (гидроксипентандиовую) кислоту проводили согласно титриметрических методик, рекомендованных Государственной Фармакопеей Российской Федерации XIV изд. Изучение качественного состава профиля органических кислот и оценку их количественного содержания в траве изучаемых объектов проводили методом капиллярного электрофореза (Капель, СПб, Россия).

**Результаты.** С помощью фармакопейных титриметрических методик выявлено, что наибольшее содержание суммы органических кислот характерно для травы горца почечуйного (5,60%), наименьшее для травы горца войлочного (4,03%). Аскорбиновой кислотой наиболее богаты горцы почечуйный и перечный (0,17% и 0,15% соответственно). При использовании метода капиллярного электрофореза был установлен состав суммы органических кислот изучаемых растений, представленный щавелевой, муравьиной, лимонной, яблочной, янтарной, пропионовой, молочной, бензойной и другими кислотами.

**Заключение.** Проведено исследование органических кислот видов рода горец. Установлено, что содержание суммы органических кислот в пересчете на яблочную кислоту и количество аскорбиновой кислоты в изучаемых видах сходно. Методом капиллярного электрофореза изучен полный состав органических кислот и установлено количественное содержание каждого компонента. Выявлено преобладание щавелевой, муравьиной и яблочной кислот во всех изучаемых видах рода горец.

**Ключевые слова:** род горец; *Persicaria*; лекарственное растительное сырье; органические кислоты; капиллярный электрофорез; титриметрия

**Список сокращений:** Аск – Аскорбиновая кислота; ГФ – Государственная фармакопея; ОК – органические кислоты; ОФС – общая фармакопейная статья; ФС – фармакопейная статья; БАВ – биологически активные вещества.

## STUDY OF ORGANIC ACIDS PROFILE OF GENUS *PERSICARIA* MILL SPECIES

A.S. Chistyakova, A.A. Gudkova, A.I. Slivkin, E.E. Chupandina

Voronezh State University,  
1, Universitetskaya Sq., Voronezh, Russia, 394018

E-mail: anna081189@yandex.ru

Received 03 April 2020

After peer review 22 Nov 2021

Accepted 06 Dec 2021

**Для цитирования:** А.С. Чистякова, А.А. Гудкова, А.И. Сливкин, Е.Е. Чупандина. Изучение профиля органических кислот видов рода горец (*Persicaria* Mill.). *Фармация и фармакология*. 2022;10(1):44-54. DOI: 10.19163/2307-9266-2022-10-1-44-54

© А.С. Чистякова, А.А. Гудкова, А.И. Сливкин, Е.Е. Чупандина, 2022

**For citation:** A.S. Chistyakova, A.A. Gudkova, A.I. Slivkin, E.E. Chupandina. Study of organic acids profile of genus *Persicaria* Mill species. *Pharmacy & Pharmacology*. 2022;10(1):44-54. DOI: 10.19163/2307-9266-2022-10-1-44-54

The genus *Persicaria* Mill. species belonging to the buckwheat family (*Polygonaceae* Juss.) and widespread in Russia, are weeds. The chemical composition's main components of the genus *Persicaria* Mill. species, are flavonoid glycosides (rutin, avicularin, hyperoside, etc.). The data concerning a comparative study of the organic acids in the herb representatives of genus *Persicaria* Mill., have not been detected in the available literature.

**The aim** of the research is a comparative study of the organic acids qualitative and quantitative composition in the genus *Persicaria* Mill. species growing in the Voronezh region.

**Materials and methods.** The objects of the study were dried herb samples of the genus *Persicaria* Mill. species. All the species were harvested in the Voronezh region during the blooming period. The quantitative content of ascorbic acid and the amount of organic acids in terms of malic (hydroxy-succinic) acid was carried out according to the titrimetric methods of the Russian Federation State Pharmacopoeia, the XIV<sup>th</sup> ed. The study of the qualitative composition of the organic acids profile and their quantitative content assessment in the studied objects, the herbs, was carried out by the method of capillary electrophoresis ("Kapel", St. Petersburg, Russia).

**Results.** With the help of pharmacopoeial titrimetric methods, it was established that the highest content of the organic acids total amount is characteristic of the *Persicaria maculosa* Mill. herb (5,60%), the lowest one – of the *Persicaria tomentosa* (Schrank) E. P. Bicknell herb (4.03%). *Persicaria maculosa* S. F. Gray and *Persicaria hydropiper* (L.) Delarbre are the richest in ascorbic acid (0.17% and 0.15%, respectively). Using the method of capillary electrophoresis, the composition of the total amount of the studied organic acids has been established. It is represented by oxalic, formic, citric, malic, wine, propionic, lactic, benzoic and other acids.

**Conclusion.** The study of the organic acids of the genus *Persicaria* Mill. species has been carried out. It has been established that in the studied species, the organic acids total amount in terms of malic acid and the amount of ascorbic acid are similar. By the method of capillary electrophoresis, a complete composition of organic acids has been studied, and the quantitative content of each component has been established. In all the studied *Persicaria* Mill. species, the predominance of oxalic, formic and malic acids has been revealed.

**Keywords:** genus *Persicaria*; *Persicaria*; medicinal herbal raw materials; organic acids; capillary electrophoresis; titrimetry

**Abbreviations:** AsA – ascorbic acid; SP – State Pharmacopoeia; OAs – organic acids; GPM – General Pharmacopoeia Monograph; PM – Pharmacopoeial Monograph; BASs – biologically active substances.

## ВВЕДЕНИЕ

Органические кислоты (ОК) растений являются активными метаболитами [1], участвуют в синтезе аминокислот [2], детоксикации тяжелых металлов в растениях [2, 3]. Такие ОК, как аскорбиновая кислота (АсК или витамин С), лимонная, яблочная важны для нормальной жизнедеятельности организма человека [4–6], принимают участие в обменных процессах, регулируют деятельность пищеварительной системы, обладают бактерицидным [1], антиоксидантным действием, способствуют уменьшению воспалительной реакции, ускорению регенерации тканей [7–10], активируют клеточное дыхание, синтез белков [4, 5].

Столь широкий спектр фармакологической активности объясняет интерес российских и зарубежных авторов к изучению качественного и количественного содержания ОК в растениях [1, 14–16]. Однако, несмотря на весомый список положительных эффектов ОК, существуют и негативные. Так, ученые Д.О. Боков и соавт. [17] отмечают, что высокое содержание щавелевой кислоты в рационе человека может приводить к развитию мочекаменной болезни, вызванной метаболическими нарушениями (важнейшим фактором является нарушение кислотно-щелочного баланса). Щавелевая кислота, попадающая в мочу, образует соединения с ионами кальция, что приводит к формированию кристаллов-оксалатов.

