

МИНЕРАЛЬНЫЙ И АМИНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ РОДА *GERANIUM* L. ФЛОРЫ ПРИБАЙКАЛЬЯ

В.М. Минович¹, Е.Г. Привалова¹, Е.П. Чебыкин^{2, 3}, Л.В. Дударева⁴

Для цитирования: Минович В.М., Привалова Е.Г., Чебыкин Е.П., Дударева Л.В. Минеральный и аминокислотный состав растений рода *Geranium* L. флоры Прибайкалья. *Аспирантский вестник Поволжья*. 2025;25(4):XX-XX. DOI: <https://doi.org/10.35693/AVP689917>

¹ФГБОУ ВО «Иркутский государственный медицинский университет» Минздрава России (Иркутск, Российская Федерация)

²ФГБУН Лимнологический институт СО РАН (Иркутск, Российская Федерация)

³ФГБУН Институт земной коры СО РАН (Иркутск, Российская Федерация)

⁴ФГБУН Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН (Иркутск, Российская Федерация)

■ Сведения об авторах

Минович В.М. – д-р фарм. наук, профессор, заведующая кафедрой фармакогнозии и фармацевтической технологии.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2092-1547> E-mail: mirko02@yandex.ru

*Привалова Елена Геннадьевна – канд. фарм. наук, доцент, доцент кафедры фармакогнозии и фармацевтической технологии.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9878-1372> E-mail: eleprivalova@yandex.ru

Чебыкин Е.П. – канд. хим. наук, старший научный сотрудник; научный сотрудник. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7588-3886>

E-mail: epcheb@yandex.ru

Дударева Л.В. – канд. биол. наук, заведующая лабораторией физико-химических методов исследований.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1185-7467> E-mail: lviss12@gmail.com

*Автор для переписки

Получено: 26.08.2025

Одобрено: 20.10.2025

Опубликовано: 22.11.2025

■ Аннотация

Цель – провести исследование компонентного состава элементов и аминокислот в надземной части трех видов рода *Geranium* L., произрастающих в Прибайкалье.

Материал и методы. Надземные части растений *Geranium wlassovianum* Fisch., *G. eriostemon* Fisch., *G. pratense* L. собирали в период цветения в южных районах Иркутской области. Элементный состав исследовали после озоления навесок сырья (0,030 г) методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500 се. Аминокислоты исследовали после гидролиза извлечений на анализаторе Amino Acid Analyzer AAA 339 M (Mikrotechna, Чехия).

Результаты. В трех видах рода *Geranium* установлено содержание 54 элементов, в том числе эссенциальных. Отмечается высокое содержание марганца в *G. wlassovianum* 39 мг/г, в *G. eriostemon* 66 мг/г, в *G. pratense* 43 мг/г. В составе аминокислот идентифицировано 23 аминокислоты. Превалирующими аминокислотами явились у *G. wlassovianum* и *G. pratense* – глютаминовая кислота (5,94 и 11,32 мг/г соответственно), *G. eriostemon* – глютамин (4,06 мг/г), идентифицированный только в этом виде. Также отмечается высокое содержание в *G. wlassovianum* кислот аспарагиновой и цистеиновой (4,44 и 2,00 мг/г), *G. eriostemon* – глютаминовой кислоты и фенилаланина (3,61 и 2,90 мг/г соответственно), *G. pratense* – аспарагиновой кислоты и лейцина (6,96 и 6,22 мг/г соответственно).

Выводы. Проведенный анализ показал присутствие в надземных органах видов *Geranium wlassovianum*, *G. eriostemon*, *G. pratense* флоры Прибайкальского региона элементов и аминокислот, которые участвуют в обеспечении нормального функционирования желудочно-кишечного тракта и мочеполовой системы.

■ **Ключевые слова:** *Geranium wlassovianum*, *G. eriostemon*, *G. pratense*, элементы, аминокислоты.

■ **Конфликт интересов:** не заявлен.

MINERAL COMPOSITION AND AMINO ACIDS OF PLANTS OF THE GENUS *GERANIUM* L. OF THE BAIKAL REGION FLORA

Vera M. Mirovich¹, Elena G. Privalova¹, Evgenii P. Chebykin^{2, 3}, Lyubov V. Dudareva⁴

¹Irkutsk State Medical University (Irkutsk, Russian Federation)

²Limnological Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Irkutsk, Russian Federation)

³Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Irkutsk, Russian Federation)

⁴Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry of the Russian Academy of Sciences (Irkutsk, Russian Federation)

Citation: Mirovich VM, Privalova EG, Chebykin EP, Dudareva LV. Mineral composition and amino acids of plants of the genus *Geranium* L. of the Baikal region flora. *Aspirantskiy vestnik Povolzh'ya*. 2025;25(4):XX-XX. DOI: <https://doi.org/10.35693/AVP689917>

■ Information about authors

Vera M. Mirovich – Dr. Sci. (Pharmacy), Professor, Head of the Department of Pharmacognosy and Pharmaceutical Technology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2092-1547> E-mail: mirko02@yandex.ru

