

УДК 581.192:582.734.4

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ НА АККУМУЛЯЦИЮ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В РАСТЕНИЯХ *POTENTILLA ANSERINA* L.

© Л.В. Афанасьева\*, Т.А. Аюшина, Ю.А. Рупышев

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, ул. Сахьяновой,  
6, Улан-Удэ, 670047, Россия, [afanl@mail.ru](mailto:afanl@mail.ru)

Традиционно используемые в народной медицине растения требуют комплексного изучения для их возможного внедрения в современную медицинскую практику. *Potentilla anserina* L. широко используется в восточной медицине благодаря своим противовоспалительным, спазмолитическим, желчегонным и иммуномодулирующим свойствам. Изучение ее элементного профиля имеет важное значение при оценке терапевтического потенциала. Проведенные исследования показали, что 24 из 28 изученных химических элементов накапливаются в органах растения по базипетальному типу, а Р, Mg, S и Li – по акропетальному. Выявлена значительная вариабельность содержания макро- и микроэлементов (коэффициенты вариации 10–90%) в растениях в зависимости от условий произрастания, причем в корнях диапазон концентраций большинства элементов был выше, чем в надземной части. Отмечено, что в зоне субаквальной разгрузки термальных вод растения отличаются максимальными концентрациями Na, S, Sr, Li, Zn (вблизи выхода высокотемпературных грифонов) и W, Mo, Cu (вблизи выхода низкотемпературных грифонов). Такая избирательность в поглощении и транспорте элементов может свидетельствовать о высокой адаптивной способности минерального обмена *P. anserina*, позволяющей виду успешно произрастать в различных экологических условиях. Значительные концентрации эссенциальных микроэлементов Fe, Mn, Co, Cr в надземной части растений делают этот вид перспективным для профилактики и коррекции их дефицита.

**Ключевые слова:** *Potentilla anserina* L., макро- и микроэлементы, Кучигерские гидротермы, коэффициент транслокации.

---

**Для цитирования:** Афанасьева Л.В., Аюшина Т.А., Рупышев Ю.А. Влияние условий произрастания на аккумуляцию макро- и микроэлементов в растениях *Potentilla anserina* L. // Химия растительного сырья. 2025. №4. С. 252–260. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250417259>.

---

### Введение

В современном ботаническом ресурсоведении особое внимание уделяется исследованию растений, которые длительное время применяются в нетрадиционных практиках, но не входят в официальные фармакопейные списки. Эти растения представляют собой ценный ресурс, который необходимо всесторонне изучить для их возможной интеграции в современную медицину. Одним из перспективных видов, фитомассу которого можно рассматривать в качестве нового лекарственного сырья, является лапчатка гусиная (*Potentilla anserina* L.), травянистое растение семейства розоцветных (*Rosaceae*). Она широко распространена в умеренном поясе в Европе, Средней Азии, Сибири и на Дальнем Востоке (<https://www.plantarium.ru/page/view/item/29886.html>) и находит применение в различных народных и медицинских системах. Так, в тибетской и монгольской медицине трава *P. anserina* применяется в качестве гипотензивного, противовоспалительного, спазмолитического и желчегонного средства, а экстракты из корней используют для лечения заболеваний желудочно-кишечного тракта [1, 2]. Кроме того, богатые крахмалом и аминокислотами корни *P. anserina* употребляют в пищу [3]. В китайской медицине растение применяют для лечения гепатита, почечной недостаточности и в качестве иммуномодулятора [4, 5]. В России в народной медицине отвар травы используют в качестве противосудорожного, кровоостанавливающего, антисептического, вяжущего и мочегонного средства [6]. В Германии из травы *P. anserina* производят фармацевтические препараты для гинекологической практики [7].

---

\* Автор, с которым следует вести переписку.

Многочисленные исследования биохимического состава растений *P. anserina* свидетельствуют о преобладании фенольных соединений (флавоноиды, катехины, эллагитаннины, фенольные кислоты) во вторичном метаболизме надземных органов растений [8–15]. Эти соединения проявляют поливалентную биологическую активность, включая противовоспалительное, антиоксидантное и антибактериальное действие, при этом доминирующим компонентом фенольного профиля является эллаготаннин агримонин, демонстрирующий выраженные адаптогенные свойства и противоопухолевую активность [16]. В траве также присутствуют кумарины и полисахариды [17–19], в составе эфирного масла преобладают гексадекановая кислота и фитол [20]. В подземных органах *P. anserina* идентифицирован комплекс биологически активных соединений, среди которых преобладают конденсированные танины, тритерпеноиды (производные урсановой и олеаноловой кислот), фитостеролы, жирные кислоты, а также алифатические углеводороды и спирты [21]. При этом проведенные фармакологические исследования экстрактов различных морфологических частей растения *P. anserina* подтвердили их терапевтический потенциал, проявляющийся в кардиопротекторном, спазмолитическом, иммуномодулирующем, противовирусном действии [14, 17, 21, 22].

Анализ научных публикаций свидетельствует о недостаточной изученности элементного состава *P. anserina* [23–25], что представляется существенным пробелом, учитывая важную роль макро- и микроэлементов в формировании фармакологического эффекта биологически активных соединений. Их количественное соотношение и химическая форма существенно влияют на терапевтические свойства фитокомплексов, определяя эффективность взаимодействия с биологическими мишенями. Особое значение имеет способность элементов изменять конформацию активных молекул, регулируя их аффинность к рецепторам и ферментативным системам. Многие лекарственные растения демонстрируют выраженную способность к аккумуляции различных химических элементов, что также обуславливает необходимость изучения их элементного профиля [26, 27]. Такие исследования важны для оценки качества растительного сырья и определения его терапевтического потенциала, а также разработки средств для профилактики и коррекции метаболических нарушений. В связи с этим цель данного исследования – изучение элементного состава *P. anserina*, произрастающей в различных фитоценологических условиях на территории Республики Бурятия.

### Экспериментальная часть

Объектом исследования служили растения *P. anserina*. Это моноподиально-розеточное стержнепридаточнокорневое растение со стелющимися столонами, достигающими в длину 80–100 см. Листья с 4–10 парами листочков. Корневая система смешанного типа. Корни, обладая контрактильной способностью, втягивают розеточный побег в почву, в результате чего образуется короткое ортотропное эпигеогенное корневище. Вид характеризуется морфологической, анатомической и физиологической пластичностью, что позволяет ему произрастать в разнообразных экологических условиях: растения часто встречаются на пойменных, суходольных, солонцеватых лугах с разной степенью заболоченности, по берегам водоемов, в разреженных лесных сообществах, на пустырях [28].