Виды рода горец (*Persicaria* Mill.), относящиеся к семейству гречишных (*Polygonaceae* Juss.), являются перспективными объектами для изучения. Согласно последним данным международной информацион-

ной базы «The Plant List»<sup>1</sup>, род горец включает около 66 видов, которые широко распространены в обоих полушариях. Изучению систематики и количественного состава видов рода посвящены многочисленные работы (S. Hassannejad и соавт.; Г.И. Высочина; Ф.А. Вагабова и соавт.) [18–20], и часть из них затрагивала вопросы хемосистематики видов, базирясь на изучении флавоноидного состава. На основании данных исследований виды рода горец были разделены на 4 ряда *Persicariaeformes* Kom., *Hydropiperiformes* Kom., *Lapathiiformes* Worosh., *Amphibiae* Kom. Однако, учитывая особенности видов рода, которые, произрастая на одной территории, могут скрещиваться между собой, образуя разнообразные полиморфные формы, среди ученых до сих пор существуют разногласия относительно самостоятельности существования некоторых видов (например, в ряду *Lapathiiformes* под сомнением находится вероятность вынесения горца войлочного в отдельный вид).

К использованию в официальной медицине разрешены горец перечный и горец почечуйный, которые включены в Государственную Фармакопею Российской Федерации XIV издания (ГФ РФ XIV изд.)<sup>2</sup> и рекомендованы к использованию в качестве кровоостанавливающих средств. Другие представители рода считаются примесными растениями

<sup>1</sup> The Plant List. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.theplantlist.org>.

<sup>2</sup> Государственная фармакопея Российской Федерации в 4 т. – 14-е изд. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://femb.ru/femb/pharmacopea.php>.

и не подлежат заготовке в качестве лекарственного растительного сырья. Однако, в результате оценки их фармакологической активности, установлены противовоспалительный, антиоксидантный и мембранопротекторные эффекты [21]. Принято считать, что основными компонентами химического состава травы видов рода горец являются флавоноидные гликозиды (рутин, авикулярин, гиперозид, гликозиды кемпферола, кверцетина и др.) [18, 19, 22–24], дубильные вещества, филлохинон [25], соли кальция [26]. Данных, касающихся сравнительного изучения качественного состава и количественного содержания ОК в траве представителей рода горец, в доступной литературе не обнаружено.

**ЦЕЛЬ.** Сравнительное изучение качественного и количественного состава ОК видов рода горец (*Persicaria* Mill.), произрастающих на территории Воронежской области.

Экспериментальная часть данной работы направлена на решение двух задач. Во-первых, исследования, направленные на оценку количественного содержания суммы органических кислот в пересчете на яблочную, а также АсК в растениях рода горец общедоступными фармакопейными методами (титриметрия). Вторая задача посвящена детальному изучению качественного состава и количественного содержания органических кислот с помощью современного метода анализа (капиллярный электрофорез).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Сырье

Объектами исследования служили самостоятельно заготовленные на территории Воронежской области образцы высушенной травы горца почечуйного (*Persicaria maculosa* S.F. Gray), горца щавелелистного (*Persicaria lapathifolia* (L.) Delarbre), место сбора перечисленных видов – поселок Углянец, (30 км к северо-востоку от г. Воронежа); горца войлочного (*Persicaria tomentosa* (Schrank) E.P. Bicknell), собран в Ботаническом саду имени Козо-Полянского, в черте г. Воронеж; горца перечного (*Persicaria hydropiper* (L.) Delarbre), горца малого (*Persicaria minor* (Huds.) Opiz), произрастающих в поселке Рыбачьем (в черте г. Воронежа); горца земноводного двух форм, наземной (*Persicaria amphibia* var. *terrestris* (Leyss.) Munshi & Javeid) и водной (*Persicaria amphibia* (L.) Delarbre), заготовлены в прибрежной зоне реки Воронеж (70 км к северо-востоку от г. Воронежа). Изучаемые виды заготавливали ежегодно с одного и того же места произрастания в течение 2016–2018 гг. Объекты подвергали высушиванию воздушно-теневым способом. Идентификацию изучаемых видов проводили с использованием гербарных образцов и определителей растений кафедры ботаники и микологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» Министерства науки и высшего образования РФ.

### Микроскопические исследования

Изучение микроскопических признаков изучаемых видов проводили согласно ОФС.1.5.3.0003.15 «Техника микроскопического и микрохимического исследования лекарственного растительного сырья и лекарственных растительных препаратов» ГФ РФ XIV изд.<sup>3</sup> на микроскопе «Биомед 6» при увеличении  $\times 100$ . Визуализация диагностических признаков проводилась с помощью цифровой видеокамеры «Levenhuk» C310 NG (КНР).

### Количественное определение

Содержание АсК и суммы органических ОК в пересчете на яблочную кислоту проводили согласно титриметрических методик ФС.2.5.0106.18 ГФ РФ XIV изд. «Шиповника плоды» и ФС.2.5.0093.18 ГФ РФ XIV изд. «Рябины обыкновенной плоды»<sup>4</sup>.

Анализ количественного содержания отдельных органических кислот проводили методом капиллярного электрофореза («Капель», Россия). Условия разделения: фосфатный буфер. Капилляр:  $L_{эфф}/L_{общ} = 40/50$  см, ID = 50 мкм. Ввод пробы: 300 мбар·с. Напряжение: –17 кВ. Температура: +20°C. Детектирование: 190 нм, косвенное<sup>5</sup> [5, 27].

### Реактивы

В работе использовали реактивы марки х.ч. и ч.д.а. (ЗАО «Вектон», Россия). Расчет всех количественных характеристик проводился в пересчете на абсолютно сухое растительное сырье.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе работы фармакопейными титриметрическими методами в изучаемых видах рода горец было определено содержание АсК и суммы ОК в пересчете на яблочную кислоту. Полученные результаты отражены в таблице 1.

Было установлено, что среди изученных в работе видов, горец почечуйный и горец перечный содержат большее количество АсК (0,17±0,01 и 0,15±0,01% соответственно). Наименьшее содержание АсК характерно для травы горца войлочного и наземной формы горца земноводного (0,07±0,006 и 0,08±0,005% соответственно). Суточное потребление АсК, по данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ)<sup>6</sup>, составляет 60–80 мг/сутки (0,06–0,08 г/сутки). Учитывая полученные данные по содержанию АсК в изучаемых растениях, они могут служить дополнительными источниками данного соединения, что необходимо учитывать при получении лекарственных растительных препаратов на их основе.

<sup>3</sup> Там же.

<sup>4</sup> Там же.

<sup>5</sup> Комарова Н.В., Каменцев Я.С. Практическое руководство по использованию систем капиллярного электрофореза Капель. – СПб: Веста, 2006. – 213 с.