*Elena G. Privalova – Cand. Sci. (Pharmacy), Associate professor, Associate professor of the Department of Pharmacognosy and Pharmaceutical Technology. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9878-1372> E-mail: eleprivalova@yandex.ru

Evgenii P. Chebykin – Cand. Sci. (Chemistry), Senior researcher; Researcher. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7588-3886>

E-mail: epcheb@yandex.ru

Lyubov V. Dudareva – Cand. Sci. (Biology), Head of the Laboratory of Physical and Chemical Research Methods.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1185-7467> E-mail: lviss12@gmail.com

*Corresponding Author

Received: 26.08.2025

Accepted: 20.10.2025

Published: 22.11.2025

Abstract

Aim – to study the component composition of elements and amino acids in three species of the genus *Geranium* L. growing in the Baikal region.

Material and methods. The above-ground organs of *Geranium wlassovianum* Fisch., *G. eriostemon* Fisch., *G. pratense* L. were collected during the flowering period in the southern regions of the Irkutsk region. The elemental composition was studied after the ashing of the raw material samples (0.030 g) using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) on an Agilent 7500 ce quadrupole mass spectrometer. Amino acids were analyzed after hydrolysis using the Amino Acid Analyzer AAA 339 M (Mikrotechna, Czech Republic).

Results. The three species of the genus *Geranium* contain 54 elements, including essential ones. There is a high content of manganese in *G. wlassovianum* 39 mg/g, in *G. eriostemon* 66 mg/g, in *G. pratense* 43 mg/g. 23 amino acids have been identified in the composition of amino acids. The predominant amino acids were glutamic acid (5.94 and 11.32 mg/g, respectively) in *G. wlassovianum* and *G. pratense*, and glutamine (4.06 mg/g), which was identified only in this species. *G. wlassovianum* also contained high levels of aspartic and cysteine acids (4.44 and 2.00 mg/g, respectively), *G. eriostemon* contains high levels of glutamic acid and phenylalanine (3.61 and 2.90 mg/g, respectively), and *G. pratense* contains high levels of aspartic acid and leucine (6.96 and 6.22 mg/g, respectively).

Conclusion. The analysis showed the presence in the above-ground organs of the species *Geranium wlassovianum*, *G. eriostemon*, *G. pratense* of the flora of the Baikal region of elements and amino acids that are involved in ensuring the normal functioning of the gastrointestinal tract and the genitourinary system.

Keywords: *Geranium wlassovianum*, *G. eriostemon*, *G. pratense*, elements, amino acids.

Conflict of Interest: nothing to disclose.

ВВЕДЕНИЕ

Растений рода *Geranium* L. семейства *Geraniaceae* в мировой флоре встречается более 300 видов [1]. Многие виды применяются в традиционной медицине как гемостатические средства при желудочных, гинекологических кровотечениях, при заболеваниях желудочно-кишечного тракта, при нервных расстройствах [2, 3]. В эксперименте показано проявление антиоксидантного, кровоостанавливающего, противоракового, противовоспалительного, антимикробного, противовирусного, противодиабетического действия суммарных препаратов и отдельных биологически активных веществ [4, 5]. Для растений рода *Geranium* L. свойственно накапливать фенольные соединения – флавоноиды, фенолкарбоновые кислоты, дубильные вещества [2, 6]. Отмечается присутствие во многих видах флавоноидов производных кверцетина, мирицетина, изорамнетина, кемпферола, характерно накопление галловой кислоты и ее эфиров [3, 5]. В Прибайкальском регионе Центральной Сибири встречается 10 видов растений рода *Geranium* L. Применяются в народной, тибетской медицине *Geranium wlassovianum* Fisch., *G. eriostemon* Fisch., *G. pratense* L.

Растения накапливают в химическом составе не только органические соединения, но и минеральные вещества и могут быть дополнительным источником отдельных элементов. Растения содержат элементы в легкоусвояемой для организма человека форме [7, 8]. Отмечается усиление проявления эффекта биологически активных веществ растений в комплексе с минеральными веществами [9].

Высокая биологическая активность элементов проявляется при использовании некоторых лекарственных растений. Водоросль ламинария японская богата йодом и используется для лечения и профилактики тиреотоксикоза [10]. Ранозаживляющие и антисептические свойства

сфагнума могут быть связаны в том числе с минеральным составом [11]. Кровоостанавливающее действие лагохилуса опьяняющего связано с высоким содержанием кальция [12]. Применение в ряде стран горца птичьего для лечения легочных заболеваний определяется высоким содержанием кремния [13].

Таким образом, широкий спектр фармакологического действия растительных средств определяется за счет не только содержания разных групп биологически активных веществ, но и минерального состава.

