



Накопление химических элементов в корнях молочая Фишера (*Euphorbia fischeriana* Steudel) в бассейне р. Шилка (Забайкальский край)

В. П. Макаров

Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук, Чита, Россия

Автор, ответственный за переписку: Владимир Петрович Макаров, vm2853@mail.ru

Актуальность. *Euphorbia fischeriana* Steudel используется в народной и традиционной медицине России, Китая. В корнях растения обнаружен 241 химический компонент, однако недостаточно информации об элементном составе растения. Концентрация химических элементов в растениях влияет на эффективность лекарственных препаратов.

Материалы и методы. Исследования проведены в Забайкальском крае. Анализ растения проведен с помощью масс-спектрометра ICP-MS Elan 9000 (Канада). Использована методика измерений содержания металлов в твердых объектах ИСП-МС, ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98. Химический анализ почвы проведен силами Государственной станции агрохимической службы «Костромская». Статистическая обработка полученных данных проведена с помощью программы Microsoft Excel.

Результаты. Рассмотрено накопление в корнях растения макро- и микроэлементов: Ca, P, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Mo, Cr, Co, Se, Cu, B, Ni, V, As, Li, Pb, Ba, Bi, Cd, Hg, Be, Sb, Rb, Zr, Sn, Ag, W, Sr, Ti. Установлены химические элементы, концентрации которых значительно выше или, напротив, ниже кларка наземных растений. В 2–14 раз превышало кларк наземных растений (по убыванию) накопление Ti, Ag, As, Cr, Sr, Li, Ba, Mo, Fe, Bi и Sb. Низкая (0.01–5% кларка) концентрация в корнях *E. fischeriana* отмечена для Mn, Cd, Se, особенно для V и Cu. Концентрация As на пробных площадях превышала допустимое содержание в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах (OFS.1.5.3.0009.15).

Заключение. Исследования позволили установить в корнях *E. fischeriana* дефицит ряда жизненно важных элементов, несоответствие растительного сырья по допустимой норме As, а также повышенное относительно кларка накопление ряда токсичных и потенциально токсичных элементов.

Ключевые слова: лекарственные растения, корни, макроэлементы, токсичные микроэлементы

Благодарности: работа выполнена по проекту № 121032200128-1 «Изучение геосистем горнопромышленных территорий с благороднометалльным орудением Забайкалья с целью прогноза гипогенного и гипергенно-техногенного минерального сырья и оценки влияния на окружающую среду».

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Макаров В.П. Накопление химических элементов в корнях молочая Фишера (*Euphorbia fischeriana* Steudel) в бассейне р. Шилка (Забайкальский край). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):60-72. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-60-72

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-60-72

Accumulation of chemical elements in the roots of *Euphorbia fischeriana* Steudel in the Shilka river basin (Transbaikal region)

Vladimir P. Makarov

*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia***Corresponding author:** Vladimir P. Makarov, vm2853@mail.ru

Background. *Euphorbia fischeriana* Steudel is used in traditional and herbal medicine in Russia and China. Its roots contain 241 chemical components, but there is not enough knowledge about the plant's elemental composition. Concentrations of chemical elements in plants have an impact the effectiveness of medical products.

Materials and methods. The research was conducted in the Transbaikal region. Plants were analyzed using an ICP-MS Elan 9000 mass spectrometer (Canada). The ICP-MS method of measuring metal content in solid objects, PND F 16.1:2.3:3.11-98 was used. Chemical analysis of the soil was performed at Kostromskaya State Station of Agrochemical Service. The obtained data were statistically processed using the Microsoft Excel software.

Results. The accumulation of macro- and microelements in plant roots was studied (Ca, P, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Mo, Cr, Co, Se, Cu, B, Ni, V, As, Li, Pb, Ba, Bi, Cd, Hg, Be, Sb, Rb, Zr, Sn, Ag, W, Sr, and Ti). The chemical elements whose concentrations were significantly higher or, contrariwise, lower than the clarke of terrestrial plants were identified. Accumulations of Ti, Ag, As, Cr, Sr, Li, Ba, Mo, Fe, Bi, and Sb in descending order were 2–14 times higher than the clarke of terrestrial plants. Concentrations of Mn, Cd, Se, and especially V and Cu in *E. fischeriana* roots were low (0.01–5% of the clarke). The concentration of As in the test areas exceeded the threshold limit value for medicinal herbage and medicinal plant products (OFS.1.5.3.0009.15).

Conclusion. The study made it possible to find deficiencies of a number of vital elements in *E. fischeriana* roots, discrepancy between the tested herbage and the threshold limit value for As, and increased accumulation of a number of toxic and potentially toxic elements compared with the clarke.

Keywords: medicinal plants, roots, trace elements, toxic trace elements

Acknowledgements: the work was carried out under Project No. 121032200128-1 “Studying geosystems of mining territories with precious metal mineralization in Transbaikalia in order to forecast hypogenic and hypergenic/technogenic mineral raw materials and assess the impact on the environment”.

The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Makarov V.P. Accumulation of chemical elements in the roots of *Euphorbia fischeriana* Steudel in the Shilka river basin (Transbaikal region). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):60-72. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-60-72

Введение

Концентрация химических элементов, таких как K, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu и Cd, в лекарственных растениях влияет на эффективность лекарственных препаратов, изготовленных из лекарственного растительного сырья. Особое значение имеет концентрация жизненно важных и токсичных химических элементов. Роль многих других химических элементов в растениях и в организме человека еще должным образом не установлена.

Обнаружено наличие статистически значимых корреляций между отдельными элементами (K, Mg, Fe, Mn и Cd) и органическими соединениями (гиперицином, рутином, гиперозидом и неохлорогеновой, хлорогеновой и розмариновой кислотами). С практической точки зрения наиболее важными являются положительные корреляции Fe и рутина, а также отрицательные корреляции между Mn и гиперозидом и Cd с хлорогеновой кислотой (Derkach, Starikova, 2019). Обнаружено несколько существенных корреляций между Fe, Zn и Mn и общими флавоноидами (Konieczynski et al., 2018). Общее содержание флавоноидов положительно коррелировало с Cu и отрицательно с Ca (Konieczynski et al., 2015). Значительные корреляции обнаружены между общим содержанием P – содержанием неорганического фосфата P, Z – Mn, Mn – Cu, общей антиоксидантной активностью флавоноидов и кверцетина с кофейной и феруловой кислотами (Konieczynski et al., 2016).