<sup>6</sup> Справочник MSD Профессиональная версия. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.msdmanuals.com/ru-ru/профессиональный/multimedia/table/v2089460\\_ru](https://www.msdmanuals.com/ru-ru/профессиональный/multimedia/table/v2089460_ru).

Таблица 1 – Содержание аскорбиновой кислоты и суммы ОК в пересчете на яблочную кислоту (P&gt;95%, n=7)

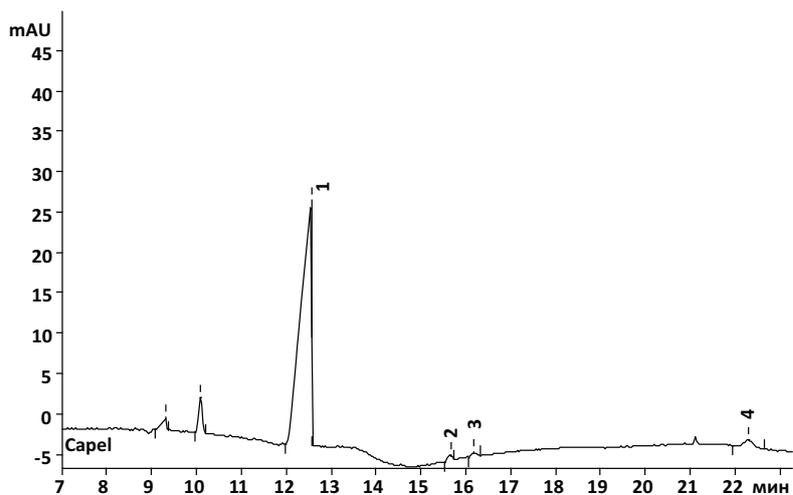
Показатель	Ряд <i>Persicariaeformes</i>	Ряд <i>Lapathiiformes</i>	Ряд <i>Hydropiperiformes</i>	Ряд <i>Amphibiae</i>			
	Горец почечуйный	Горец войлочный	Горец щавеле-лиственный	Горец перечный	Горец малый	Горец земноводный (наземная форма)	Горец земноводный (водная форма)
Аскорбиновая кислота, %	0,170±0,010	0,070±0,006	0,110±0,007	0,150±0,010	0,100±0,010	0,080±0,005	0,110±0,010
Сумма органических кислот, в пересчете на яблочную, %	5,60±0,20	4,03±0,12	5,47±0,30	5,16±0,20	4,47±0,16	5,28±0,18	4,73±0,11

Таблица 2 – Содержание органических кислот в видах рода горец (P&gt;95%, n=3)

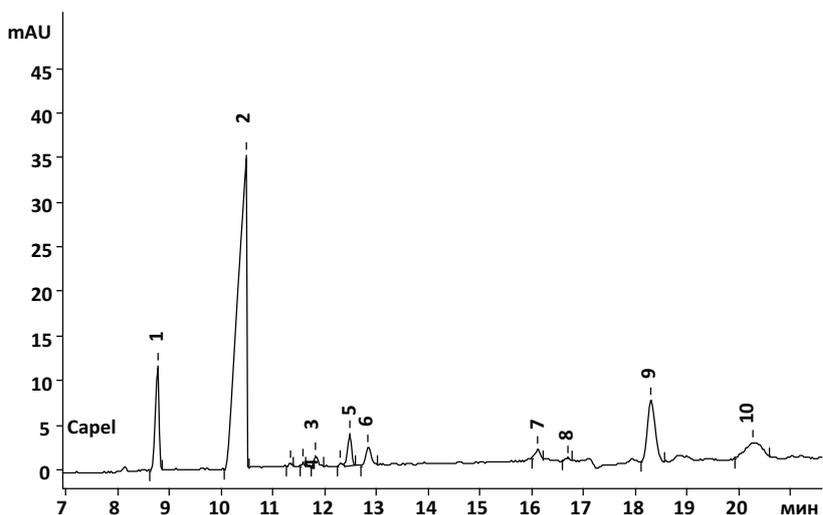
Объект исследования	Ряд <i>Persicariaeformes</i>	Ряд <i>Lapathiiformes</i>	Ряд <i>Hydropiperiformes</i>	Ряд <i>Amphibiae</i>			
	Горец почечуйный	Горец щавеле-лиственный	Горец войлочный	Горец перечный	Горец малый	Горец земноводный (наземная форма)	Горец земноводный (водная форма)
Органические кислоты, %							
щавелевая	3,36±0,06	0,35±0,02	1,70±0,03	7,36±0,14	2,13±0,04	1,19±0,02	0,48±0,004
муравьиная	< 0,15	2,84±0,03	< 0,15	4,71±0,09	4,47±0,08	6,69±0,12	< 0,15
фумаровая	< 0,005	0,014±0,002	0,023±0,0001	0,017±0,0001	< 0,005	< 0,005	0,008±0,0002
янтарная	< 0,05	< 0,05	< 0,15	< 0,05	< 0,05	0,067±0,001	< 0,05
яблочная	0,130±0,003	0,044±0,001	0,062±0,0001	0,055±0,0001	0,073±0,0002	0,28±0,005	0,66±0,01
лимонная	0,07±0,001	0,28±0,005	0,20±0,004	0,25±0,005	0,12±0,002	0,20±0,002	0,72±0,01
пропионовая	< 0,15	0,22±0,004	0,16±0,002	0,17±0,002	0,03±0,0001	0,16±0,003	< 0,15
молочная	< 0,12	< 0,12	< 0,12	< 0,12	0,29±0,006	< 0,12	< 0,12
бензойная	0,006±0,0001	0,03±0,0001	< 0,005	0,02±0,0005	0,007±0,0001	0,008±0,0001	< 0,005
сорбиновая	< 0,025	0,12±0,002	< 0,025	< 0,025	0,04±0,0008	< 0,025	< 0,025
винная	< 0,005	0,50±0,005	0,46±0,003	0,76±0,007	0,50±0,004	2,15±0,043	1,79±0,035
уксусная	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Сумма	3,56±0,07	4,47±0,09	2,61±0,05	13,42±0,27	7,66±0,15	10,77±0,21	3,66±0,08

Таблица 3 – Определение зависимости содержания щавелевой кислоты от частоты встречаемости и размера друз оксалата кальция