Сбор растений *P. anserina* осуществлялся в середине вегетационного периода (начало июля) на ключевых участках (КУ), заложенных на территории Кучигерского термального источника в Курумканском районе, а также в окрестностях оз. Белое в Иволгинском районе Республики Бурятия по общепринятым методикам. Их краткая характеристика приведена в таблице 1. Образцы были определены Ю.А. Рупышевым. Гербарные образцы хранятся в коллекции Института общей и экспериментальной биологии СО РАН (Улан-Удэ). Следует отметить, что территории с выходами на поверхность термальных вод представляют собой специфические геохимические ландшафты, где процессы рельефообразования сопровождаются химическим и термальным воздействием [29], что делает их интересными объектами для изучения взаимосвязи между почвенными характеристиками и аккумуляцией элементов в растениях.

На каждом КУ методом квадрата отбирали надземные и подземные части 20–25 растений. Корни очищали от видимых примесей, промывали в проточной, а затем в дистиллированной воде. Одновременно отбирали образцы почвы в корнеобитаемом горизонте (0–30 см). В лабораторных условиях образцы высушивали, после чего измельчали и просеивали. Далее растительные образцы минерализовали в муфельной печи при 450 °С, золу растворяли в 0.1 М азотной кислоте. Для разложения почвенных образцов использовалась смесь фтористоводородной, хлорной и азотной кислот (ГОСТ ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98). Анализ элементов проводили методом атомно-эмиссионной спектроскопии на SPECTRO ARCOS (Германия) в аккредитованной лаборатории (аттестат № РОСС RU.0001.511112), относительная ошибка метода не превышала

5–10%. Влажность почвенных образцов определяли весовым методом, актуальную кислотность (pH) – потенциометрически в водных вытяжках при соотношении почва : вода 1 : 2.5 [30].

Для оценки эффективности транспорта элементов из подземных органов в надземные использовали коэффициент транслокации (TF):

$$TF = \frac{C_{\text{трава}}}{C_{\text{корни}}},$$

где  $C_{\text{трава}}$  – концентрация элемента в надземной части растения, мг/кг сухого вещества;  $C_{\text{корни}}$  – концентрация элемента в подземной части растения, мг/кг сухого вещества. Если  $TF > 1$ , то растение является аккумулятором по отношению к данному элементу,  $TF < 1$  – исключением.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием стандартных методов и пакета Statistica 8.0. Для оценки достоверности различий средних значений исследуемых элементов между КУ использовали непараметрический критерий Краскела-Уоллиса.

### Обсуждение результатов

В результате анализа элементного состава *P. anserina* отмечена выраженная аккумуляция макро- и микроэлементов в корнях растений ( $TF < 1$ ), что отражает существование эффективных механизмов селективного барьера в корневой системе, регулирующих транспорт ионов в надземные органы (табл. 2). Подобная стратегия распределения элементов, по-видимому, представляет собой важный адаптационный механизм, обеспечивающий экологическую пластичность вида и возможность произрастания в различных геохимических условиях. Исключение составили P, Mg, S и Li, для которых характерен акропетальный тип распределения с коэффициентами транслокации, варьирующими в зависимости от условий произрастания: P ( $TF = 1.1–2.0$ ), Mg ( $TF = 1.1–3.4$ ), S ( $TF = 1.2–3.7$ ) и Li ( $TF = 1.1–4.8$ ). Причем если аккумуляцию P, Mg и S в надземных органах можно объяснить их ключевой ролью в основных метаболических процессах (энергетический обмен, фотосинтез, синтез аминокислот и т.д.), то причины транспорта Li, демонстрирующего максимальный коэффициент транслокации, остаются пока неясными. Хотя химическое сходство ионов  $Li^+$  (0.076 нм) и  $Mg^{2+}$  (0.072 нм) позволяет предположить их конкуренцию за общие транспортные системы (CorA-подобные белки, TRPM6/TRPM7 – неселективные каналы, пропускающие  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  и  $Li^+$ , SLC41  $Mg^{2+}$ -транспортёры), более высокие показатели аккумуляции Li свидетельствуют о возможном существовании специфических Li-транспортирующих систем или особой физиологической роли этого элемента у *P. anserina*. Кроме того,  $Li^+$  может проникать в клетку через  $Na^+/H^+$ -экспортер (NHE), мембранные натриевые каналы (ENaC),  $K^+$ -селективные каналы заменяя  $Na^+$  и  $K^+$  при транспорте [31]. Известно, что Li, несмотря на широкую распространенность в земной коре, слабо мигрирует в биосфере, и большинство растений накапливает его в незначительных количествах ( $< 0.1$  мг/г). Вместе с тем некоторые представители семейства розоцветных, пасленовых и лютиковых являются облигатными концентраторами этого элемента: его уровень в надземной фитомассе может достигать 1.9–2.9 мг/г [27]. Современные исследования выявили значимую роль лития в физиологии растений, включая регуляцию биосинтеза алкалоидов, азотного и водного обмена, при этом растения-концентраторы Li довольно широко используются в терапии аффективных расстройств [27, 32]. Интересно, что терапевтический эффект  $Li^+$  связан с его уникальной способностью конкурировать с основными электролитами ( $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ) и, замещая их в клетках, вызывать гиперполяризацию клеточных мембран, предохраняя клетки от чрезмерного перевозбуждения [27, 33, 34]. В этом плане *P. anserina*, демонстрирующая гипераккумулирующую способность – содержание Li в ее тканях почти в три раза превышает показатели известных концентраторов *Datura innoxia* Mill. и *Comarum palustre* L. [27] – может стать перспективным объектом для изучения механизмов накопления лития и разработки новых фитопрепаратов с нормотимическим действием. Отсутствие у исследованных образцов *P. anserina* характерных симптомов токсичности лития, включая снижение тургора, угнетение фотосинтетической активности и ингибирование ростовых процессов [35], свидетельствует о выраженной литийфильности вида. Эти данные указывают на наличие у *P. anserina* адаптационных механизмов, обеспечивающих детоксикацию ионов Li и поддержание физиологических функций даже при значительном накоплении элемента в растительных тканях.