ЦЕЛЬ

Провести исследование минерального и аминокислотного состава в надземной части трех видов рода *Geranium*, произрастающих в Прибайкалье.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Образцы сырья (надземная часть) видов *Geranium wlassovianum* Fisch., *G. eriostemon* Fisch., *G. pratense* L. были собраны в фазу цветения в южных районах Иркутской области в 2023 году. Сырье сушили в тени в проветриваемом помещении до влажности 10%. Видовая принадлежность определена канд. биол. наук Г.И. Бочаровой.

Исследование минерального состава проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500 ce. Для этого в образцах сырья массой 0,03 г (точная навеска) проводили мокрое озоление кислотой азотной 72% и перекисью водорода 30% при нагревании в ультразвуковой ванне (80–100°C) последовательно по 30 минут. После добавления воды очищенные растворы центрифугировали. В качестве внутреннего стандарта к 1,8 мл надосадочной жидкости прибавляли по 40 мкл рабочего раствора индия (In = 1283 ppb, приготовлен из стандартного

Таблица 1 / Table 1

Значения ошибок определения содержания элементов
Values of errors in determining the content of elements

Содержание элементов в сырье, мг/кг	< 0,0003	< 0,0003-0,03	0,03-0,3	> 0,3
Значение RSD, %	> 25	25-10	10-5	5

раствора In = 989 ppm фирмы Fluka Analytic, Швейцария). Концентрация In в измеряемых растворах составляла 30 ppb. Так же поступали при приготовлении холостых проб. Предварительная калибровка прибора проводилась с применением стандартов ICP-MS-68A-A, ICP-MS-68A-B, (HIGH-PURITY STANDARDS, USA). Анализ проводился при n=5, результаты подвергали статистической обработке и рассчитывали RSD % (таблица 1). Описание методики изложено в статье [14].

Исследование состава аминокислот проводили на анализаторе Amino Acid Analyzer AAA 339 M (Mikrotechna, Чехия). Детектирование аминокислот осуществляли при длинах волн 570 нм и 440 нм. Извлечение получали путем исчерпывающего экстрагирования горячей водой сырья, последующего фильтрования и упаривания в вакууме досуха. Выпаренный остаток растворяли в натриево-цитратном буфере (pH 2,2). Нерастворившуюся часть отделяли на центрифуге в течение 30 минут со скоростью 20 тыс. об/мин. Связанные аминокислоты определяли после кислотного гидролиза. Для этого к 25 мг сухого остатка прибавляли 4 мл 6 М раствора кислоты хлористоводородной и проводили гидролиз смеси при температуре 105°C в течение 24 часов. Гидролизат охлаждали и упаривали досуха, остаток промывали водой и снова упаривали, затем растворяли в 5 мл натрий-цитратного буфера (pH 2,2). Анализ аминокислот проводили в Li⁺-цикле. В качестве стандарта использовали стандартные аминокислоты фирмы Sigma. Для количественной оценки определяли площади пиков идентифицированных аминокислот. Расчет осуществляли в нмоль/г и в мг/г.

Для выделенных соединений провели компьютерное прогнозирование с применением отечественной программы PASS (на платформе way2drug) – метод in silico, – которая позволяет на основе структурной формулы в определенном формате рассчитать прогноз проявления видов биологической активности. Результат представляется в виде Pa (быть активной, или be active) и Pi (быть не активной, или be inactive). Пороговым значением нами выбран уровень Pa≥0,300 (при условии Pa<Pi) [15].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В трех образцах сырья видов рода *Geranium* идентифицировано по 54 элемента в каждом (таблица 2). Распределение макро- и микроэлементов произведено по классификации, принятой для растений [16].

Отмечается наиболее высокое содержание кальция, магния, хлора и серы в надземных органах *G. wlassovianum*, калия и фосфора у *G. eriostemon*, натрия у *G. pratense*. По содержанию элементов кальция, магния, калия в надземной части *G. pratense* из Прибайкальского региона сопоставимо

Таблица 2 / Table 2

Содержание элементов в надземной части растений рода *Geranium*
Content of elements in the above-ground part of *Geranium* genus

Элемент	<i>G. wlassovianum</i>	<i>G. eriostemon</i>	<i>G. pratense</i>
Макроэлементы			
K	23000	32000	21000
Na	20000	19000	21000
Ca	19000	13000	14000
Mg	3800	1800	2100
Cl	6600	2300	1500
P	5900	7800	6000
S	2200	1600	1500
Fe	89	68	76
Микро- и ультрамикроэлементы			
Br	6,3	33	20
Mn	39	66	43
Cu	11	12	12
Zn	32	41	26
Ba	38	100	110
Sr	110	69	68
Si	2300	2000	1900
Микро- и ультрамикроэлементы, x 10 ⁻⁵			
Mo	21	230	140
Cr	43	66	18
I	59	63	98
Co	0,005	3,8	3,1
Se	4,3	3	0,065
Li	11	5,3	35
B	2400	3400	2600
V	12	14	10
Al	5000	5500	4900
Sc	16	18	14
Ti	20000	28000	21000
Ni	220	170	190
Ga	5	6,4	5,3
Rb	1100	730	2000
Y	3,2	17	3
Zr	99	40	120
Nb	0,6	0,77	0,35
Ag	0,49	0,45	1,2
Cd	10	0,99	11
Sn	4,1	0,1	5,2
Sb	0,02	0,02	7,6
Cs	0,83	0,91	1
La	18	14	22
Ce	13	80	12
Pr	0,74	5,3	0,74
Nd	3,4	28	4,9
Sm	0,6	2,3	0,52
Eu	0,64	0,79	0,8
Gd	0,64	3,6	0,62
Tb	0,092	0,39	0,069
Dy	0,43	1,9	0,53
Ho	0,05	0,18	0,049
W	1,1	2,8	1,6
Tl	0,2	0,17	0,077
Pb	130	32	110
Bi	2	0,41	0,34
Th	0,87	0,99	0,91
U	0,37	0,12	0,26
As	0,79	1,8	0,81