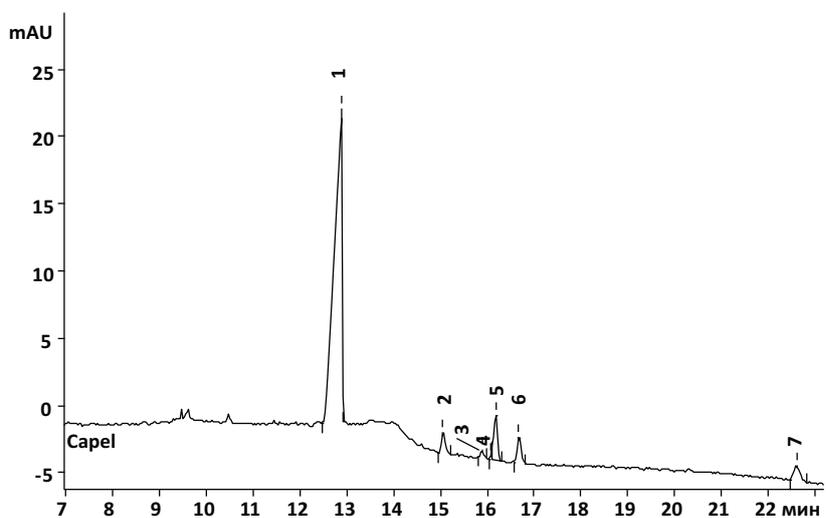
Объект исследования	Ряд <i>Persicariaeformes</i>	Ряд <i>Lapathiiformes</i>	Ряд <i>Hydropiperiformes</i>	Ряд <i>Amphibiae</i>			
	Горец почечуйный	Горец щавеле-лиственный	Горец войлочный	Горец перечный	Горец малый	Горец земноводный (наземная форма)	Горец земноводный (водная форма)
Изучаемый параметр							
Содержание щавелевой кислоты, %	3,36±0,07	0,35±0,08	1,70±0,03	7,36±0,15	2,13±0,04	1,19±0,02	0,48±0,004
Частота встречаемости, штук (1 мм <sup>2</sup> )	70±20	120±45	200±30	130±25	150±20	140±30	–
Диаметр друз, мкм	11,6–41,9	11,5–34,9	49,0–81,5	9,3–23,3	11,5–69,9	11,6–34,9	–



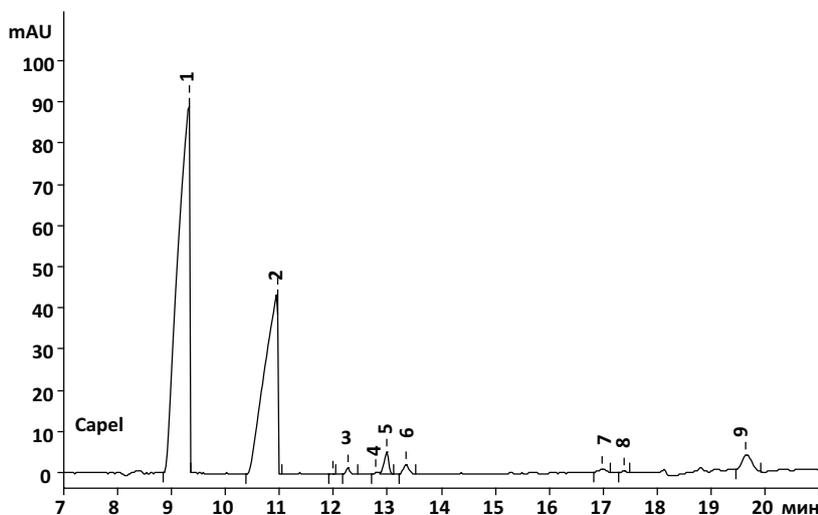
**Рисунок 1 – Электрофореграмма органических кислот травы горца почечуйного**  
Примечание: 1 – щавелевая кислота; 2 – яблочная кислота; 3 – лимонная кислота, 4 – бензойная кислота.



**Рисунок 2 – Электрофореграмма органических кислот травы горца щавелелистного**  
Примечание: 1 – щавелевая, 2 – муравьиная, 3 – фумаровая, 4 – яблочная, 5 – винная, 6 – лимонная, 7 – пропионовая, 8 – молочная, 9 – бензойная, 10 – сорбиновая.

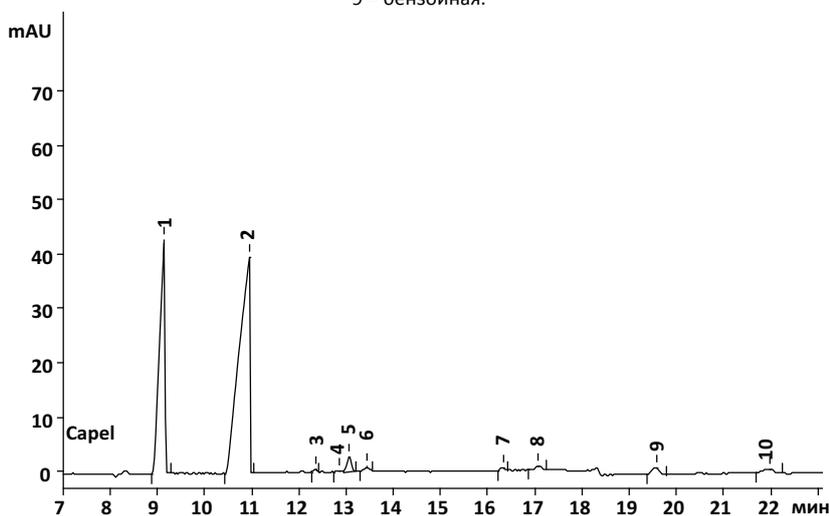


**Рисунок 3 – Электрофореграмма органических кислот травы горца войлочного**  
Примечание: 1 – щавелевая, 2 – фумаровая, 3 – янтарная, 4 – яблочная, 5 – винная, 6 – лимонная, 7 – бензойная.



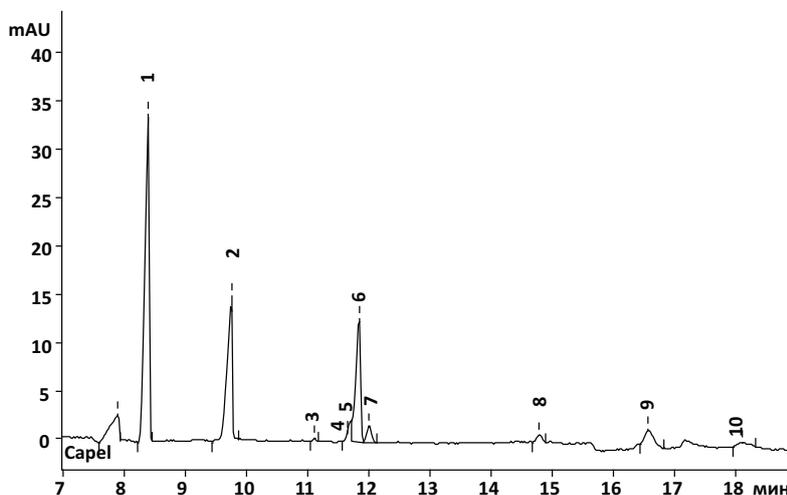
**Рисунок 4 – Электрофореграмма органических кислот травы горца перечного**

Примечание: 1 – щавелевая, 2 – муравьиная, 3 – фумаровая, 4 – яблочная, 5 – винная, 6 – лимонная, 7 – пропионовая, 8 – молочная, 9 – бензойная.