Кроме того, наблюдаются и корреляции между химическими элементами. Например, в листьях лекарственных трав наблюдалась отрицательная корреляция между Fe и Mn и положительная корреляция между Zn и Cr (Garg et al., 2007). Демонстрировали сильную корреляцию Cu и Zn ($r = 0,89$), Rb и Cs ($r = 0,87$) (Choudhury et al., 2008). Корреляционный анализ выявил часто встречающиеся связи между P и несколькими металлами и фенолами, а также между Zn и другими метаболитами флавоноидов, фенольных кислот и алкалоидов (Konieczynski et al., 2017).

Одним из лекарственных растений, произрастающих в Забайкальском крае, является *Euphorbia fischeriana* Steudel. Хотя растение не внесено в список видов растений, разрешенных Государственной фармакопеей к медицинскому применению в России, оно используется в народной медицине России (Telyatyev, 1976; Kornopol'tseva, Vugaeva, 2007; Попов, 2008). *E. fischeriana* встречается в Забайкальском крае, Амурской области, Монголии и Маньчжурии. Растет на каменистых и щебнистых южных степных склонах, реже в равнинных степях. Цветоносные стебли 20–50 см высотой, толстые, крепкие, густо облиственные. Листья 3–7 см длины, 1–2 см ширины, жесткие, собраны в 2–3 мутовки из 5–6 листьев. Соцветия зонтиковидные. Корень очень толстый, имеющий вид ветвистого клубня (Flora of Central Siberia..., 1979; Flora of Siberia..., 1996). В Китае растение давно используется в традиционной медицине. Его применяют для лечения диспепсии, вздутия живота, боли в животе, кашля, а также для наружного применения, такого как лечение чешотки и туберкулеза лимфатических узлов (Sun, Liu, 2011). В общей сложности из корней *E. fischeriana* был идентифицирован 241 химический компонент, включая дитерпеноиды, тритерпеноиды, меротерпеноиды, ацетофеноны, флавоноиды, кумарины, стероиды, фенольные кислоты, дубильные вещества и т. д. Были продемонстрированы различные фармакологические действия, особенно противоопухолевая, антибактериальная, противо-

воспалительная, противовирусная и противолейкозная активность (Li et al., 2021). В ходе исследований было отмечено, что многие из выделенных дитерпеноидных соединений из этого лекарственного растения обладают цитотоксичностью в отношении целого ряда типов раковых клеток. Считается, что дитерпеноиды являются основными противоопухолевыми компонентами *E. fischeriana* (Jian et al., 2018).

В России в корнях молочая Фишера идентифицированы фенольные кислоты – кофейная, галловая, цикориевая, неохлорогеновая и феруловая, кумарин, а также флавоноиды: рутин, кверцетин и катехин. Среди фенольных кислот доминируют кофейная и галловая, а среди флавоноидов преобладает рутин. Обнаружено значительное содержание кальция, калия, магния, фосфора и цинка (Martynov et al., 2022). В надземной части растений в составе агликонов обнаружены кверцетин, кемпферол, миритетин, изорамнетин и шесть неидентифицированных флавоноидов (Kargova, Khramova, 2011). Доказана эффективность использования экстракта молочая Фишера при пародонтите в эксперименте на 80 лабораторных крысах (Krivosheeva et al., 2010). Выявлено, что наиболее выраженными защитными антигипоксическими и антиоксидантными свойствами обладает экстракт из корней молочая Фишера (Krivosheeva et al., 2011). Показано, что аппликация экстракта молочая Палласа при хроническом гингивите вызывает положительные сдвиги в состоянии микроциркуляции тканей пародонта: показателя микроциркуляции, нейрогенного и миогенного тонуса (Krivosheyeva et al., 2009). Обнаружены иммуномодулирующие свойства настойки корней при экспериментальной иммунодепрессии (Khobrakova et al., 2007). Содержащиеся в молочае селен, алкалоиды, сапонины, флавоноиды, лактоны с антибактериальной и противовирусной активностью стимулируют образование антител, повышают защиту организма от инфекционных и простудных заболеваний, что обуславливает их антимикробную, антибактериальную, бактерицидную, фунгицидную активность (Kohan, Krivosheeva, 2010).

E. fischeriana произрастает в Забайкальском крае в основном в юго-восточных степных и лесостепных районах. Северные ценопопуляции растения встречаются в бассейне р. Шилка. Обнаружены также редкие ценопопуляции растения в юго-западных районах края. *E. fischeriana* включен в Красную книгу Забайкальского края (Попов, 2017).

E. fischeriana в районе исследований – очень редкое и уязвимое растение, внесено в Красную книгу региона. В то же время его корни заготавливаются населением края для лечения различных заболеваний, усиливается спрос на лекарственное сырье растения со стороны Китая. Это создает опасность сокращения популяций растения, его генетического разнообразия. Для защиты растения кроме усиления природоохранных мероприятий важно оценить возможность культивирования растения, чтобы снизить спрос на дикорастущее сырье.

Исследование мест произрастания молочая Фишера, состава и концентрации химических элементов в лекарственном сырье позволит оценить особенности условий произрастания растения, качество лекарственного сырья, а при дальнейших исследованиях растения сравнить полученные результаты с другими местами произрастания, в том числе в условиях культуры.

Цель исследования – оценка концентрации химических элементов в корнях *E. fischeriana* в природных условиях бассейна р. Шилка.

Материал и методы

Исследование растений проведено в бассейне р. Шилка в третьей декаде августа 2020 г. Растения *E. fischeriana* находились в фазе плодоношения (созревания семян).

Исследования проведены на пробных площадях. Фиксировались географические координаты, экспозиция и крутизна склона, тип растительного сообщества, а также антропогенное влияние на растения (рисунок, табл. 1).