Таблица 3 / Table 3

Ряды концентраций физиологически значимых элементов
Concentration series of physiologically significant elements

Растение	Ряды химических элементов		
	Макроэлементы	Эссенциальные	Условно эссенциальные
<i>G. wlassovianum</i>	K > Na > Ca > Cl > P > Mg > S	Fe > Mn > Zn > Cu > Mo > Cr > I > Co > Se	Si > Br > B > Ni > Li > V
<i>G. eriostemon</i>	K > Na > Ca > P > Cl > Mg > S	Fe > Mn > Zn > Cu > Cr > I > Co > Mo > Se	Si > Br > B > Ni > Li > V
<i>G. pratense</i>	K = Na > Ca > P > Mg > Cl = S	Fe > Mn > Zn > Cu > Mo > Cr > I > Co > Se	Si > B > Br > Ni > Li > V

с надземной частью *G. pratense* из Ленинградской области, при этом отмечается более высокое содержание в образцах сырья из Прибайкалья марганца (43 мг/кг), цинка (26 мг/кг), меди (12 мг/кг) [17]. Превалируют по содержанию микро- и ультрамикроэлементов, являющихся эссенциальными: железа и селена – *G. wlassovianum*, марганца, цинка, молибдена, кобальта, хрома – *G. eriostemon*, йода – *G. pratense*. Отмечается, что содержание токсичных элементов – кадмия, свинца, ртути, мышьяка – не превышало уровней предельно допустимых концентраций¹.

Содержание макроэлементов в исследуемых видах образуют ряды K ≥ Na > Ca, меньше всего содержится серы. При этом во всех изучаемых растениях установлено присутствие 9 эссенциальных и 6 условно эссенциальных элементов (таблица 3).

Минеральные вещества в организме необходимы для поддержания нормального химического баланса. Анализ полученных результатов показал, что изучаемые растения содержат элементы, необходимые для улучшения функционирования желудочно-кишечного тракта

Таблица 4 / Table 4

Состав и содержание аминокислот в надземной части растений рода *Geranium**
Composition and amino acid content in the above-ground part of *Geranium* genus*

Аминокислоты	Содержание в мг/г		
	<i>G. wlassovianum</i>	<i>G. eriostemon</i>	<i>G. pratense</i>
Аланин	1,63	1,18	4,53
Аргинин***	1,15		2,78
Аспарагиновая Кислота	4,44	2,21	6,96
Валин**	1,49	1,66	3,25
Гамма-аминомасляная кислота	0,60	–	0,94
Гистидин***	1,00	0,62	2,37
3- метил-гистидин	0,36	1,32	1,25
Глицин	1,41	1,31	3,25
Глутамин	–	4,06	–
Глутаминовая кислота	5,94	3,61	11,32
Изолейцин**	1,14	1,56	2,81
Лейцин**	1,96	2,83	6,22
Лизин**	1,64	0,90	4,50
Метионин**	0,50	0,28	0,71
Орнитин	0,37	2,14	0,78
Пролин	1,04	2,69	4,07
Серин	1,4	0,99	4,08
Таурин	0,67	–	1,12
Тирозин	1,05	1,33	2,55
Треонин**	1,46	1,03	3,74
Фенилаланин**	1,50	2,90	4,54
Цистеин	0,71	0,86	1,41
Цистеиновая кислота	2,00	–	0,72
Сумма аминокислот в том числе:	33,46	33,48	73,9
Незаменимых	11,84	11,78	31,19
Заменимых	21,62	21,70	42,71

Примечания: * – среднее значение 3-х определений; ** – незаменимые аминокислоты для взрослых и детей; *** – незаменимые аминокислоты для детей.

¹ Государственная фармакопея Российской Федерации XV издание. 2023. Доступно по: <https://femb.ru/record/pharmacopea15>

и органов мочеполовой системы, в том числе принимающих в этом опосредованное участие [18].