Таблица 1. Краткая характеристика ключевых участков

Ключевые участки (КУ)	Краткая характеристика сообщества
КУ-1	Республика Бурятия, Курумканский р-н, д. Кучигер. КУ расположен на борту диапирового вала высотой около 0.5 м в болотном массиве в зоне разгрузки горячих термальных вод в районе старых лечебных бань. <i>P. anserina</i> образует монодоминантные локусы, относящиеся к ассоциации <i>Puccinellio tenuiflorae-Potentilletum anserinae halerpestosum sarmentosae</i> Hilbig 2009. Почва перегнойно-глеевая, рН <sub>вод</sub> 0–30 см слоя – 5.1, влажность – 66.1%.
КУ-2	Республика Бурятия, Курумканский р-н, д. Кучигер. КУ расположен на борту диапирового вала высотой около 1 м в зоне разгрузки холодных термальных вод с выраженными грифонами. <i>P. anserina</i> формирует монодоминантные локусы, относящиеся к ассоциации <i>Puccinellio tenuiflorae-Potentilletum anserinae halerpestosum sarmentosae</i> Hilbig 2009. Почва торфяно-глеевая, рН – 8.3, влажность – 37.2%.
КУ-3	Республика Бурятия, Курумканский р-н, д. Кучигер. КУ расположен на бортовой части диапирового вала (1.5–2.0 м), прилегающей к болоту. <i>P. anserina</i> формирует монодоминантные локусы, относящиеся к ассоциации <i>Puccinellio tenuiflorae-Potentilletum anserinae halerpestosum sarmentosae</i> Hilbig 2009 на торфяно-глеевых почвах. рН – 5.7, влажность – 22.9%.
КУ-4	Республика Бурятия, Курумканский р-н, д. Кучигер. КУ расположен в центральной части аллювиальной равнины р. Индихэн. <i>P. anserina</i> содоминирует в луговых сообществах, относящихся к ассоциации <i>Puccinellio tenuiflorae-Potentilletum anserinae halerpestosum sarmentosae</i> Hilbig 2009 на темно-гумусово-глеевых засоленных почвах. рН – 8.2, влажность – 13.3%.
КУ-5	Республика Бурятия, Иволгинский р-н, с. Оронгой. КУ расположен в прибрежной части оз. Белое. <i>P. anserina</i> содоминирует в луговых сообществах, относящихся к ассоциации <i>Puccinellio tenuiflorae-Potentilletum anserinae halerpestosum sarmentosae</i> Hilbig 2009 на увлажненных торфяно-глеевых засоленных почвах. рН – 7.4, влажность – 58.1%.

Таблица 2. Содержание макро- и микроэлементов в надземных и подземных частях *Potentilla anserina* L.

Элемент	КУ-1	КУ-2	КУ-3	КУ-4	КУ-5	$\frac{Cv^{**} \text{ трава, \%}}{Cv \text{ корни, \%}}$	Суточная потребность, мг/сутки [34]
<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
Макроэлементы							
Ca	9182 <sup>a*</sup> 11738 <sup>c</sup>	8947 <sup>a</sup> 16928 <sup>a</sup>	7301 <sup>b</sup> 13942 <sup>b</sup>	10099 <sup>a</sup> 13888 <sup>b</sup>	6863 <sup>b</sup> 11200 <sup>c</sup>	16 17	1250
Na	8901 <sup>a</sup> 11560 <sup>a</sup>	6496 <sup>b</sup> 10954 <sup>a</sup>	4087 <sup>c</sup> 4811 <sup>c</sup>	3954 <sup>c</sup> 5809 <sup>b</sup>	3643 <sup>c</sup> 4254 <sup>c</sup>	42 42	1100
P	3332 <sup>a</sup> 2408 <sup>a</sup>	2713 <sup>a</sup> 2575 <sup>a</sup>	2607 <sup>a</sup> 1311 <sup>b</sup>	3298 <sup>a</sup> 2531 <sup>a</sup>	2975 <sup>a</sup> 2152 <sup>a</sup>	11 24	800
K	2939 <sup>a</sup> 3333 <sup>b</sup>	2157 <sup>b</sup> 5352 <sup>a</sup>	2059 <sup>b</sup> 2232 <sup>c</sup>	2831 <sup>a</sup> 4089 <sup>b</sup>	2525 <sup>ab</sup> 2876 <sup>bc</sup>	17 34	2500
Mg	2956 <sup>a</sup> 1831 <sup>b</sup>	2632 <sup>a</sup> 2436 <sup>a</sup>	2294 <sup>a</sup> 679 <sup>c</sup>	2448 <sup>a</sup> 1827 <sup>b</sup>	2546 <sup>a</sup> 1680 <sup>b</sup>	10 38	400
S	3350 <sup>a</sup> 2241 <sup>a</sup>	2077 <sup>b</sup> 1500 <sup>b</sup>	2495 <sup>b</sup> 683 <sup>d</sup>	1969 <sup>b</sup> 1599 <sup>b</sup>	2412 <sup>b</sup> 2120 <sup>a</sup>	22 38	600
Микроэлементы							
Al	140 <sup>c</sup> 283 <sup>d</sup>	339 <sup>b</sup> 414 <sup>c</sup>	698 <sup>a</sup> 710 <sup>b</sup>	742 <sup>a</sup> 998 <sup>a</sup>	198 <sup>c</sup> 344 <sup>cd</sup>	48 54	–
Fe	139 <sup>c</sup> 455 <sup>d</sup>	215 <sup>b</sup> 1641 <sup>b</sup>	282 <sup>b</sup> 499 <sup>d</sup>	632 <sup>a</sup> 2260 <sup>a</sup>	151 <sup>c</sup> 620 <sup>c</sup>	72 74	10
Mn	212 <sup>a</sup> 90.7 <sup>c</sup>	51.8 <sup>c</sup> 207 <sup>a</sup>	205 <sup>a</sup> 99.2 <sup>c</sup>	97.2 <sup>b</sup> 126 <sup>b</sup>	58.7 <sup>c</sup> 117 <sup>b</sup>	63 36	2.5
Sr	264 <sup>a</sup> 293 <sup>a</sup>	109 <sup>c</sup> 279 <sup>a</sup>	83.5 <sup>d</sup> 92.8 <sup>c</sup>	87.7 <sup>d</sup> 109	147 <sup>b</sup> 168 <sup>b</sup>	54 50	–
Zn	54.1 <sup>a</sup> 71.1 <sup>a</sup>	42.2 <sup>b</sup> 62.4 <sup>b</sup>	42.1 <sup>b</sup> 65.8 <sup>b</sup>	40.7 <sup>b</sup> 44.3 <sup>c</sup>	28.7 <sup>c</sup> 36.5 <sup>c</sup>	22 28	12
Ba	18.4 <sup>c</sup> 23.1 <sup>b</sup>	20.3 <sup>c</sup> 24.1 <sup>b</sup>	28.1 <sup>b</sup> 36.2 <sup>a</sup>	34.7 <sup>a</sup> 37.8 <sup>a</sup>	21.5 <sup>c</sup> 28.5 <sup>ab</sup>	18 20	–
As	0.03 <sup>c</sup> 0.05 <sup>c</sup>	0.23 <sup>b</sup> 0.34 <sup>b</sup>	0.28 <sup>ab</sup> 0.46 <sup>ab</sup>	0.32 <sup>a</sup> 0.58 <sup>a</sup>	0.24 <sup>b</sup> 0.52 <sup>a</sup>	50 54	–
Ti	9.25 <sup>c</sup> 96 <sup>c</sup>	12.4 <sup>b</sup> 105 <sup>c</sup>	26.5 <sup>a</sup> 171 <sup>a</sup>	30.9 <sup>a</sup> 142 <sup>b</sup>	15.1 <sup>b</sup> 98.4 <sup>c</sup>	49 25	–
Li	17.3 <sup>a</sup> 5.87 <sup>a</sup>	5.01 <sup>c</sup> 4.64 <sup>b</sup>	6.61 <sup>bc</sup> 1.37 <sup>c</sup>	7.40 <sup>b</sup> 4.07 <sup>b</sup>	7.02 <sup>b</sup> 3.64 <sup>b</sup>	57 36	0.01