**Рисунок 5 – Электрофореграмма органических кислот травы горца малого**

Примечание: 1 – щавелевая, 2 – муравьиная, 3 – фумаровая, 4 – яблочная, 5 – винная, 6 – лимонная, 7 – пропионовая, 8 – молочная, 9 – бензойная, 10 – сорбиновая.



**Рисунок 6 – Электрофореграмма органических кислот травы горца земноводного наземной формы**

Примечание: 1 – щавелевая, 2 – муравьиная, 3 – фумаровая, 4 – янтарная, 5 – яблочная, 6 – винная, 7 – лимонная, 8 – пропионовая, 9 – бензойная, 10 – сорбиновая.

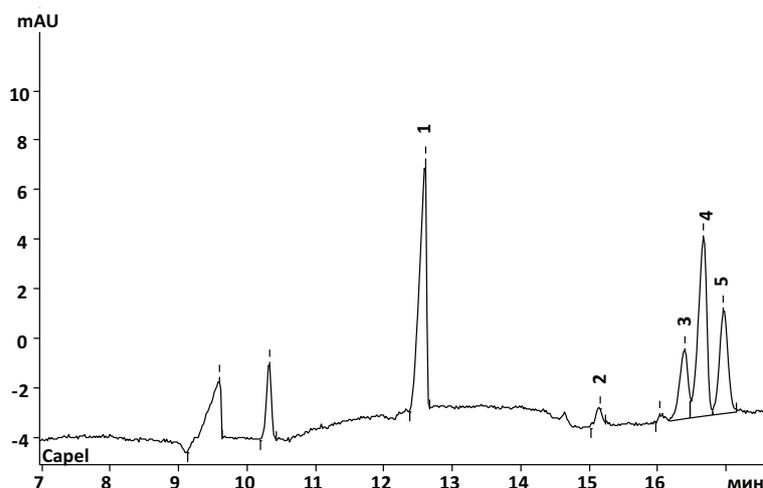


Рисунок 7 – Электрофореграмма органических кислот травы горца земноводного водной формы

Примечание: 1 – щавелевая, 2 – фумаровая, 3 – яблочная, 4 – винная, 5 – лимонная.

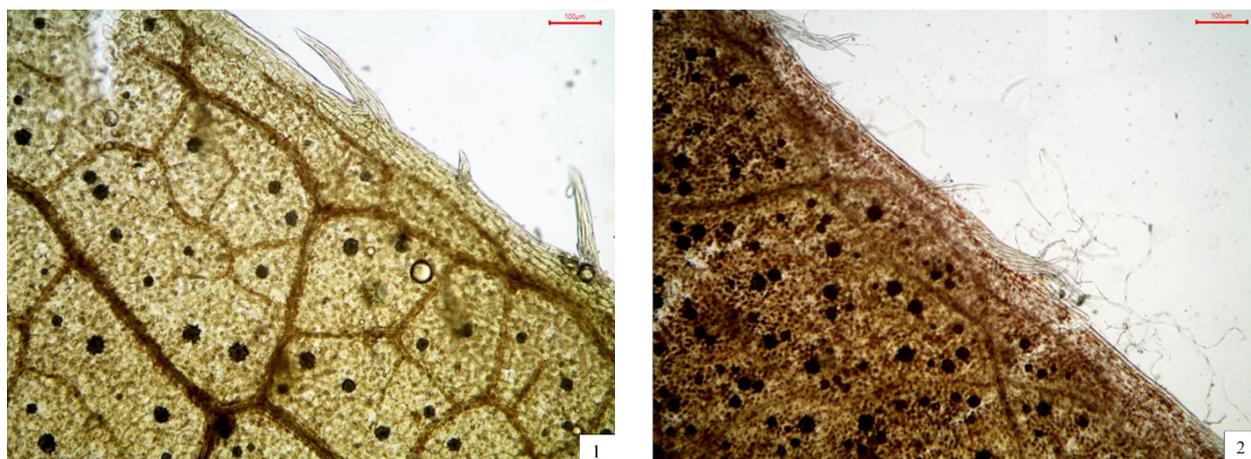


Рисунок 8 – Друзы оксалата кальция на микропрепаратах листа горца почечуйного (1) и горца войлочного (2)

Анализируя суммарное количество ОК в пересчете на яблочную кислоту в изучаемых видах горца, выявлено, что большее их содержание наблюдается в траве горца почечуйного и горца щавелелистного. В траве горца перечного данный показатель на 13% выше ( $5,16 \pm 0,20\%$ ), чем в горце малом ( $4,47 \pm 0,16\%$ ), который является основной примесью при заготовке растительного сырья горца перечного. Различие в количественном содержании как суммы ОК, так и содержании АсК, наблюдается в пределах двух форм одного вида горца земноводного: в наземной форме количество АсК на 27% меньше ( $0,08 \pm 0,005\%$ ), а суммы ОК на 10% больше ( $5,28 \pm 0,18$ ), чем в водной форме ( $4,73 \pm 0,11$ ).

Исследование ОК и АсК в растительном сырье фармакопейными методами имеет ряд недостатков, в частности, яблочная кислота, на которую рекомендуется проводить пересчет содержания суммы ОК, не всегда присутствует в сырье в преобладающем ко-

личестве, может содержаться в свободном виде и в виде калиевых и кальциевых солей. Фармакопейный метод не позволяет установить качественный состав ОК, присутствующих в растительном сырье как в свободном виде, так и в виде солей [5, 14, 28].

Одним из методов, наиболее часто применяемых в анализе растений на наличие ОК, является капиллярный электрофорез, сочетающий в себе простоту, экспрессность, надежность и низкое потребление ресурсов по сравнению с хроматографическими методами анализа [1, 5, 28–32]. Следующим этапом работы являлось изучение полного состава ОК (как в свободной форме, так и в виде солей) методом капиллярного электрофореза. При этом в изучаемых видах горца были идентифицированы щавелевая, муравьиная, фумаровая, янтарная, яблочная, лимонная, пропионовая, молочная, бензойная, сорбиновая, винная, уксусная кислоты и определено их количественное содержание. Полученные данные

приведены в таблице 2, электрофореграммы представлены на рисунках 1–7.