Для отбора растительных проб в местах произрастания растений выкапывали не более 2-3 корней (растение редкое), очищали их от почвы, промывали в проточной, а затем в дистиллированной воде и высушивали до воздушно-сухого состояния. Затем корни измельчались до однородного состояния для последующего химического анализа. Отбор растительных проб проведен на трех участках № 8, № 10 и № 12.

Анализ растительных образцов проведен в Институте тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина (Дальне-

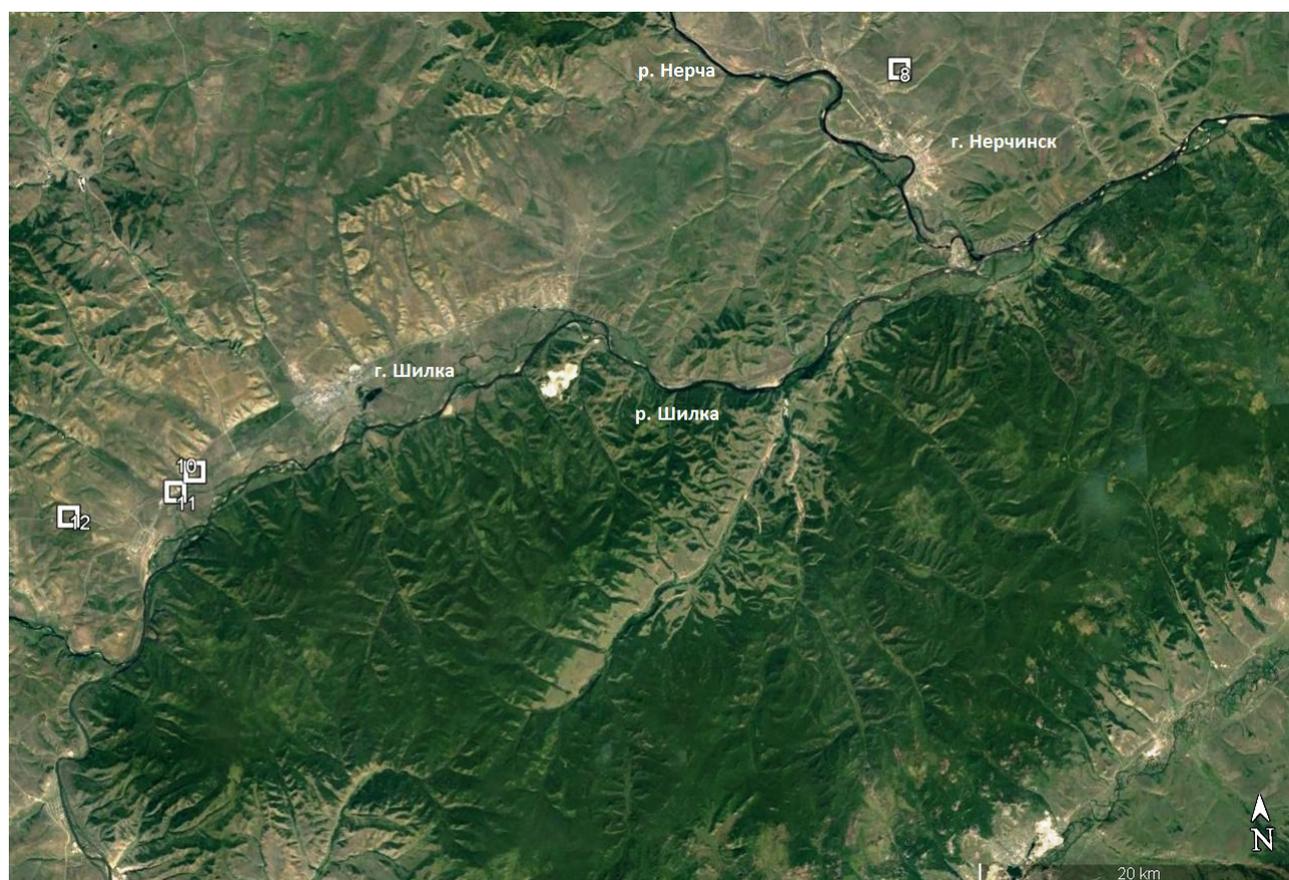


Рисунок. Расположение пробных площадей в бассейне р. Шилка

Figure. Location of the test areas in the Shilka river basin

Таблица 1. Характеристика местопроизрастания *Euphorbia fischeriana* Steudel

Table 1. Habitat characteristics of *Euphorbia fischeriana* Steudel

Номер пробной площади / Test area No.	Географические координаты / Geographic coordinates	Растительное сообщество / Plant community	Экспозиция склона / Slope exposure	Крутизна склона, град. / Slope steepness, degree	Антропогенное влияние / Human impact
8	N52,0281 E116,576	Степь разнотравно-ковыльная	юго-восточный	10	выпас скота, пожары
10	N51,813 E115,911	Степь разнотравная, закустаренная	восточный	25	пожары
11	N51,802 E115,893	Степь разнотравная	южный	25	пожары
12	N51,790 E115,795	Степь разнотравно-вострещовая	южный	5	нет

восточное отделение РАН) с помощью масс-спектрометра ICP-MS Elan 9000 (Канада). Использована методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом ИСП-МС (PND F 16.1:2.3:3.11-98..., 1998).

Образцы почвы отбирали из корневой зоны растений и затем смешивали для получения средней пробы. В дальнейшем проводили подготовку почвы для отправки на анализ в лабораторию. Отбор почвенных проб по организационным причинам проведен только на двух участках – № 8 и № 10.