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
Pb	<u>0.18<sup>a</sup></u> 0.52 <sup>b</sup>	<u>0.15<sup>b</sup></u> 1.16 <sup>a</sup>	<u>0.18<sup>a</sup></u> 0.52 <sup>b</sup>	<u>0.17<sup>a</sup></u> 1.17 <sup>a</sup>	<u>0.16<sup>ab</sup></u> 1.02 <sup>a</sup>	<u>11</u> 38	–
Cu	<u>5.12<sup>b</sup></u> 9.07 <sup>b</sup>	<u>7.56<sup>a</sup></u> 15.21 <sup>a</sup>	<u>5.43<sup>b</sup></u> 8.46 <sup>b</sup>	<u>6.63<sup>ab</sup></u> 7.75 <sup>c</sup>	<u>3.74<sup>c</sup></u> 5.89 <sup>d</sup>	<u>27</u> 38	1.5
Cr	<u>0.82<sup>b</sup></u> 1.07 <sup>b</sup>	<u>1.81<sup>a</sup></u> 3.66 <sup>a</sup>	<u>2.04<sup>a</sup></u> 3.14 <sup>a</sup>	<u>1.99<sup>a</sup></u> 2.91 <sup>a</sup>	<u>0.91<sup>c</sup></u> 1.12 <sup>b</sup>	<u>47</u> 51	0.05
Ni	<u>1.23<sup>c</sup></u> 1.70 <sup>c</sup>	<u>1.48<sup>b</sup></u> 2.63 <sup>b</sup>	<u>2.86<sup>a</sup></u> 3.07 <sup>a</sup>	<u>1.52<sup>b</sup></u> 3.05 <sup>a</sup>	<u>0.68<sup>d</sup></u> 1.24 <sup>d</sup>	<u>52</u> 38	–
V	<u>0.18<sup>d</sup></u> 6.11 <sup>d</sup>	<u>0.42<sup>c</sup></u> 10.9 <sup>b</sup>	<u>0.79<sup>b</sup></u> 16.9 <sup>a</sup>	<u>1.17<sup>a</sup></u> 18.1 <sup>a</sup>	<u>0.34<sup>c</sup></u> 8.8 <sup>c</sup>	<u>68</u> 43	–
Ce	<u>0.18<sup>d</sup></u> 0.51 <sup>d</sup>	<u>0.43<sup>b</sup></u> 3.85 <sup>a</sup>	<u>0.55<sup>ab</sup></u> 2.06 <sup>b</sup>	<u>0.68<sup>a</sup></u> 3.41 <sup>a</sup>	<u>0.30<sup>c</sup></u> 1.28 <sup>c</sup>	<u>46</u> 63	–
La	<u>0.19<sup>c</sup></u> 0.46 <sup>d</sup>	<u>0.39<sup>ab</sup></u> 2.57 <sup>a</sup>	<u>0.44<sup>a</sup></u> 1.42 <sup>c</sup>	<u>0.49<sup>a</sup></u> 2.32 <sup>a</sup>	<u>0.34<sup>b</sup></u> 1.82 <sup>b</sup>	<u>31</u> 53	–
Mo	<u>0.78<sup>b</sup></u> 1.62 <sup>b</sup>	<u>1.21<sup>a</sup></u> 3.68 <sup>a</sup>	<u>0.32<sup>d</sup></u> 0.53 <sup>c</sup>	<u>0.50<sup>c</sup></u> 1.76 <sup>b</sup>	<u>0.41<sup>d</sup></u> 1.64 <sup>b</sup>	<u>56</u> 62	0.05
W	<u>0.46<sup>b</sup></u> 2.81 <sup>c</sup>	<u>0.72<sup>a</sup></u> 4.28 <sup>a</sup>	<u>0.28<sup>c</sup></u> 1.94 <sup>d</sup>	<u>0.41<sup>b</sup></u> 3.69 <sup>b</sup>	<u>0.36<sup>c</sup></u> 3.34 <sup>b</sup>	<u>37</u> 28	–
Co	<u>0.05<sup>d</sup></u> 0.49 <sup>d</sup>	<u>0.04<sup>d</sup></u> 0.71 <sup>c</sup>	<u>0.34<sup>a</sup></u> 1.56 <sup>a</sup>	<u>0.17<sup>b</sup></u> 1.06 <sup>b</sup>	<u>0.09<sup>c</sup></u> 1.34 <sup>a</sup>	<u>90</u> 42	0.01
Cd	<u>0.06<sup>a</sup></u> 0.07 <sup>ab</sup>	<u>0.04<sup>b</sup></u> 0.07 <sup>ab</sup>	<u>0.06<sup>a</sup></u> 0.08 <sup>a</sup>	<u>0.04<sup>b</sup></u> 0.07 <sup>ab</sup>	<u>0.04<sup>b</sup></u> 0.06 <sup>b</sup>	<u>28</u> 13	–
Sc	<u>0.05<sup>c</sup></u> 0.07 <sup>d</sup>	<u>0.05<sup>c</sup></u> 0.49 <sup>a</sup>	<u>0.10<sup>b</sup></u> 0.14 <sup>c</sup>	<u>0.15<sup>a</sup></u> 0.41 <sup>b</sup>	<u>0.16<sup>a</sup></u> 0.37 <sup>b</sup>	<u>53</u> 63	–
Y	<u>0.05<sup>c</sup></u> 0.09 <sup>d</sup>	<u>0.08<sup>b</sup></u> 0.76 <sup>a</sup>	<u>0.14<sup>a</sup></u> 0.36 <sup>c</sup>	<u>0.14<sup>a</sup></u> 0.67 <sup>b</sup>	<u>0.07<sup>b</sup></u> 0.44 <sup>c</sup>	<u>45</u> 57	–

Примечание: \* над чертой содержание элементов в надземной части растений, под чертой – в подземной. \*\*Cv – коэффициент вариации, %. Разные буквы в одном ряду указывают на статистически значимые различия между ключевыми участками ( $P < 0.05$ ), where  $a > b > c > d$ .