Проводя анализ полученных в ходе исследования данных, необходимо отметить, что, несмотря на близкородственность видов рода горец, наблюдается неоднородность в качественном и количественном составе ОК изучаемых растений. Оценивая картину профилей ОК изучаемых видов, в соответствии с их разделением на ряды, видны яркие отличия ряда *Persicariaeformes* от других. В частности, в траве горца почечуйного достоверно было идентифицировано четыре ОК (щавелевая, яблочная, лимонная, бензойная). В пределах ряда *Lapathiiformes* нужно отметить различия в составе ОК между близкими видами: в траве горца щавелелистного – 9 (щавелевая, муравьиная, фумаровая, яблочная, лимонная, пропионовая, бензойная, сорбиновая, винная), в траве горца войлочного – 6 (щавелевая, фумаровая, яблочная, лимонная, пропионовая, винная). Та же ситуация наблюдается и для видов ряда *Hydropiperiformes*: в траве горца перечного – 8 (щавелевая, муравьиная, фумаровая, яблочная, лимонная, пропионовая, бензойная, винная), в траве горца малого – 9 (щавелевая, муравьиная, яблочная, лимонная, пропионовая, молочная, бензойная, сорбиновая, винная). В рамках ряда *Amphibiae*, в траве наземной формы горца земноводного – 8 (щавелевая, муравьиная, янтарная, яблочная, лимонная, пропионовая, бензойная, винная), в траве водной формы горца земноводного – 5 (щавелевая, фумаровая, яблочная, лимонная, винная). Подобное различие в картинах профиля ОК, наблюдаемое для двух форм одного вида, объяснимо влиянием адаптивного механизма и среды обитания растений на синтез биологически активных веществ (БАВ). Также, анализируя данные таблицы 2, можно отметить схожесть в качественном составе ОК травы горца перечного и наземной формы горца земноводного, что дает возможность предполагать генетическое родство этих видов.

Суммарное содержание ОК, определенное методом капиллярного электрофореза, характерно для травы горца перечного (13,42%), наземной формы горца земноводного (10,77%) и горца малого (7,66%).

Главной ОК в составе травы горцев почечуйного, перечного и войлочного является щавелевая кислота. Для травы горца почечуйного содержание щавелевой кислоты составило 94% от суммы ОК, для горца войлочного – 65%, для горца перечного – 55%. Одной из форм, в которых щавелевая кислота может встречаться в растениях, можно выделить кристаллические включения. Одной из особенностей представителей семейства гречишных, а именно рода горец, является наличие довольно крупных и многочисленных друз оксалата кальция, которые в большом количестве находятся в идиобластах в мезофилле листьев, вдоль проводящих пучков стебля, около основания лепестков венчика. Помимо

определения качественного состава и количественного содержания ОК в изучаемых видах, было проанализировано наличие связи между количественным содержанием щавелевой кислоты, частотой встречаемости и размерами друз оксалата кальция, выявленными в результате микроскопического анализа изучаемых объектов. На рисунке 8 в качестве примера приведена картина микроскопического строения листа горца почечуйного (1) и горца войлочного (2), где отчетливо заметно присутствие большого количества друз оксалата кальция на листе горца войлочного.

В таблице 3 приведены результаты подсчета частоты встречаемости друз оксалата кальция и определения их диаметра с помощью окуляра – микрометра Levenchuk (КНР). Наибольшее содержание щавелевой кислоты характерно для горца перечного, при этом диаметр друз по сравнению с остальными объектами, наименьший (9,3–23,3 мкм) при средней частоте встречаемости ( $130 \pm 25$  шт/мм<sup>2</sup>). Наибольшее количество друз крупного диаметра наблюдается для горца войлочного ( $200 \pm 30$  шт/мм<sup>2</sup>), однако содержание щавелевой кислоты в сырье невысокое ( $1,7 \pm 0,03\%$ ). В водной форме горца земноводного с помощью микроскопического метода анализа друзы оксалата кальция обнаружены не были, количество щавелевой кислоты, установленное методом капиллярного электрофореза, не высокое ( $0,48 \pm 0,004\%$ ). Полученные результаты показывают, что зависимости между содержанием щавелевой кислоты, частотой встречаемости и размером друз оксалата кальция выявлено не было. Щавелевая кислота в изучаемых объектах содержится в основном в свободном виде и лишь незначительная ее часть – в виде солей кальция и др. соединений.

Для видов горца щавелелистного, малого и наземной формы горца земноводного характерно преобладающее количество муравьиной кислоты. Среди исследуемых видов более высокое содержание муравьиной кислоты (6,69%) характерно для наземной формы горца земноводного, что составляет 62% от суммы ОК. В горце перечном и горце малом содержание муравьиной кислоты сходно ( $4,71 \pm 0,09$  и  $4,47 \pm 0,08\%$  соответственно), что составляет 35 и 58% от суммы ОК в растениях. Меньшее количество наблюдается в горце щавелелистном (2,84%), однако процент от суммы ОК довольно большой и составил 63%. Присутствие муравьиной и щавелевой кислот в столь высоких количествах объясняет появление незначительного раздражения при контакте сока растений с поверхностью кожи, что необходимо учитывать при заготовке сырья.

Лимонная и яблочная кислоты в большем количестве находятся в водной форме горца земноводного (0,72% и 0,66% соответственно), при этом содержание яблочной кислоты на 50%, а лимонной на 70% выше, чем в наземной форме этого вида (0,28%

и 0,2% соответственно). Следует отметить, что лимонная кислота неравномерно распределяется в пределах, выделенных в роде видов горца. Содержание лимонной кислоты в траве горца малого на 50% меньше (0,12%), чем в траве горца перечного (0,25%), примерно одинаково в траве горца щавелелистного (0,28%) и горца войлочного (0,2%), что на 65% выше, чем в горце почечуйном (0,07%). Яблочная кислота играет важную роль в метаболической активности клеток и способствует получению организмом АТФ, поддерживает иммунную систему, является хелатором токсичных металлов. Фармацевтической промышленностью выпускается ряд препаратов, содержащих яблочную кислоту, относящихся к группе метаболиков, регидратирующих средств (Стерофундин изотонический), заменителей плазмы (Ионехес), антисептиков (Ацербин)<sup>7</sup>.

Янтарная кислота в малом количестве достоверно обнаружена в наземной форме горца земноводного (0,067%) и, предположительно, является маркерным компонентом для данного вида, так как в остальных видах ее содержание менее предела обнаружения прибора. Янтарная кислота является важным эндогенным внутриклеточным метаболитом цикла Кребса, выполняющим в клетках организма универсальную энергосинтезирующую функцию. На основе янтарной и аскорбиновой кислот, потенцирующих действие друг друга, фармацевтической промышленностью выпускается БАД «Янтавит», обладающая общетонизирующим, ангиопротективным, метаболическим, антигипоксическим, антиоксидантным свойствами<sup>8</sup>.

Пропионовая кислота в большем количестве характерна для горца щавелелистного (0,22%), а молочная – для горца малого (0,29%).

Количество винной кислоты в траве наземной формы горца земноводного почти в 2 раза выше (2,15%), чем в водной форме (1,79%); в остальных растениях количество винной кислоты низкое. В пределах горцев щавелелистного и войлочного ее содержание сходно. Горец почечуйный содержит винную кислоту в количестве меньше предела обнаружения прибора, что может являться особенностью растения и также выступать дополнительным хемотаксономическим признаком сырья.