Химический анализ почвы проведен в ФГБУ Государственная станция агрохимической службы «Костромская» следующими методами: гранулометрический состав почвы – методом раскатывания; pH солевой вытяжки – ГОСТ 26483-85 (GOST 26483-85..., 1985); общий N – ГОСТ Р 54650-2011 (GOST R 54650-2011..., 2013); подвижный P и K – ГОСТ Р 54650-2011, разделы 9.2 и 9.3 (GOST R 54650-2011..., 2013); валовая форма Fe и Na – М-М-ВИ-80-2008 (ФР.1.31.2013.14150) (М-М-ВИ-80-2008..., 2008); Hg – ПНД Ф 16.1:2:2.2.80-2013 (М-03-09-2013) (PND F 16.1:2:2.2.80-2013..., 2013); As – ПНД Ф 16.1:2:2.2:3.48-06 (ФР.1.34.2005.02119) (PND F 16.1:2:2.2:3.48-06..., 2006); молибден – М-М-ВИ-80-2008 (ФР.1.31.2013.14150) (М-М-ВИ-80-2008..., 2008); подвижные формы Pb, Cd, Zn, Cu, Cr и Mn – РД 52.18.289 – 90 (RD 52.18.289 – 90..., 1990); подвижный фтор – по методическим указаниям (Guidelines for determining..., 1993); обменный Ca – ГОСТ 26487-85, раздел 3 (GOST 26487-85..., 1985); подвижная форма S – ГОСТ 26490-85 (GOST 26490-85..., 1985); хлориды в водной вытяжке – ГОСТ 26425-85, раздел 1 (GOST 26490-85..., 1985).

Результаты

Гранулометрический состав почв мест произрастания растений песчаный или суглинок. Кислотность почвы близка к нейтральной и нейтральная. Содержание общего азота в почвах очень низкое. Обеспеченность почвы подвижными фосфором – от очень низкого до низкого уровня, калием – от низкого до высокого значения.

Содержание в почве микроэлементов не превышает предельно допустимые концентрации химических веществ в почве (гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06) (Threshold limit values..., 2006). Содержание в почве подвижных P, K, Zn и обменного Ca, а также pH солевой вытяжки на исследованных участках достоверно отличаются по доверительному интервалу. Другие показатели состава почвы были одинаковы или близки по величине (табл. 2).

Жизненно важные элементы

К жизненно необходимым химическим элементам принято относить те, дефицит которых в организме достоверно приводит к какому-либо патологическому состоянию.

Концентрация в корнях *E. fischeriana* макроэлементов Ca, P, Mg, Na была меньше кларка наземных растений, находясь в пределах 31–63% от кларка (табл. 3).

Концентрации жизненно необходимых микроэлементов Fe, Mn, Zn, Mo, Cr, Co, Se и Cu в корнях *E. fischeriana* по отношению к кларку наземных растений имеют значительные различия. Концентрация Fe, Mo и Cr больше кларка в 3–5 раз. Близко к величине кларка накопление Co (78% от кларка), значительно ниже накопление Zn (29%), особенно Mn, Se (5%) и Cu (0.01%).

Накопление Fe, Cr и Cu в корнях *E. fischeriana* отличалось низким варьированием (CV < 10%). Изменчивость концентрации Mn, Zn, Co и Se была сильной (CV > 25%). Значительно различалось по пробным площадям накопление в корнях растения Mo (CV > 100%), хотя валовое содержание элемента в почве на исследованных участках было одинаково.

Условно жизненно необходимыми считаются В, Ni, V, As, Li. По отношению к кларку наземных растений высокой концентрацией в корнях *E. fischeriana* отличаются мышьяк (600%) и литий (320%). Близко к кларку никеля (90%). Концентрации в корнях растения бора (18%) и особенно ванадия (0,06%) значительно уступают кларку наземных растений.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах, согласно ОФС.1.5.3.0009.15 (OFS.1.5.3.0009.15..., 2015), составляет 0,5 мг/кг. В наших исследованиях только на пробной площади № 8 накопление элемента было ниже ПДК. На участках № 10 и № 12 наблюдалось превышение норматива в 1,2 и 4,9 раза.

Низкой изменчивостью по пробным площадям отличается концентрация в корнях ванадия (CV < 10%). Средний уровень варьирования концентрации отмечен для бора и лития (CV = 10–25%). Сильно различается по участкам накопление в корнях растения никеля и мышьяка (CV > 25%).

К токсичным микроэлементам отнесены: Pb, Ba, Bi, Cd, Hg, Be, Sb. Более высокой концентрацией по отношению к кларку наземных растений характеризуются Sb (233%), Bi (267) и Ba (303). Накопление в корнях *E. fischeriana* Pb, Cd, Hg и Be по отношению к кларку находится в пределах 10–67%.

Вариация накопления Bi и Hg на исследованных площадях очень сильная (CV > 100%). Сильной изменчивостью уровня концентрации на участках характеризуются Cd, Be и Sb (CV > 25%). Среднее варьирование отмечено у свинца и бария (CV = 10–25%).

Предельно допустимое содержание тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах, согласно ОФС.1.5.3.0009.15 (OFS.1.5.3.0009.15..., 2015), составляет для свинца – 6,0, кадмия – 1,0, ртути – 0,1 и мышьяка – 0,5 мг/кг. По этим требованиям накопление в корнях *E. fischeriana* Pb, Cd и Hg не превышает ПДК.

Определена концентрация **потенциально токсичных микроэлементов** Rb, Zr, Sn, Ag, W, Sr, Ti. В корнях *E. fischeriana* по отношению к кларку наземных растений отмечена более высокие концентрации титана (1430%), серебра (900%) и стронция (348%). Накопление в корнях растения W, Rb, Zr и Sn находилось по отношению к кларку наземных растений в пределах 14–43%. Превышение среднего (фонового) показателя концентрации элементов в наземных растениях мира свидетельствует о геохимических особенностях места произрастания растения и потенциальной токсичности лекарственного сырья.

Очень высокие различия концентрации (CV > 100%) на пробных площадях отмечены для олова, серебра и вольфрама. Сильно варьирует накопление рубидия и циркония (CV > 25%), и средним уровнем варьирования накопления в корнях *E. fischeriana* характеризуются стронций и титан (CV = 10–25%).