Распределение Mn также имеет отличительную особенность: на КУ-1 и КУ-3 отмечается акропетальный тип распределения с его преимущественным накоплением в надземных органах (в 2.1–2.3 раза выше по сравнению с корнями). Напротив, на КУ-2, КУ-4 и КУ-5 зафиксирован базипетальный тип распределения, при котором содержание элемента в корнях было в 1.3–4.0 раза выше, чем в вегетативной массе. При проведении корреляционного анализа обнаружено, что концентрация Mn в растениях зависела от кислотности почвенного раствора: на щелочных почвах (более засоленных) элемент аккумулируется в корнях ( $r=0.72$ ), на слабокислых – в вегетативных органах ( $r=-0.91$ ). Однако для точного установления причин такой вариативности требуются дополнительные исследования с расширенным набором почвенных параметров.

Анализ элементного состава *P. anserina* на разных ключевых участках показал существенные различия в накоплении макро- и микроэлементов, что подтверждается широким диапазоном коэффициентов вариации (Cv). В надземной фитомассе для концентраций Al, Mn, Sr, As, Ti, Li, Cr, Ni, Ce, Mo, Sc и Y установлен значительный уровень изменчивости (Cv = 45–64%), тогда как диапазон варьирования Ca, Na, K, P, Mg, S, Zn, Ba, Cu, Pb, La, W и Cd находился в пределах нормальных значений (Cv = 10–44%). Особенно высокая вариативность отмечена для Fe и V (Cv = 68–72%), а также Co (Cv = 90%). В корневой системе амплитуда колебаний концентраций P, K, Mg, S, Al, Fe, Zn, Pb, As, Cu, Cr, Ce, La, Mo, Sc, Y превышала показатели надземной фитомассы, что указывает на выраженную способность корней адаптировать минеральный состав в зависимости от почвенных условий.

Наиболее значимые изменения элементного состава наблюдались у растений в зоне высокотемпературных гидротерм по сравнению с условно-контрольной группой на аллювиальной равнине р. Индихэн: в надземных органах и корнях зафиксированы максимальные концентрации Na, S, Li, Sr, Zn, тогда как содержание Al, Fe, Ba, As, Ti, Cr, V, Ce, La, Co, Sc, Y было минимальным. На территории низкотемпературных грифонов растения отличались наиболее высокими концентрациями Cu, Mo, W. У растений, растущих в окрестностях оз. Белое, отмечен минимальный уровень Zn, Cu, Ni.

Статистический анализ выявил достоверные корреляционные связи между содержанием элементов в растениях *P. anserina* и их концентрацией в почвах: прямые для Al, Cd, Cr, Cu, Ti, V, Y ( $r = 0.58–0.84$ ,  $P=0.05$ )

и обратные – для Na, Sr ( $r = -0.62-0.78$ ,  $P=0.05$ ). Установлено также, что на аккумуляцию микроэлементов растениями *P. anserina* оказывают влияние такие почвенные показатели, как актуальная кислотность (pH) и влажность. Так, при увеличении кислотности почвенного раствора в надземной фитомассе повышается содержание Cd, Mn, Pb ( $r = 0.57-0.71$ ,  $P=0.05$ ), а при увеличении влажности почвы – S, Na, Li, Sr ( $r = 0.61-0.78$ ,  $P=0.05$ ). Корневая система *P. anserina* характеризуется большей чувствительностью к влажности почвы, чем к ее кислотности: корреляционный анализ выявил значимое снижение аккумуляции Al, Fe, Ni, Ti, V, Cr, Se и Y ( $r = 0.51-0.82$ ,  $P=0.05$ ) при повышении влажности, тогда как влияние pH на содержание элементов в корнях оказалось менее выраженным. Эти данные подчеркивают важную роль водного режима в регуляции минерального питания у данного вида.

При оценке возможности использования *P. anserina* для профилактики и коррекции микроэлементозов, установлено, что 100 г сухой травы может удовлетворить суточную потребность взрослого человека [36] в эссенциальных микроэлементах Fe (130–630%), Mn (203–840%), Co (50–200%), Cr (120–360%), Zn (20–45%) и Cu (20–33%). Особую ценность представляет высокое содержание элементов кроветворного комплекса (Fe, Mn, Co) и Cr, что позволяет рекомендовать данный вид для профилактики и коррекции дефицитных состояний этих элементов. При этом вариабельность содержания элементов в зависимости от места произрастания требует стандартизации сырья для медицинского применения. Важно отметить, что проанализированное сырье соответствует нормативам безопасности по содержанию токсичных элементов (Pb, As, Cd) [37], что подтверждает его пригодность для использования в лекарственных целях. Однако, учитывая высокое содержание Li в растительном сырье, необходимы дополнительные исследования его биодоступности, поскольку избыточные концентрации могут оказывать нейротоксическое (тремор, атаксия, когнитивные нарушения), нефротоксическое (дизурические расстройства) и тиреостатическое действие на организм человека [38].

### Заключение

Для большей части рассмотренных нами элементов отмечена выраженная их аккумуляция в корнях *P. anserina*, что отражает существование механизмов селективного барьера в корневой системе, регулирующих транспорт ионов в надземные органы. Акропетальный тип распределения установлен для P, Mg, S и Li, при этом в отношении Li *P. anserina* выступает гипераккумулятором. Избирательную аккумуляцию *P. anserina* проявляет по отношению к Mn, что указывает на наличие регуляторных механизмов, обеспечивающих адаптацию растений к гетерогенным условиям среды.

Наиболее выраженные изменения элементного состава растений отмечаются на территории разгрузки гидротерм: в месте выхода высокотемпературных гидротерм растения накапливают больше Na, S, Sr, Li, Zn; низкотемпературных гидротерм – W, Mo, Cu.

Учитывая высокую концентрацию Fe, Mn, Co и Cr в растениях *P. anserina*, они могут быть рекомендованы для профилактики и коррекции дефицитных состояний этих элементов.

### Финансирование

Исследования выполнены в рамках госзадания № 121030900138-8.

### Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

### Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

### Список литературы

1. Баторова С.М., Яковлев Г.П., Асеева Т.А. Справочник лекарственных растений традиционной тибетской медицины. Новосибирск, 2013. 292 с.
2. Ligaa U., Davaasuren B., Ninjil N. Medicinal plants of Mongolia used in Western and Eastern Medicine. Moscow, 2009. 378 p.
3. Jiao Y., He Q., Li X. Chen Y., Tian T., Cao L., Zhang Z. Genome-wide identification of starch metabolism gene families in *Potentilla anserina* and the expression pattern in response to abiotic stress factors // BMC Plant Biol. 2025. Vol. 25. 201. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06229-y>.

4. Chinese Pharmacopoeia Commission. Beijing, 2015. 4921 p.
5. Zhao Y.-L., Caia G.-M., Hong X., Shana L.-M., Xiao X.-H. Anti-hepatitis B virus activities of triterpenoid saponin compound from *Potentilla anserina* L. // *Phytomedicine*. 2008. Vol. 15. Pp. 253–258.
6. Дикорастущие полезные растения России / ред. А.Л. Буданцев, Е.Е. Лесиовская. СПб, 2001. 663 с.
7. Hiller K. *Potentilla hager's handbuch der pharmazeutischen praxis*. Berlin, 1994. Vol. 6. Pp. 254–269.
8. Morikawa T., Ninomiya K., Imura K., Yamaguchi T., Akagi Y., Yoshikawa M., Hayakawa T., Muraoka O. Hepato-protective triterpenes from traditional Tibetan medicine *Potentilla anserina* // *Phytochemistry*. 2014. Vol. 102. Pp. 169–181.
9. Mari A., Lyon D., Fagner L., Montoro P., Piacente S., Wienkoop S., Egelhofer V., Weckwerth W. Phytochemical composition of *Potentilla anserina* L. analyzed by an integrative GC-MS and LC-MS metabolomics platform // *Metabolomics*. 2013. Vol. 9. Pp. 599–607. <https://doi.org/10.1007/s11306-012-0473-x>.
10. Tomczyk M., Bazylo A., Staszewska A. Determination of polyphenolic in extracts of *Potentilla* species by high-performance thin-layer chromatography photodensitometry method // *Phytochemical analysis*. 2010. Vol. 21(2). Pp. 174–179. <https://doi.org/10.1002/pca.1174>.
11. Xu J.-F., Zheng X.-P., Liu W.-D., Du R.-F., Bi L.-F., Zhang P.-C. Flavonol glycosides and monoterpenoids from *Potentilla anserina* // *J. Asian Nat. Prod. Res.* 2010. Vol. 12. Pp. 529–534.
12. Kombal R., Glasl H. Flavan-3-ols and flavonoids from *Potentilla anserina* // *Planta Med.* 1995. Vol. 61 (5). Pp. 484–485. <https://doi.org/10.1055/s-2006-958146>.
13. Kovaleva A.M., Abdulkafarova E.R. Phenolic compounds from *Potentilla anserina* // *Chem. Nat. Compd.* 2011. Vol. 47. Pp. 446–447. <https://doi.org/10.1007/s10600-011-9957-6>.
14. Schimmer O., Lindenbaum M. Tannins with antimutagenic properties in the herb of *Alchemilla* species and *Potentilla anserina* // *Planta Med.* 1995. Vol. 61. Pp. 141–145.
15. Tomczyk M., Latté K.P. *Potentilla* – a review of its phytochemical and pharmacological profile // *Journal of ethnopharmacology*. 2009. Vol. 122. Pp. 184–204.
16. Olennikov D.N., Kashchenko N.I., Chirikova N.K., Kuz'mina S.S. Phenolic profile of *Potentilla anserina* L. (Rosaceae) herb of siberian origin and development of a rapid method for simultaneous determination of major phenolics in *P. anserina* pharmaceutical products by microcolumn RP-HPLC-UV // *Molecules*. 2015. Vol. 20(1). Pp. 224–248. <https://doi.org/10.3390/molecules20010224>.
17. Chen J.R., Yang Z.Q., Hu T.J., Yan Z.T., Niu T.X., Wang L., Cui D.A., Meng W. Immunomodulatory activity in vitro and in vivo of polysaccharide from *Potentilla anserina* // *Fitoterapia*. 2010. Vol. 81(8). Pp. 1117–1124.
18. Goncharov N.F., Kotov A.K. Coumarins, carotenoids, and  $\beta$ -sitosterol from the epigeal parts of some species of the genus *Potentilla* // *Chem. Nat. Compd.* 1991. Vol. 27. P. 752.
19. Wang J., Zhang J., Zhao B., Wang X., Wu Y., Yao J. A comparison study on microwave-assisted extraction of *Potentilla anserina* L. polysaccharides with conventional method: molecule weight and antioxidant activities evaluation // *Carbohydr. Polym.* 2010. Vol. 80. Pp. 84–93. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2009.10.073>.
20. Савельева Е.Е., Ефремов А.А., Краснов Е.А., Нарчуганов А.Н. Компонентный состав эфирного масла *Potentilla anserina* L. // *Химия растительного сырья*. 2014. №2. С. 111–114. <https://doi.org/10.14258/jcprm.1402111>.
21. Li J.Y., Li Y., Gong H.Y., Zhao X.B., Li L.Z. Protective effects of n-butanol extract of *Potentilla anserina* on acute myocardial ischemic injury in mice // *Chin. J. Integr. Med.* 2009. Vol. 7. Pp. 48–52.
22. Li L.-Z., Zhang L., Gong H.-Y., Li J.-Y., Chen Y., Zhang L., Zhu Y., Li G.-C., Zhao C. Anti-hypoxia and anti-oxidation effect of *Potentilla anserina* L. petroleum fraction and its mechanism // *Chin. Pharm. J.* 2006. Vol. 41. Pp. 1462–1464.
23. Краснов Е.А., Савельева Е.Е., Рыжакова Н.К., Решетов Я.Е., Гатауллина А.Р. Исследование содержания доминирующих групп БАВ и биоэлементов в некоторых растениях семейства Rosaceae // *Химия растительного сырья*. 2017. №4. С. 145–151. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2017041934>.
24. Пупыкина К.А., Денисова С.Г. Биохимический состав сырья некоторых представителей рода *Potentilla* L. коллекции Южно-Уральского ботанического сада-института УФИЦ РАН // *Химия растительного сырья*. 2023. №1. С. 247–254. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230111326>.
25. Boryło A., Nowicki W., Skwarzec B., Olszewski G. The concentrations of trace metals in plants from phosphogypsum waste heap in Wiślinka, northern Poland // *E3S Web of Conferences*. 2013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20130110007>.
26. Ловкова М.Я., Бузук Г.Н. Лекарственные растения концентраторы и сверхконцентраторы меди и ее роль в метаболизме этих видов // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2011. Т. 47. №2. С. 209–216.
27. Ловкова М.Я., Соколова С.М., Бузук Г.Н. Лекарственные растения концентраторы лития и их применение в медицине // *Доклады академии наук*. 2007. Т. 42, №5. С. 713–715.
28. Савельева Е.Е., Бабешина Л.Г., Краснов Е.А. Анатомическая и морфологическая характеристика *Potentilla anserina* L. // *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*. 2017. Т. 20, №3. С. 40–43.
29. Жамбалова А.Д. Засоленные почвы зон разломов Кучигерских гидротерм и их геохимические особенности: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Улан-Удэ, 2018. 22 с.
30. Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л.А. Воробьевой. М., 2006. 400 с.
31. Fagan T.E., Romani A. Activation of  $\text{Na}^+$ - and  $\text{Ca}^{2+}$ -dependent  $\text{Mg}^{2+}$  extrusion by  $\alpha_1$ - and  $\beta$ -adrenergic agonists in rat liver cells // *Am. J. Physiol. Gastrointest Liver Physiol.* 2000. Vol. 279. Pp. 943–950. <https://doi.org/10.1152/ajpgi.2000.279.5.G943>.
32. Ягодина Б.А., Ступакова Г.А., Виноградова С.Б. Физиологическая роль лития и факторы, влияющие на его поступление в растения // *Агрохимия*. 1989. №7. С. 116–121.
33. Gold A.B., Herrmann N., Lancot K.L. Lithium and its neuroprotective and neurotrophic effects: potential treatment for post-ischemic stroke sequelae // *Curr. Drug. Targets*. 2011. Vol. 12(2). Pp. 243–255.