Такие ОК, как фумаровая, бензойная, сорбиновая присутствуют в растительном сырье горцев в незначительных количествах. Содержание уксусной кислоты ничтожно мало, ниже предельной возможности прибора, что может быть связано с частичной потерей вещества в результате пробоподготовки (уксусная кислота и некоторые другие относятся к классу летучих ОК).

Таким образом проведенное исследование позволило установить качественный состав и количественное содержание ОК в траве видов рода горец и выявить перспективность использования данной группы растений в качестве дополнительных источников важных для жизнедеятельности организма соединений.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые проведено сравнительное изучение ОК в траве растений рода горец. С помощью фармакопейных методик установлено количественное содержание суммы ОК в пересчете на яблочную и АСК в изучаемых видах. Установлено, что наиболее близким по количественному содержанию данных соединений к горцу почечуйному является горец щавелелистный.

Методом капиллярного электрофореза изучен полный состав ОК и установлено их количественное содержание. Несмотря на близкородственность видов рода горец, выявлена неоднородность в качественном и количественном составе ОК изучаемых растений. Показано преобладание щавелевой, муравьиной и яблочной кислот во всех изучаемых видах рода горец. Наибольшее количество органических кислот характерно для горцев перечного и наземной формы горца земноводного. Выявлено, что для ряда *Amphibiae* характерным признаком является большее содержание, чем в других изучаемых видах, яблочной и винной кислот. Янтарная кислота выступает идентификационным соединением наземной формы горца земноводного. Ввиду наличия большого количества муравьиной кислоты в траве горцев перечного, малого и наземной формы земноводного, рекомендовано использование средств индивидуальной защиты при работе с данными объектами во избежание раздражения кожи. На основании проведенного исследования высказано предположение возможного генетического родства между горцами перечным и наземной формой горца земноводного. В процессе эксперимента не установлено зависимости между содержанием щавелевой кислоты, частотой встречаемости и размером друз оксалата кальция. Щавелевая кислота в изучаемых объектах содержится в основном в свободном виде и незначительная ее часть в виде солей кальция и других соединений.

В результате проведенного исследования показано, что изучаемые виды рода горец являются перспективными источниками ОК. Полученные данные могут быть использованы в фармацевтическом анализе при проведении стандартизации растительного сырья. Информация о качественном составе и количественном содержании отдельных компонентов профиля ОК в изучаемых видах позволит скорректировать нормы потребления лекарственных растительных препаратов на их основе.

<sup>7</sup> Регистр лекарственных средств России: справочник лекарственных препаратов. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rlsnet.ru>.

<sup>8</sup> Там же.

**ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА**

Данное исследование не имело какой-либо финансовой поддержки от сторонних организаций.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**ВКЛАД АВТОРОВ**

А.С. Чистякова – сбор литературных данных, проведение эксперимента, интерпретация результатов, подготовка черновика рукописи; А.А. Гудкова – планирование исследования, заготовка и сушка растительного материала, проведение эксперимента, обработка полученных результатов, подготовка рукописи, участие в разработке концепции и дизайна исследования; А.И. Сливкин – утверждение для публикации рукописи, проверка критически важного интеллектуального содержания; Е.Е. Чупандина – выполнение экспериментальной части работы, обсуждение результатов.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

- Kumar V., Sharma A., Bhardwaj R. Analysis of organic acids of tricarboxylic acid cycle in plants using GC-MS, and system modeling // J. Anal. Sci. Technol. – 2017. – Vol. 8, No.20. DOI: 10.1186/s40543-017-0129-6.
- Osmolovskaya N., Vu D.V., Kuchaeva L. The role of organic acids in heavy metal tolerance in plants // Biological Communications. – 2018. – Vol. 63, No.1. – P. 9–16. DOI: 10.21638/spbu03.2018.103.
- Badea G.I., Radu G.L. Introductory Chapter: Carboxylic Acids – Key Role in Life Sciences. IntechOpen: London, UK, 2018. – 94 p. DOI: 10.5772/intechopen.770214.
- Федотова В.В., Охремчук А.В., Челомбитько В.А. Изучение органических кислот золотарника кавказского (*Solidago caucasica* Kem.-Nath.) и черноголовника многообращного (*Poterium polygamum* Waldst. & Kit.) // Научные ведомости БелГУ. Сер. Медицина. Фармация. – 2012. – №16(135), вып.19. – С. 173–175.
- Тринева О.В., Сливкин А.И., Воропаева С.С. Определение органических кислот в листьях крапивы двудомной // Вестник ВГУ, Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2013. – № 2. – С. 215–219.
- Бубенчикова В.Н., Старчак Ю.А. Карбоновые кислоты травы тимьяна мелового (*Thymus cretaceus* Klok. et Schost.) // Фармация и фармакология. – 2014. – Т. 5, №6. – С. 4–7. DOI: 10.19163/2307-9266-2014-2-5(6)-4-7.
- Варданян Р.Л., Варданян Л.Р., Айрапетян С.А., Арутюнян Л.Р., Арутюнян Р.С. Антиоксидантное и проантиоксидантное действие аскорбиновой кислоты // Химия растительного сырья. – 2015. – №1. – С. 113–119. DOI: 10.14258/jcprpm.201501295.
- Руденко О.С., Кондратьев Н.Б., Осипов М.В., Белова И.А., Лаврухин М.А. Оценка химического состава фруктового сырья по содержанию органических кислот и макроэлементов // Вестник ВГУИТ. – 2020. – Т. 82, № 2. – С. 146–153. DOI: 10.20914/2310-1202-2020-2-146-153.
- Магомедова З.М. Фитохимическое исследование лекарственного растительного сырья на содержание органических кислот // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. – 2020. – Т. 14, № 3. – С. 26–30. DOI: 10.31161/1995-0675-2020-14-3-26-30.
- Шестакова Г.Ю., Гудкова А.А., Чистякова А.С., Агафонов В.А. Органические кислоты синюхи голубой // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2021. – Т. 1, № 138. – С. 85–91. DOI: 10.36305/0513-1634-2021-138-85-91.
- Oproshanska T., Khvorost O. Potentiometric determination of organic acids in the medicinal plant raw material // Synthesis and Analysis of Biologically Active Substances. – 2021. – No.1 (101). DOI: 10.24959/nphj.21.42.
- Nafees M., Jaskani M.J, Ahmad I.M., Ashraf I., Maqsood A., Ahmar S., Muhammad A.M., Hussain S., Hanif A., Chen J.-T. Biochemical Analysis of Organic Acids and Soluble Sugars in Wild and Cultivated Pomegranate Germplasm Based in Pakistan // Plants. – 2020. – Vol. 9, No.4. – P. 493. DOI:10.3390/plants9040493.
- Sukontaprapun B., Charoenkiatkul S., Thiyajai P., Sukprasansap M., Saetang P., Judprasong K. Key Organic Acids in Indigenous Plants in Thailand // Americ. J. of Plant Sci. – 2019. – Vol. 10. – P. 1855–1870. DOI: 10.4236/ajps.2019.1010131.
- Марахова А.И., Жилкина В.Ю., Сергунова Е.В., Сорокина А.А., Станишевский Я.М., Хачатурян М.А. Изучение качественного и количественного содержания органических кислот в витаминных сборах разными физико-химическими методами // Известия Академии наук. Серия Химическая. – 2016. – № 11. – С. 2779–2782.
- Баханова М.В., Анцупова Т.П. Особенности элементного состава и содержания органических кислот у яблони годной // Химия растительного сырья. – 2018. – №1. – С. 211–215. DOI: 10.14258/jcprpm.2018011912.
- Chatterjee S.S., Kumar V. Quantitative Systems Pharmacology: Lessons from Fumaric acid and Herbal Remedies // Drug Des. – 2017. – Vol. 6. – Art. No.1000152. DOI: 10.4172/2169-0138.1000152.
- Боков Д.О., Малинкин А.Д., Самылина И.А., Бессонов В.В. Определение органических кислот в пищевых продуктах и лекарственном растительном сырье // Сборник материалов школы молодых ученых «Основы здорового питания и пути профилактики алиментарно-зависимых заболеваний», г. Москва, 23–25 ноября 2016. – С. 29–34.
- Hassannejad S., Ghafarbi S. A Taxonomic Revision of Genus *Polygonum* L. sensu lato (*Polygonaceae*) for Flora of Iran // Annual Research & Review in Biology. – 2017. – Vol. 14, No.4. – P. 1–5. DOI: 10.9734/ARRB/2017/27339.
- Высочина Г.И. Фенольные соединения в систематике и филогении семейства гречишные (*Polygonaceae* Juss.). Сообщ. VI. Род кноррингия – *Knorringia* (Chukav.) Tzvel. // Turczaninowia. – 2014. – Т. 17, № 1. – С. 33–41. DOI: 10.14258/turczaninowia.17.1.4.
- Вагабова Ф.А., Гасанов Р.З., Рамазанова А.Р., Курамагомедов М.К. Изменчивость суммарного содержания флавоноидов и антиоксидантной активности надземных органов *Persicaria maculata* (Rafin) флоры Дагестана // Известия Дагестанского государственного педа-