Натрий принимает участие в поддержании постоянного осмотического давления и кислотно-основного равновесия (pH) в организме, участвует в активизации пищеварительных ферментов, в образовании желудочного сока, регулирует выделение почками продуктов обмена веществ, активирует ферменты слюнных желез и поджелудочной железы. Калий и натрий нормализуют водно-солевой обмен в организме, таким образом, что они регулируют процессы потребления, распределения и выделения воды и солей, обеспечивают постоянство объема жидкостей, способствуют устранению отеков, калий необходим для нормального функционирования мягких тканей, в том числе клеток печени и почек. Хлор участвует в регуляции водно-солевого обмена, в работе желудочно-кишечного тракта. Железо участвует в транспорте и депонировании кислорода с гемоглобином и миоглобином, принимает непосредственное участие в функционировании иммунной системы, при тяжелой железодефицитной анемии может наблюдаться атрофия слизистой оболочки полости рта, глотки и пищевода (синдром Пламмера – Винсона) [18].

Марганец присутствует в почках, является составляющим ферментом антиоксидантной защиты и частью металлоферментов, в частности, аргиназы, которая участвует в цикле мочевинообразования. Цинк участвует в обеспечении репаративных процессов, в том числе кишечного эпителия, обеспечивает общий гормональный статус организма, является составной частью инсулина и положительно влияет на его секрецию, является незаменимым металлокомпонентом свыше 40 ферментных систем, в частности, карбоксипептидазы, катализирующей фермент пепсин. Медь содержится в клетках печени, усиливает действие инсулина и обладает инсулиноподобным действием, способствует образованию гликогена в печени, обеспечивает улучшение всасывания железа в кишечнике, ускоряет вывод воды из организма, не увеличивая выход хлоридов. Селен накапливается в печени, почках, поджелудочной железе, повышает иммунитет организма и является сильным антиоксидантом, снижает воспалительные процессы, способствует стимуляции обменных процессов в организме, снижает токсичность вредных элементов (ртути, платины, свинца) [19].

В надземных органах изучаемых растений состав аминокислот исследовали методом жидкостной ионообменной хроматографии (таблица 4).

В представителях рода *Geranium* обнаружено 23 аминокислоты. Для всех исследуемых видов 18 являются общими – аланин, аспарагиновая кислота, валин, гистидин, 3-метилгистидин, глицин, глутаминовая кислота, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, орнитин, пролин, серин, тирозин, треонин, фенилаланин и цистеин. Из них 7 незаменимы для детей и взрослых – валин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, треонин, фенилаланин, а также одна аминокислота гистидин, которая незаменима для детского возраста. Превалирующими аминокислотами явились: у *G. wlassovianum* и *G. pratense* – глутаминовая кислота (5,94 и 11,32 мг/г соответственно), *G. eriostemon* – глутамин

(4,06 мг/г), идентифицированный только в этом виде. Также отмечается высокое содержание в *G. wlassovianum* кислот аспарагиновой и цистеиновой (4,44 и 2,00 мг/г), *G. eriostemon* – глутаминовой кислоты и фенилаланина (3,61 и 2,90 мг/г соответственно), *G. pratense* – аспарагиновой кислоты и лейцина (6,96 и 6,22 мг/г соответственно).

По данным К.Н. Разареновой и соавт., при анализе представителей рода *Geranium*, произрастающих в Ленинградской области, установлено содержание в *G. pratense* 20 аминокислот, в *G. sylvaticum* и *G. palustre* по 19 аминокислот. В *G. pratense* среди обнаруженных аминокислот 10 незаменимых [20]. По нашим данным, в надземных органах *G. pratense* из Прибайкальского региона преобладают в сумме аминокислот глутаминовая кислота, лейцин, лизин, пролин, серин, аспарагиновая кислота. Данные аминокислоты являются преобладающими в *G. pratense* из Ленинградской области, что указывает на общность их биохимических процессов.

По нашим данным, содержание суммы аминокислот в изученных видах рода *Geraniaceae* составляет от 33,48 до 73,9 мг/г (максимальное у *G. pratense*). Доля незаменимых аминокислот составляет от 35,18 до 42,21% (больше всего – в *G. pratense* – 31,19 мг/г) (таблица 4). Данные виды могут выступать как дополнительные источники аспарагиновой, глутаминовой, цистеиновой кислот, глутамина и незаменимой аминокислоты фенилаланина, а также орнитина. Присутствующие в изучаемых растениях аминокислоты способны вносить свой вклад в общий фармакологический эффект.

Аспарагиновая кислота укрепляет организм и повышает работоспособность, играет важнейшую роль в обмене азотистых веществ – участвует в деактивации аммиака, помогает печени выводить из организма остаточные элементы токсинов. Глутамин участвует в переносе азота в печень и другие органы, является важным энергетическим субстратом для клеток печени, эпителиальных клеток тонкой кишки и иммунных клеток, защищает стенку желудка [21]. Глутаминовая кислота является нейромедиатором, участвует в белковом и углеводном обмене, обезвреживает аммиак, участвует в синтезе нуклеиновых кислот, способна превращаться в некоторые незаменимые аминокислоты – гистидин и аргинин. Лейцин участвует в биосинтезе гемоглобина, регулирует уровень сахара в крови, активирует эндокринную систему, применяется для лечения болезней печени. Цистеиновая кислота способствует пищеварению, участвуя в процессах переаминирования, обладает антиоксидантным, детоксикационным, гепатотропным, иммуномодулирующим эффектом, является предшественником глутатиона. Лизин снижает уровень «плохого» холестерина и сахара в крови. Фенилаланин в организме может превращаться в тирозин, уменьшает боль, подавляет аппетит, участвует в производстве мочевины в организме человека (связывает аммиак и переносит его в почки для последующего выведения), улучшает работу печени и поджелудочной железы, является предшественником фенилпропаноидов [22].