34. Робинсон М.В., Котлярова А.А., Шурлыгина А.В., Рачковская Л.Н., Летягин А.Ю. Механизмы действия соединений лития // Сибирский научный медицинский журнал. 2019. Т. 39 (5). С. 19–28. <https://doi.org/10.15372/SSMJ20190503>.
35. Shahzad B., Tanveer M., Hassan W. et al. Lithium toxicity in plants: Reasons, mechanisms and remediation possibilities – A review // Plant physiology and biochemistry. 2016. Vol. 107. Pp. 104–115. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.05.034>.
36. Методические рекомендации №2.3.1.1915-04. Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ. М., 2004. 48 с.
37. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. М., 2001. 180 с.
38. Gitlin M. Lithium side effects and toxicity: prevalence and management strategies // Int. J. Bipolar. Disord. 2016. Vol. 4(1). 27. <https://doi.org/10.1186/s40345-016-0068-y>.

Поступила в редакцию 21 апреля 2025 г.

После переработки 30 мая 2025 г.

Принята к публикации 18 августа 2025 г.

Afanas'yeva L.V.\*, Ayushina T.A., Rupyshev Yu.A. THE INFLUENCE OF GROWING CONDITIONS ON THE ACCUMULATION OF MACRO- AND MICRONUTRIENTS IN *POTENTILLA ANSERINA* L.

*Institute of General and Experimental Biology SB RAS, st. Sakhyanovoy, 6, Ulan-Ude, 670047, Russia, afanl@mail.ru*

Plants traditionally used in folk medicine require a thorough study for their possible introduction into modern medical practice. One such plant is *Potentilla anserina* L., which has been widely used in Oriental medicine due to its anti-inflammatory, antispasmodic, choleric, and immunomodulating properties. The study of its elemental composition is important for assessing its therapeutic potential. Our research showed that 24 out of 28 analyzed chemical elements followed a basipetal accumulation pattern, while P, Mg, S, and Li exhibited acropetal distribution. The content of macro- and microelements in plants exhibited significant variability (CV 10–90%) across different growing conditions, with roots showing a broader concentration range than aerial parts. It was noted that in the area of subaquatic discharge of thermal waters, plants accumulate more Na, S, Sr, Li, and Zn (near the high-temperature outlet) and W, Mo, and Cu (near the low-temperature outlet). This selectivity in the uptake and transportation of elements may indicate the high adaptive capacity of mineral metabolism in *P. anserina*, which allows this species to successfully grow in different environmental conditions. The significant concentrations of essential trace elements such as Fe, Mn, Co, and Cr in the above-ground parts of these plants make them promising for preventing and correcting their deficiency.

**Keywords:** *Potentilla anserina* L., macro- and microelements, Kucziger hydrotherms, translocation coefficient.

**For citing:** Afanas'yeva L.V., Ayushina T.A., Rupyshev Yu.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2025, no. 4, pp. 252–260. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250417259>.

## References

1. Batorova S.M., Yakovlev G.P., Aseyeva T.A. *Spravochnik lekarstvennykh rasteniy traditsionnoy tibetskoy me-ditsiny*. [Handbook of medicinal plants of traditional Tibetan medicine]. Novosibirsk, 2013, 292 p. (in Russ.).
2. Ligaa U., Davaasuren B., Ninjil N. *Medicinal plants of Mongolia used in Western and Eastern Medicine*. Moscow, 2009, 378 p.
3. Jiao Y., He Q., Li X., Chen Y., Tian T., Cao L., Zhang Z. *BMC Plant Biol.*, 2025, vol. 25, 201. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06229-y>.
4. *Chinese Pharmacopoeia Commission*. Beijing, 2015, 4921 p.
5. Zhao Y.-L., Caia G.-M., Hong X., Shana L.-M., Xiao X.-H. *Phytomedicine*, 2008, vol. 15, pp. 253–258.
6. *Dikorastushchiye poleznyye rasteniya Rossii* [Wild useful plants of Russia], ed. A.L. Budantsev, Ye.Ye. Lesiovskaya. St. Petersburg, 2001, 663 p. (in Russ.).
7. Hiller K. *Potentilla hager's handbuch der pharmazeutischen praxis*. Berlin, 1994, vol. 6, pp. 254–269.
8. Morikawa T., Ninomiya K., Imura K., Yamaguchi T., Akagi Y., Yoshikawa M., Hayakawa T., Muraoka O. *Phytochemistry*, 2014, vol. 102, pp. 169–181.
9. Mari A., Lyon D., Fagner L., Montoro P., Piacente S., Wienkoop S., Egelhofer V., Weckwerth W. *Metabolomics*, 2013, vol. 9, pp. 599–607. <https://doi.org/10.1007/s11306-012-0473-x>.
10. Tomczyk M., Bazylo A., Staszewska A. *Phytochemical analysis*, 2010, vol. 21(2), pp. 174–179. <https://doi.org/10.1002/pca.1174>.

\* Corresponding author.