Таблица 2. Агрохимическая характеристика почвы в местах произрастания *Euphorbia fischeriana* Steudel
Table 2. Agrochemical characteristics of the soil in the sites with *Euphorbia fischeriana* Steudel

Показатель / Indicator	Пробная площадь № 8 / Test area No. 8	Пробная площадь № 10 / Test area No. 10	Величина ПДК (мг/кг) с учетом фона (кларка) / TLV (mg/kg) adjusted to the background (clarke)
Гранулометрический состав	суглинок средний	песчаный	
pH солевой вытяжки, ед. pH	6,6 ± 0,1	6,1 ± 0,1	
Общий N,%	> 0,012 (0,035)	> 0,012 (0,030)	
Подвижный P по методу Кирсанова, мг/кг	32,1 ± 6,4	15,0 ± 5,3	
Подвижный K по методу Кирсанова, мг/кг	171,3 ± 25,7	51,0 ± 10,2	
Fe (валовая форма), мг/кг	> 5000	> 5000	
Na (валовая форма), мг/кг	58,48 ± 17,54	66,50 ± 19,95	
Hg, мг/кг	0,025 ± 0,011	0,014 ± 0,006	2,1
As, мг/кг	0,80 ± 0,24	0,85 ± 0,25	2,0
Mo (валовая форма), мг/кг	< 5,0	< 5,0	
Pb (подвижная форма), мкг/мл	< 1,0	< 1,0	6,0
Cd (подвижная форма), мкг/мл	< 0,05	< 0,05	
Zn (подвижная форма), мкг/мл	0,20 ± 0,07	0,059 ± 0,021	23,0
Cu (подвижная форма), мкг/мл	< 0,2	< 0,2	3,0
Cr (подвижная форма), мкг/мл	< 0,5	< 0,5	6,0
Mn (подвижная форма), мкг/мл	> 3,0	> 3,0	100,0
Подвижный F, мг/кг	< 0,95	< 0,95	2,8
Обменный Ca, ммоль/100г	13,52 ± 1,01	7,80 ± 0,59	
S (подвижная форма), мг/кг	16,9 ± 1,3	14,5 ± 1,1	
Хлориды в водной вытяжке, ммоль/100 г	< 0,5	< 0,5	

Таблица 3. Концентрация химических элементов в корнях *Euphorbia fischeriana* Steudel, мг/кг
 Table 3. Concentrations of chemical elements in the roots of *Euphorbia fischeriana* Steudel, mg/kg

Элемент / Element	Пробная площадь / Test area			Среднее / Mean	Мин. / Min.	Макс. / Max.	CV, %	Кларк наземных растений, мг/кг* / Clarke of terrestrial plants, mg/kg*	Отношение к кларку, % / Ratio to the clarke, %	ПДК в раститель- ном сырье, мг / кг / TLV in herbage, mg/kg
	№ 8	№ 10	№ 12							
Ca	6416,1	5515,0	4560,4	5500 ± 500	4560,4	6416,1	16,9	18000	31	
P	2038,2	1232,7	1086,9	1450 ± 300	1086,9	2038,2	35,3	2300	63	
Mg	1263,8	1168,2	1121,3	1180 ± 40	1121,4	1263,8	6,1	3200	37	
Na	557,6	849,1	803,3	740 ± 90	557,6	849,1	21,3	1200	61	
Fe	385,3	379,3	397,0	387 ± 5	379,3	397,0	2,3	140	277	
Sr	114,1	77,9	79,4	90 ± 12	77,9	114,1	22,6	26	348	
Ba	49,8	31,6	45,9	42 ± 5	31,6	49,8	22,5	14	303	
Mn	25,4	25,7	43,5	32 ± 6	25,4	43,5	32,9	630	5	
Zn	32,8	20,3	34,9	30 ± 5	20,3	34,9	27,0	100	29	
Ti	16,0	12,4	14,5	14 ± 1	12,4	16,0	12,9	1,0	1430	
B	8,7	10,6	7,1	9 ± 1	7,1	10,6	20,0	50	18	
Rb	3,6	3,0	7,0	4,5 ± 1,2	3,0	7,0	47,3	20	23	
Ni	1,5	4,7	1,9	2,7 ± 1,0	1,5	4,7	64,6	3	90	
Mo	0,9	6,4	0,9	2,7 ± 1,8	0,9	6,4	115,4	0,9	300	
Pb	2,0	1,6	1,7	1,8 ± 0,1	1,6	2,0	12,8	2,7	67	6,0
Cr	1,2	1,3	1,4	1,3 ± 0,1	1,2	1,4	6,8	0,23	565	

Таблица 3. Окончание
Table 3. The end

Элемент / Element	Пробная площадь / Test area			Среднее / Mean	Мин. / Min.	Макс. / Max.	CV, %	Кларк наземных растений, мг/кг* / Clarke of terrestrial plants, mg/kg*	Отношение к кларку, % / Ratio to the clarke, %	ПДК в раститель- ном сырье, мг / кг / TLV in herbage, mg/kg
	№ 8	№ 10	№ 12							
As	0,42	0,61	2,43	1,2 ± 0,6	0,4	2,4	96,3	0,2	600	0,5
Ag	0,001	1,35	0,27	0,54 ± 0,41	0,001	1,35	132,2	0,06	900	
Co	0,210	0,350	0,610	0,39 ± 0,12	0,21	0,61	52,0	0,5	78	
Li	0,370	0,270	0,310	0,32 ± 0,03	0,27	0,37	15,9	0,1	320	
Zr	0,060	0,190	0,270	0,17 ± 0,06	0,06	0,27	61,1	0,64	27	
Bi	0,020	0,100	0,350	0,16 ± 0,10	0,02	0,35	109,9	0,06	267	
Sb	0,210	0,080	0,140	0,14 ± 0,04	0,08	0,21	45,4	0,06	233	
Sn	0,001	0,280	0,100	0,13 ± 0,08	0,00	0,28	111,4	0,3	43	
Cd	0,050	0,020	0,020	0,03 ± 0,01	0,02	0,05	57,7	0,6	5	1,0
W	0,001	0,020	0,001	0,01 ± 0,006	0,001	0,020	149,6	0,07	14	
Be	0,010	0,010	0,020	0,01 ± 0,003	0,010	0,020	43,3	0,1	10	
Se	0,001	0,010	0,010	0,01 ± 0,003	0,001	0,010	74,2	0,2	5	
Hg	0,001	0,001	0,010	0,004 ± 0,003	0,001	0,010	129,9	0,015	27	0,1
V	0,001	0,001	0,001	0,001 ± 0,000	0,001	0,001	0	1,6	0,06	
Cu	0,001	0,001	0,001	0,001 ± 0,000	0,001	0,001	0	14	0,01	

* - (Votkevich, Kokin, 1990)

Обсуждение

Жизненно важные элементы

Макроэлементы. Кальций играет ключевую роль в физиологических и биохимических процессах клетки. Его недостаток приводит организм к остеопорозу и другим физиологическим отклонениям. При недостатке P в организме развиваются различные заболевания костей. Причем усвоение элемента происходит эффективнее при приеме P вместе с Ca в соотношении 3 : 2. Mg необходим на всех этапах синтеза белка. Он участвует в поддержании нормальной функции нервной системы, мышцы сердца и других систем организма. Na в высших организмах находится большей частью в межклеточной жидкости клеток. Элемент создает условия для возникновения мембранного потенциала и мышечных сокращений, поддерживает кислотно-щелочной баланс, обеспечивает мембранный транспорт и другие функции организма (Skalny, Rudakov, 2004).