На сегодняшний день компьютерные технологии рационально вписываются в научные исследования, связанные с разработкой новых лекарственных препаратов.

Метод *in silico* позволяет оптимизировать процесс подбора потенциально эффективных действующих веществ, а также обнаружить новые виды биологического действия. В настоящей работе для выделенных аминокислот мы провели прогнозирование биологической активности с использованием отечественной компьютерной программы PASS [22]. У незаменимых аминокислот рассчитаны следующие прогностические данные, превышающие принятый пороговый уровень, проявления противовоспалительной активности: глутаминовая кислота ($P_a=0,448$) > цистеиновая кислота ($P_a=0,349$); гепатопротекторной: фенилаланин ($P_a=0,332$) > лейцин ($P_a=0,430$) > аспарагиновая кислота ($P_a=0,507$) > глутамин ($P_a=0,515$) > цистеиновая кислота ($P_a=0,642$); диуретической и гемостатической: цистеиновая кислота ($P_a=0,356$ и $P_a=0,300$). Как видно, из незаменимых аминокислот, идентифицированных в надземных органах изучаемых видов *Geranium*, наибольший спектр фармакологической активности рассчитан для цистеиновой кислоты. Следует учитывать, что полученные прогностические данные требуют экспериментального подтверждения *in vivo*.

ВЫВОДЫ

В результате исследования установлено, что представители рода *Geranium* (*Geranium wlassovianum* Fischer., *G. eriostemon* Fischer., *G. pratense* L.) являются источниками 54 макро-, микро и ультрамикроэлементов, среди них имеются эссенциальные элементы – железо, марганец, цинк, медь молибден, хром, йод, селен. Отмечается высокое содержание марганца в *G. wlassovianum* 39 мг/г, в *G. eriostemon* 66 мг/г, в *G. pratense* 43 мг/г. Содержание тяжелых металлов и мышьяка не превышало требований во всех образцах сырья. В исследуемых видах рода *Geranium* идентифицировано 23 аминокислоты. Преобладающие аминокислоты в надземных органах *G. wlassovianum* и *G. pratense* – глутаминовая кислота (5,94 и 11,32 мг/г соответственно), *G. eriostemon* – глутамин (4,06 мг/г).