- гогического университета. Сер. Естественные и точные науки. – 2011. – № 4. – С. 34–38.
21. Лукша Е.А. Биологическая активность видов *Persicaria* и *Polygonum (Polygonaceae)* флоры Сибири // Растительные ресурсы. – 2015. – Т. 51, №4. – С. 611–619.
  22. Мальцева А.А., Чистякова А.С., Сорокина А.А., Сливкин А.И., Логунова С.А. Количественное определение флавоноидов в траве горца почечуйного // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2013. – № 2. – С. 199–202.
  23. Куркина А.В. Стандартизация сырья горца почечуйного (*Polygonum persicaria* L.) // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10. – С. 1485–1489.
  24. Перова И.Б., Эллер К.И., Мальцева А.А., Чистякова А.С., Сливкин А.И., Сорокина А.А. Флавоноиды травы горца почечуйного // Фармация. – 2017. – Т. 66, № 2. – С. 15–19.
  25. Лукша Е.А., Погодин И.С., Иванова Е.В. Оценка содержания фитоменадиона в надземной части растений семейства гречишные флоры Сибири // Бутлеровские сообщения. – 2015. – Т. 41, №3. – С. 103–108.
  26. Shiraliyeva G. *Persicaria* Species in Flora of Azerbaijan and Etnobiology of their Use // Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. – 2017. – Vol. 6, No.1. – P. 527–531. DOI: 10.20546/ijcmas.2017.601.063.
  27. Sergunova E.V., Sorokina A.A., Bokov D.O., Marakhova A.I. Qualitative and quantitative determination of organic acids in crude herbal drugs and medicinal herbal preparations for quality control in Russian Federation by modern physicochemical methods // Pharmacog. J. – 2019. – Vol. 11, Issue 5. – P. 1132–1137. DOI: 10.5530/pj.2019.11.176.
  28. Truică (Badea) G., Teodor E.D., Radu G.L. Organic acids assessments in medicinal plants by capillary electrophoresis // Revue Roumaine de Chimie. – 2013. – Vol. 58, No.9–10. – P. 809–814.
  29. Sochorova L., Torokova L., Baron M., Sochor J. Electrochemical and others techniques for the determination of malic acid and tartaric acid in must and wine // Int. J. Electrochem. Sci. – 2018. – No.13. – P. 9145–9165. DOI: 10.20964/2018.09.20.
  30. Зипаев Д.В., Никитченко Н.В., Платонов И.А. Определение органических кислот методом капиллярного электрофореза в сырье пивного напитка с тритикале // Пиво и напитки. – 2017. – № 1. – С. 44–47.
  31. Хомов Ю.А., Фомин А.Н. Капиллярный электрофорез как высокоэффективный аналитический метод (обзор литературы) // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=6775>.
  32. Морзунова Т.Г. Капиллярный электрофорез в фармацевтическом анализе (обзор) // Химико-фармацевтический журнал. – 2006. – Т. 40, № 3. – С. 39–52.

## АВТОРЫ

**Чистякова Анна Сергеевна** – кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры фармацевтической химии и фармацевтической технологии, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» Министерства науки и высшего образования РФ. ORCID ID: 0000-0002-8291-9904. E-mail: [anna081189@yandex.ru](mailto:anna081189@yandex.ru)

**Гудкова Алевтина Алексеевна** – доктор фармацевтических наук, доцент, доцент кафедры фармацевтической химии и фармацевтической технологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» Министерства науки и высшего образования РФ. ORCID ID: 0000-0002-1275-5000. E-mail: [alinevoroneg@mail.ru](mailto:alinevoroneg@mail.ru)

**Сливкин Алексей Иванович** – доктор фармацевтических наук, профессор, заведующий кафедрой фармацевтической химии и фармацевтической технологии, фармацевтический факультет, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» Министерства науки и высшего образования РФ. ORCID ID: 0000-0001-6934-0837. E-mail: [slivkin@pharm.vsu.ru](mailto:slivkin@pharm.vsu.ru)

**Чупандина Елена Евгеньевна** – доктор фармацевтических наук, профессор, заведующий кафедрой управления и экономики фармации, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» Министерства науки и высшего образования РФ. ORCID ID: 0000-0003-2310-4198. E-mail: [chupandina@vsu.ru](mailto:chupandina@vsu.ru)