11. Xu J.-F., Zheng X.-P., Liu W.-D., Du R.-F., Bi L.-F., Zhang P.-C. *J. Asian Nat. Prod. Res.*, 2010, vol. 12, pp. 529–534.
12. Kombal R., Glasl H. *Planta Med.*, 1995, vol. 61 (5), pp. 484–485. <https://doi.org/10.1055/s-2006-958146>.
13. Kovaleva A.M., Abdulkafarova E.R. *Chem. Nat. Compd.*, 2011, vol. 47, pp. 446–447. <https://doi.org/10.1007/s10600-011-9957-6>.
14. Schimmer O., Lindenbaum M. *Planta Med.*, 1995, vol. 61, pp. 141–145.
15. Tomczyka M., Latté K.P. *Journal of ethnopharmacology*, 2009, vol. 122, pp. 184–204.
16. Olennikov D.N., Kashchenko N.I., Chirikova N.K., Kuz'mina S.S. *Molecules*, 2015, vol. 20(1), pp. 224–248. <https://doi.org/10.3390/molecules20010224>.
17. Chen J.R., Yang Z.Q., Hu T.J., Yan Z.T., Niu T.X., Wang L., Cui D.A., Meng W. *Fitoterapia*, 2010, vol. 81(8), pp. 1117–1124.
18. Goncharov N.F., Kotov A.K. *Chem. Nat. Compd.*, 1991, vol. 27, p. 752.
19. Wang J., Zhang J., Zhao B., Wang X., Wu Y., Yao J. *Carbohydr. Polym.*, 2010, vol. 80, pp. 84–93. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2009.10.073>.
20. Savel'yeva Ye.Ye., Yefremov A.A., Krasnov Ye.A., Narchuganov A.N. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2014, no. 2, pp. 111–114. <https://doi.org/10.14258/jcprm.1402111>. (in Russ.).
21. Li J.Y., Li Y., Gong H.Y., Zhao X.B., Li L.Z. *Chin. J. Integr. Med.*, 2009, vol. 7, pp. 48–52.
22. Li L.-Z., Zhang L., Gong H.-Y., Li J.-Y., Chen Y., Zhang L., Zhu Y., Li G.-C., Zhao C. *Chin. Pharm. J.*, 2006, vol. 41, pp. 1462–1464.
23. Krasnov Ye.A., Savel'yeva Ye.Ye., Ryzhakova N.K., Reshetov Ya.Ye., Gataullina A.R. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2017, no. 4, pp. 145–151. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2017041934>. (in Russ.).
24. Pupykina K.A., Denisova S.G. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2023, no. 1, pp. 247–254. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230111326>. (in Russ.).
25. Boryło A., Nowicki W., Skwarzec B., Olszewski G. *E3S Web of Conferences*, 2013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20130110007>.
26. Lovkova M.Ya., Buzuk G.N. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 2011, vol. 47, no. 2, pp. 209–216. (in Russ.).
27. Lovkova M.Ya., Sokolova S.M., Buzuk G.N. *Doklady akademii nauk*, 2007, vol. 42, no. 5, pp. 713–715. (in Russ.).
28. Savel'yeva Ye.Ye., Babeshina L.G., Krasnov Ye.A. *Voprosy biologicheskoy, meditsinskoy i farmatsevticheskoy khimii*, 2017, vol. 20, no. 3, pp. 40–43. (in Russ.).
29. Zhambalova A.D. *Zasolennyye pochvy zon razlomov Kuchigerskikh gidroterm i ikh geokhimicheskiye osobennosti: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk*. [Saline soils of the fault zones of the Kuchiger hydrothermal vents and their geochemical features: Abstract of Cand. Sci. ... Cand. Biological Sciences]. Ulan-Ude, 2018, 22 p. (in Russ.).
30. *Teoriya i praktika khimicheskogo analiza pochv* [Theory and practice of chemical analysis of soils], ed. L.A. Vorob'yeva. Moscow, 2006, 400 p. (in Russ.).
31. Fagan T.E., Romani A. *Am. J. Physiol. Gastrointest Liver Physiol.*, 2000, vol. 279, pp. 943–950. <https://doi.org/10.1152/ajpgi.2000.279.5.G943>.
32. Yagodin B.A., Stupakova G.A., Vinogradova S.B. *Agrokhimiya*, 1989, no. 7, pp. 116–121. (in Russ.).
33. Gold A.B., Herrmann N., Lancot K.L. *Curr. Drug. Targets.*, 2011, vol. 12(2), pp. 243–255.
34. Robinson M.V., Kotlyarova A.A., Shurlygina A.V., Rachkovskaya L.N., Letyagin A.Yu. *Sibirskiy nauchnyy meditsinskiy zhurnal*, 2019, vol. 39 (5), pp. 19–28. <https://doi.org/10.15372/SSMJ20190503>. (in Russ.).
35. Shahzad B., Tanveer M., Hassan W. et al. *Plant physiology and biochemistry*, 2016, vol. 107, pp. 104–115. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.05.034>.
36. *Metodicheskiye rekomendatsii №2.3.1.1915-04. Rekomenduyemye urovni potrebleniya pishchevykh i biologicheskii aktivnykh veshchestv*. [Methodological recommendations No. 2.3.1.1915-04. Recommended levels of consumption of food and biologically active substances]. Moscow, 2004, 48 p. (in Russ.).
37. *SanPiN 2.3.2.1078-01. Gigiyenicheskiye trebovaniya bezopasnosti i pishchevoy tsennosti pishchevykh produktov*. [SanPiN 2.3.2.1078-01. Hygienic requirements for the safety and nutritional value of food products]. Moscow, 2001, 180 p. (in Russ.).
38. Gitlin M. *Int. J. Bipolar. Disord.*, 2016, vol. 4(1), 27. <https://doi.org/10.1186/s40345-016-0068-y>.

Received April 21, 2025

Revised May 30, 2025

Accepted August 18, 2025

#### Сведения об авторах

Афанасьева Лариса Владимировна – старший научный сотрудник, [afanl@mail.ru](mailto:afanl@mail.ru)

Аюшина Туяна Аюшиевна – старший научный сотрудник, [tuyana2602@mail.ru](mailto:tuyana2602@mail.ru)

Рупышев Юрий Алексеевич – научный сотрудник, [rupyshev@mail.ru](mailto:rupyshev@mail.ru)

#### Information about authors

Afanasyeva Larisa Vladimirovna – Senior Researcher, [afanl@mail.ru](mailto:afanl@mail.ru)

Ayushina Tuyana Ayushievna – Senior Researcher, [tuyana2602@mail.ru](mailto:tuyana2602@mail.ru)

Rupyshev Yuri Alekseevich – Researcher, [rupyshev@mail.ru](mailto:rupyshev@mail.ru)