Проведенный анализ показал присутствие в надземных частях видов *Geranium wlassovianum*, *G. eriostemon*, *G. pratense* флоры Прибайкальского региона элементов и аминокислот, которые участвуют в обеспечении нормального функционирования желудочно-кишечного тракта и мочеполовой системы.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Wang J, Ye Q, Zhang T, et al. Palynological analysis of genus *Geranium* (*Geraniaceae*) and its systematic implications using scanning electron microscopy. *Caryologia*. 2021;74(3):31-43. DOI: [10.36253/caryologia-1109](https://doi.org/10.36253/caryologia-1109)
2. Siddikov DR, Bobakulov KhM, Nishanbaev SZ, Abdullaev ND. Phenolic compounds of the aerial part of *Geranium Charlesii* (AITCH. & HEMSL.) VVED. *Chemistry of Plant Raw Materials*. 2017;2:127-132. [Сиддиков Д.Р., Бобакулов Х.М., Нишанбаев С.З., Абдуллаев Н.Д. Фенольные соединения надземной части *Geranium Charlesii* (AITCH. & HEMSL.) VVED. *Химия растительного сырья*. 2017;2:127-132]. DOI: [10.14258/jcpm.2017021393](https://doi.org/10.14258/jcpm.2017021393)
3. Ilyina LP, Olennikov DN, Antsupova TP. Chemical Composition of *Geranium wlassovianum* (*Geraniaceae*). *Chemistry of Plant Raw Materials*. 2022;3:211-217. [Ильина Л.П., Оленников Д.Н., Анцупова Т.П. Химический состав *Geranium wlassovianum* (*Geraniaceae*). *Химия растительного сырья*. 2022;3:211-217]. DOI: [10.14258/jcpm.2022039789](https://doi.org/10.14258/jcpm.2022039789)
4. Numonov S, Edirs S, Bobakulov K, et al. Evaluation of the antidiabetic activity and chemical composition of *Geranium collinum* root extracts – Computational and experimental investigations. *Molecules*. 2017;22(6):983. DOI: [10.3390/molecules22060983](https://doi.org/10.3390/molecules22060983)
5. Graça VC, Ferreira IC, Santos PF. Phytochemical composition and biological activities of *Geranium robertianum* L.: A review. *Industrial Crops and Products*. 2016;87:363-378. DOI: [10.1016/j.indcrop.2016.04.058](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.058)
6. Pozdnyakova TA, Bubenichikov RA. Standardization of the raw materials of Siberian geranium *Geranium sibiricum* L. by the content of flavonoids. *Scientific Notes of Orel State University. Series: Natural, Technical and Medical Sciences*. 2013;3:288-291. (In Russ.). [Позднякова Т.А., Бубенчиков Р.А. Стандартизация сырья герани сибирской *Geranium sibiricum* L. по содержанию флавоноидов. *Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Естественные, технические и медицинские науки*. 2013;3:288-291].
7. Rybashlykova LP. Macro- and microelements in medicinal plants cultivated in the Astrakhan Region. *Issues of Biological, Medical, and Pharmaceutical Chemistry*. 2017;20(5):33-35. (In Russ.). [Рыбашлыкova Л.П. Макро-и микроэлементы в лекарственных растениях, культивируемых в Астраханской области. *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*. 2017;20(5):33-35].
8. Dyakova NA. Study of the Extraction of Macroelements from Medicinal Plant Raw Materials into Infusions and Decoctions. *Chemical and Pharmaceutical Journal*. 2022;56(12):47-52. (In Russ.). [Дьякова Н.А. Изучение особенностей извлечения макроэлементов из лекарственного растительного сырья в настои и отвары. *Химико-фармацевтический журнал*. 2022;56(12):47-52]. DOI: [10.30906/0023-1134-2022-56-12-47-52](https://doi.org/10.30906/0023-1134-2022-56-12-47-52)
9. Ivanova EV, Voronkova IP, Bondarenko AI, Tarenkova IV. Immunotropic effect of medicinal plants with different trace element compositions. *Russian Journal of Immunology*. 2021;24(2):331-336. [Иванова Е.В., Воронкова И.П., Бондаренко А.И., Таренкова И.В. Иммунотропный эффект лекарственных растений с различным микроэлементным составом. *Российский иммунологический журнал*. 2021;24(2): 331-336]. DOI: [10.46235/1028-7221-994-IEO](https://doi.org/10.46235/1028-7221-994-IEO)
10. Chernyavskaya IV, Chernyaeva AA, Dubovik VN, et al. New possibilities for the treatment of subclinical thyrotoxicosis in elderly patients: the place and role of herbal medicine. *Problems of Endocrine Pathology*. 2018;4:27-36. (In Russ.). [Чернявская И.В., Черняева А.А., Дубовик В.Н., и др. Новые возможности лечения субклинического тиреотоксикоза у пожилых пациентов: место и роль фитотерапии. *Проблемы эндокринной патологии*. 2018;4:27-36]. DOI: [10.21856/j-PEP.2018.4.03](https://doi.org/10.21856/j-PEP.2018.4.03)
11. Garaev IKh, Musin IN, Zenitova LA. Antiseptic bandages based on sphagnum. *Bulletin of Medical Science*. 2019;1(13):8-13. [Гараев И.Х., Мусин И.Н., Зенитова Л.А. Антисептические перевязочные материалы на основе сфагнума. *Бюллетень медицинской науки*. 2019;1(13):8-13].
12. Eshibaev AA, Aimenova ZE, Matchanov AD, Islamov AH. Results of a comparative study of the macro- and microelement composition of *Lagochilus inebrians* and *Lagochilus setulosus*. *Bulletin of KazNU. Biological Series*. 2015;64(2):12-19. [Ешибаев А.А., Айменова Ж.Е., Матчанов А.Д., Исламов А.Х. Результаты сравнительного исследования