Низкое относительно кларка накопление макроэлементов в растении может свидетельствовать о влиянии почвенного покрова, а также обуславливаться особенностями биохимического состава растения, взаимодействием элементов.

Микроэлементы. Основной функцией железа в организме человека и животных является перенос кислорода и углекислоты (тканевое дыхание). Марганец оказывает влияние на рост, образование крови и функции половых желез. Избыточное накопление Mn в организме сказывается, в первую очередь, на функционировании центральной нервной системы. Цинк участвует в синтезе разных гормонов в организме, включая инсулин, тестостерон, необходим для метаболизма витамина E и других важных функций. Молибден влияет на активность фермента ксантиноксидазы, усиливает синтез аминокислот, улучшает накопление азота. Mo входит в состав ряда ферментов (альдегидоксидаза, сульфитоксидаза, ксантиноксидаза и др.), выполняющих важные физиологические функции. При недостатке Mo страдают анаболические процессы, наблюдается ослабление иммунной системы организма. Хром входит в состав тканей растений и животных. У животных Cr участвует в обмене липидов, белков (входит в состав фермента трипсина), углеводов. Снижение содержания Cr в пище и в крови приводит к уменьшению скорости роста, увеличению холестерина в крови. Кобальт входит в состав витамина B₁₂ (кобаламин), участвует при кроветворении, в функциях нервной системы и печени, ферментативных реакциях. Селен в организме взаимодействует с витаминами, ферментами и биологическими мембранами, участвует в регуляции обмена веществ, в обмене жиров, белков и углеводов, а также в окислительно-восстановительных процессах. Se является составным компонентом более 30 жизненно важных биологически активных соединений организма, входит в активный центр ферментов системы антиоксидантно-антирадикальной защиты организма, метаболизма нуклеиновых кислот, липидов, гормонов. Se является синергистом витамина E и йода. При дефиците Se йод плохо усваивается организмом. Согласно исследованиям, Se необходим для нормального функционирования иммунной системы. Медь встречается в большом количестве ферментов, например в переносимом молекулярный кислород дыхательном пигменте гемоцианине. При недостатке Cu в хондро- и остеобластах снижается активность ферментных систем и за-

медляется белковый обмен, в результате замедляется и нарушается рост костных тканей (Skalny, Rudakov, 2004).

При использовании молочая в качестве лекарственного средства необходимо учитывать относительно высокую концентрацию в растении Fe, Mo и Cr и, напротив, низкое содержание в корнях Zn, Mn, Se и Cu. Полученные результаты позволяют при необходимости корректировать накопление элементов с помощью внесения в почву соответствующих микроудобрений.

Условно жизненно необходимые элементы

Бор играет существенную роль в обмене углеводов и жиров, ряда витаминов и гормонов, влияет на активность некоторых ферментов. При избытке B в организме возможна интоксикация. Никель оказывает влияние на ферментативные процессы, окисление аскорбиновой кислоты. Он может угнетать действие адреналина и снижать артериальное давление. Избыточное поступление Ni в организм происходит в результате бытовых и производственных причин. Физиологическая роль ванадия недостаточно изучена. Полагают, что V участвует в регуляции углеводного обмена и сердечно-сосудистой деятельности, а также в метаболизме тканей костей и зубов. При дефиците V увеличивается риск развития атеросклероза и сахарного диабета. Мышьяк взаимодействует с тиоловыми группами белков, цистеином, глутатионом, липоевой кислотой, оказывает влияние на окислительные процессы в митохондриях и принимает участие во многих других важных биохимических процессах. При избытке As в организме наблюдаются заболевания кожи и внутренних органов человека. Избыточное поступление As в организм связано с загрязнением окружающей среды, нарушением регуляции обмена мышьяка в организме, а также с недостатком в организме селена. Литий влияет на нейроэндокринные процессы, жировой и углеводный обмен. В организме Li способствует высвобождению Mg из клеток и тормозит передачу нервного импульса, снижая возбудимость нервной системы (Skalny, Rudakov, 2004).

Молочай Фишера не включен в список официальных лекарственных растений России, однако относительно высокие концентрации в корнях молочая As и Li и низкое содержание B и V необходимо учитывать при использовании растения в качестве лекарственного средства в народной медицине, а также при культивировании для получения лекарственного сырья.

Токсичные микроэлементы

Свинец участвует в обменных процессах костной ткани, является канцерогеном и тератогеном для организма. Избыток Pb в организме связан с загрязнением окружающей среды, а также с дефицитом в организме Ca, Mg, Zn и Fe. Барий оказывает нейротоксическое, кардиотоксическое и гемотоксическое действие на организм человека. Причины избытка Ba в организме происходят за счет производственных и бытовых отравлений. Висмут индуцирует синтез низкомолекулярных белков, принимает участие в процессах оссификации, образует внутриклеточные включения в эпителии почечных канальцев. Возможно, обладает генотоксичными и мутагенными свойствами. При избытке Bi наблюдаются нарушения функционирования нервной и сердечно-сосудистой системы и другие заболевания организма. Физиологическая роль кадмия изучена недостаточно. Доказана роль Cd в индукции рака легких и почек у курящих, развитии

патологии предстательной железы. Избыток Cd в организме связан с курением, производственным контактом, а также дефицитом Zn, Se, Cu, Ca и Fe. Физиологическая роль ртути неясна. Считается, что оптимальная интенсивность поступления Hg в организм составляет 1–5 мкг/день. При хроническом отравлении Hg наблюдаются нарушения деятельности нервной и пищеварительной системы, другие нарушения деятельности организма. Физиологическая роль бериллия недостаточно изучена, однако известно, что Be может принимать участие в регуляции фосфорно-кальциевого обмена, поддержании иммунного статуса организма. По современным представлениям Be – это токсичный, канцерогенный и мутагенный элемент. Физиологическая роль сурьмы недостаточно изучена. Она образует связи с атомами серы, что обуславливает ее высокую токсичность (Skalny, Rudakov, 2004).

Учитывая избыточные по отношению к кларку концентрации Sb, Bi и Ba, необходимо с осторожностью применять лекарственные препараты из этого растения. Низкие концентрации Pb, Cd и Hg по отношению к ПДК свидетельствуют о низком уровне загрязнения почвы на месте произрастания растений и, вероятно, незначительном влиянии элементов на организм человека при использовании растения.

Потенциально токсичные микроэлементы

Физиологическая роль рубидия заключается в его способности ингибировать простагландины и в наличии антигистаминных свойств. Пониженное содержание Rb в организме может приводить к задержке роста и развития, преждевременным родам. При избытке элемента возможны воспаление верхних дыхательных путей, аритмия, нарушение сна. Физиологическая роль циркония малоизучена. Токсичные доли не установлены. Избыток Zr оказывает общетоксическое действие на организм человека при длительном контакте с этим элементом на производстве. Олово не относится к особо токсичным металлам. И все же при его избытке возникают головокружение, расстройство зрения, тошнота, снижение содержания в организме Zn и Cu. Серебро относят к потенциально-канцерогенным элементам. В организме Ag образует соединения с белками, может блокировать тиоловые группы ферментных систем, угнетать тканевое дыхание. Проявления дефицита Ag в организме изучены недостаточно. Предполагается, что Ag играет важную роль в обеспечении процессов, связанных с высшей нервной деятельностью и функциями периферической нервной системы человека. При избытке Ag наблюдается поражение центральной нервной системы, расстройство зрения, снижение кровяного давления, тошнота. Причины избытка Ag – это поступление его в организм в токсичных дозах. По своим свойствам вольфрам напоминает молибден, способен замещать молибден у животных, ингибируя активность Mo-зависимых ферментов. При длительном контакте с карбидом вольфрама наблюдается нарушение функции легких. При избыточном поступлении в организм стронция на фоне дефицита Ca происходит вытеснение ионов Ca ионами Sr. В результате происходит поражение всего организма, однако наиболее типичным является развитие дистрофических изменений в костно-суставной системе в период роста и развития организма. Заболевание сопровождается нарушением фосфорно-кальциевого соотношения в крови, дисбактериозом кишечника. Титан является одним из наиболее биологически инертных металлов. Вдыхание двуокиси

Ti вызывает раздражение легких у человека и животных (Skalny, Rudakov, 2004).

Избыток в корнях растения потенциально токсичных Ag и Sr может навредить здоровью организма. Опасность для человека других элементов из этой группы, вследствие их относительно низкого накопления в корнях растения, невысокая.

Заключение

Получена ориентировочная оценка концентрации ряда химических элементов в корнях *E. fischeriana*, а также условий произрастания растения в бассейне р. Шилка.

Накопление ряда химических элементов в корнях *E. fischeriana* в бассейне р. Шилка значительно отличалось от кларка наземных растений. В 2–14 раз превышало кларк наземных растений (по убыванию) накопление Ti, Ag, As, Cr, Sr, Li, Ba, Mo, Fe, Bi и Sb. В пределах 25–100% (по убыванию) от кларка находилось содержание Co, Pb, P, Na, Sn, Mg, Ca, Zn, Zr и Hg. Накопление Rb, B, W, и Be находится в пределах 10–25%. Значительно меньше кларка (от 0.01 до 5%) отмечена концентрация в корнях *E. fischeriana* Mn, Cd, Se, особенно V и Cu.

Ниже кларка находится концентрация жизненно необходимых макроэлементов Ca, P, Mg, Na, а также микроэлементов Co, Zn, Mn, Se, Cu. Превышало кларк наземных растений накопление в корнях растения токсичных элементов Sb, Bi и Ba.

Различия концентрации элементов в корнях *E. fischeriana* по отношению к кларку наземных растений свидетельствуют о геохимических особенностях почвы в местах произрастания и физиологических свойствах растения, связанных с накоплением химических элементов.

Предельно допустимое содержание As, установленное для лекарственного и растительного сырья и лекарственных растительных препаратов, превышало ПДК на пробных площадях в 1,2 и 4,9 раза.

Учитывая относительно высокую концентрацию ряда токсичных элементов в корнях *E. fischeriana*, необходимо с осторожностью использовать его в качестве лекарственного средства. Особенности концентрации токсичных и жизненно важных элементов важно учитывать при организации культивирования растения.

References / Литература

- Choudhury R.P., Acharya R., Nair A.G.C., Reddy A.V.R., Garg A.N. Availability of essential trace elements in medicinal herbs used for diabetes mellitus and their possible correlations. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2008;276(1) 85-93. DOI: 10.1007/s10967-007-0414-8
- Derkach T.M., Starikova O.O. Variation of chemical composition of medicinal herbs of different producers. *Journal of Chemistry and Technologies*. 2019;27(1):79-91. DOI: 10.15421/091909
- Flora of Central Siberia. Vol. 2. Rosaceae – Asteraceae (Flora Tsentralnoy Sibiri. T. 2. Rozotsvetnye – Astrovye). Novosibirsk; 1979. [in Russian] (Флора Центральной Сибири. Т. 2. Розоцветные – Астровые. Новосибирск; 1979).
- Flora of Siberia. Vol. 10. Geraniaceae – Cornaceae (Flora Sibiri. T. 10. Geraniaceae – Cornaceae). Novosibirsk; 1996. [in Russian] (Флора Сибири. Т. 10. Geraniaceae – Cornaceae. Новосибирск; 1996).
- Garg A., Kumar A., Nair A., Reddy A. Analysis of some Indian medicinal herbs by INAA. *Journal of Radioanalytical and*