- макро- и микроэлементного состава *Lagochilus inebrians* и *Lagochilus setulosus*. Вестник КазНУ. Серия биологическая. 2015;64(2):12-19. URL: <https://bb.kaznu.kz/index.php/biology/article/view/1058/1005>
13. Dyakova N.A. Investigation of Polygonum Aviculare Mineral Complex. *Traditional Medicine*. 2023;2(72):23-28. [Дьякова Н.А. Исследование минерального комплекса травы горца птичьего. *Традиционная медицина*. 2023;2(72):23-28]. DOI: [10.54296/18186173_2023_2_23](https://doi.org/10.54296/18186173_2023_2_23)
 14. Mirovich VM, Sokolova YaV, Chebykin EP. Investigation of the elemental composition of the aboveground organs of the motherwort (*Leonurus deminutus* V. Krecz.), native to Central Siberia. *Man and his health*. 2021;4:74-82. [Мирович В.М., Соколова Я.В., Чебыкин Е.П. Исследование элементного состава надземных органов пустырника уменьшенного (*Leonurus deminutus* V. Krecz.), произрастающего в Центральной Сибири. *Человек и его здоровье*. 2021;4:74-82]. DOI: [10.21626/vestnik/2021-4/10](https://doi.org/10.21626/vestnik/2021-4/10)
 15. Poroikov VV. Search for New Pharmacological Substances Based on Computer Prediction of Biological Activity Spectra. *Laboratory and Production*. 2021;1:72-80. [Поройков В.В. Поиск новых фармакологических веществ на основе компьютерного прогнозирования спектров биологической активности. *Лаборатория и производство*. 2021;1:72-80]. DOI: [10.32757/2619-0923.2021.1.16.72.80](https://doi.org/10.32757/2619-0923.2021.1.16.72.80)
 16. Nieder R, Benbi DK, Reichl FX. Macro- and Secondary Elements and Their Role in Human Health. In: *Soil Components and Human Health*. Dordrecht: Springer, 2018:257-315. DOI: [10.1007/978-94-024-1222-2_6](https://doi.org/10.1007/978-94-024-1222-2_6)
 17. Razarenova KN, Zhokhova EV, Belyaeva AI. Mineral composition of some species of the genus *Geranium*. *Plant Resources*. 2013;60(1):18-124. (In Russ.). [Разаренова К.Н., Жохова Е.В., Беляева А.И. Минеральный состав некоторых видов рода *Geranium*. Растительные ресурсы. 2013;60(1):18-124].
 18. Shchetinina SYu. The Importance of Minerals for Human Health. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2024;4(91):27-31. [Щетинина С.Ю. Значение минеральных веществ для здоровья человека. *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2024;4(91):27-31]. DOI: [10.24412/2500-1000-2024-4-4-27-31](https://doi.org/10.24412/2500-1000-2024-4-4-27-31)
 19. Novikov VS, Shustov EB. The Role of Minerals and Trace Elements in Maintaining Human Health. *Bulletin of Education and Science Development of the Russian Academy of Natural Sciences*. 2017;3:5-16. [Новиков В.С., Шустов Е.Б. Роль минеральных веществ и микроэлементов в сохранении здоровья человека. Вестник образования и развития науки Российской академии естественных наук. 2017;3:5-16]. DOI: [10.24412/2500-1000-2024-4-4-27-31](https://doi.org/10.24412/2500-1000-2024-4-4-27-31)
 20. Razarenova KN, Zakharova AM, Protasova ID, Zhokhova EV. Amino acid composition of the aerial part of *Geranium pratense* L., *Geranium sylvaticum* L., *Geranium palustre* L. *Butlerov Communications*. 2012;31(8):73-78. (In Russ.). [Разаренова К.Н., Захарова А.М., Протасова И.Д., Жохова Е.В. Аминокислотный состав надземной части *Geranium pratense* L., *Geranium sylvaticum* L., *Geranium palustre* L. *Бутлеровские сообщения*. 2012;31(8):73-78].
 21. Nosirova VM, Khuzhaev VU. Protein content and amino acid composition of *Asperugo procumbens*, a plant native to Uzbekistan. *Universum: chemistry and biology*. 2025;5(131):30-32. [Носирова В.М., Хужаев В.У. Содержание белка и состав аминокислот у растения *Asperugo procumbens*, произрастающего в Узбекистане. *Universum: химия и биология*. 2025;5(131):30-32]. DOI: [10.32743/UniChem.2025.131.5.19868](https://doi.org/10.32743/UniChem.2025.131.5.19868)
 22. Nabiev AA, Tagiev MM, Musaev FM. The Role of Wild Purslane Amino Acids in Nutrition, Depending on the Degree of Maturity. *Bulletin of Science*. 2025;6(87):2491-2503. (In Russ.). [Набиев А.А., Тагиев М.М., Мусаев Ф.М. Роль в питании аминокислот дикорастущего портулака в зависимости от степени зрелости. Вестник науки. 2025;6(87):2491-2503].

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ	ADDITIONAL INFORMATION
Источник финансирования. Работа выполнена по инициативе авторов без привлечения финансирования.	Study funding. The work was carried out on the initiative of the authors without attracting funding.
Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с содержанием настоящей статьи.	Conflict of interests. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the content of this article.
Участие авторов. Мирович В.М. – разработка концепции исследования и руководство исследованием на всех его этапах. Привалова Е.Г., Чебыкин Е.П., Дударева Л.В. – непосредственное проведение исследований. Все авторы одобрили финальную версию статьи перед публикацией, выразили согласие нести ответственность за все аспекты работы, подразумевающую надлежащее изучение и решение вопросов, связанных с точностью или добросовестностью любой части работы.	Contribution of individual authors. Mirovich V.M.: development of the research concept and management of research at all its stages. Privalova E.G., Chebykin E.P., Dudareva L.V.: direct research. All authors gave their final approval of the manuscript for submission, and agreed to be accountable for all aspects of the work, implying proper study and resolution of issues related to the accuracy or integrity of any part of the work.
Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).	Statement of originality. No previously published material (text, images, or data) was used in this work.
Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима.	Data availability statement. The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work.
Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.	Generative AI. No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.
Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали 2 внешних рецензента.	Provenance and peer review. This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved 2 external reviewers.