- Nuclear Chemistry*. 2007;271(3):611-619. DOI: 10.1007/s10967-007-0316-9
- GOST 26425-85. Soils. Methods for determination of chloride ion in water extract. Moscow: USSR State Committee for Standards; 1985. [in Russian] (ГОСТ 26425-85. Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке. Москва: Государственный комитет СССР по стандартам; 1985). URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294828/4294828013.pdf> [дата обращения: 03.03.2022].
- GOST 26483-85. Soils. Preparation of salt extract and determination of its pH by CINAO method. Moscow: USSR State Committee for Standards; 1985. [in Russian] (ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. Москва: Государственный комитет СССР по стандартам; 1985). URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294827/4294827946.pdf> [дата обращения: 03.03.2022].
- GOST 26487-85. Soils. Determination of exchangeable calcium and exchangeable (mobile) magnesium by CINAO methods. Moscow: USSR State Committee for Standards; 1985. [in Russian] (ГОСТ 26487-85. Почвы. Определение обменного кальция и обменного (подвижного) магния методами ЦИНАО. Москва: Государственный комитет СССР по стандартам; 1985). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294827/4294827942.pdf> [дата обращения: 03.03.2022].
- GOST 26490-85. Soils. Determination of mobile sulfur by CINAO method. Moscow: USSR State Committee for Standards; 1985. [in Russian] (ГОСТ 26490-85. Почвы. Определение подвижной серы по методу ЦИНАО. Москва: Государственный комитет СССР по стандартам; 1985). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294827/4294827939.pdf> [дата обращения: 03.03.2022].
- GOST R 54650-2011. National Standard of the Russian Federation. Soils Determination of mobile phosphorus and potassium compounds by Kirsanov method modified by CINAO. Moscow: Standartinform; 2013. [in Russian] (ГОСТ Р 54650-2011. Национальный стандарт Российской Федерации. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. Москва: Стандартинформ; 2013). URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293788/4293788445.pdf> [дата обращения: 03.03.2022].
- Guidelines for determining the content of mobile fluorine in soils by ionometric technique (Metodicheskiye ukazaniya po opredeleniyu soderzhaniya podvizhnogo ftora v pochvakh ionometricheskim metodom). Moscow; 2003. [in Russian] (Методические указания по определению содержания подвижного фтора в почвах ионометрическим методом. Москва; 1993).
- Jian B., Zhang H., Han C., Liu J. Anti-cancer activities of diterpenoids derived from *Euphorbia fischeriana* Steud. *Molecules*. 2018;23(2):387. DOI: 10.3390/molecules23020387
- Karpova E.A., Khramova E.P. Chemosystematic aspects of the composition and content of flavonoids of some species of the genus *Euphorbia* L. *Turczaninowia*. 2011;14(3):150-159. [in Russian] (Карпова Е.А., Храмова Е.П. Хемосистематические аспекты состава и содержания флавоноидов некоторых видов рода *Euphorbia* L. *Turczaninowia*. 2011;14(3):150-159).
- Khobrakova V.B., Kornopoltseva T.V., Nikolaev S.M. Immunomodulating properties of *Euphorbia fischeriana* (Euphorbiaceae) roots tincture in experimental immunodepression. *Rastitelnye resursy = Plant Resources*. 2007;43(2):94-98. [in Russian] (Хобракова В.Б., Корнопольцева Т.В., Николаев С.М. Иммуномодулирующие свойства настойки корней *Euphorbia fischeriana* (Euphorbiaceae) при экспериментальной иммунодепрессии. *Растительные ресурсы*. 2007;43(2):94-98).
- Kohan S.T., Krivosheeva E.M. Experimental investigation of antioxidant properties of plant adaptogens. *Vestnik farmatsii = Bulletin of Pharmacy*. 2010;4(50):29. [in Russian] (Кохан С.Т., Кривошеева Е.М. Экспериментальное исследование антиоксидантных свойств растительных адаптогенов. *Вестник фармации*. 2010;4(50):29).
- Konieczynski P., Arceusz A., Wesolowski M. Essential elements and their relations to phenolic compounds in infusions of medicinal plants acquired from different European regions. *Biological Trace Element Research*. 2016;170(2):466-475. DOI: 10.1007/s12011-015-0481-6
- Konieczynski P., Arceusz A., Wesolowski M. Relationships between flavonoids and selected elements in infusions of medicinal herbs. *Open Chemistry*. 2015;13(1):68-74. DOI: 10.1515/chem-2015-0003
- Konieczynski P., Viapiana A., Lysiuk R., Wesolowski M. Chemical composition of selected commercial herbal remedies in relation to geographical origin and inter-species diversity. *Biological Trace Element Research*. 2018;182(1):169-177. DOI: 10.1007/s12011-017-1078-z
- Konieczynski P., Viapiana A., Wesolowski M. Comparison of infusions from black and green teas (*Camellia sinensis* L. Kuntze) and erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) based on the content of essential elements, secondary metabolites, and antioxidant activity. *Food Analytical Methods*. 2017;10(9):3063-3070. DOI: 10.1007/s12161-017-0872-8
- Kornopoltseva T.V., Buraeva L.B. Development of an optimal technology for obtaining *Euphorbia fischeriana* tincture (Razrabotka optimalnoy tekhnologii polucheniya nastoyki molochaya Fishera). *Bashkir State University Bulletin*. 2007;8:92-93. [in Russian] (Корнопольцева Т.В., Буряева Л.Б. Разработка оптимальной технологии получения настойки молочая Фишера. *Вестник Бурятского государственного университета*. 2007;8:92-93).
- Krivosheeva E.M., Fefelova E.V., Borodulina I.I., Kohan S.T., Borodulina N.V. Influence of *Euphorbia fischeriana* Steudel extract on dermal wound reparation in experiment. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal = Siberian Medical Journal*. 2013;118(3):69-72. [in Russian] (Кривошеева Е.М., Фефелова Е.В., Бородулина И.И., Кохан С.Т., Бородулина Н.В. Влияние экстракта молочая Фишера на репарацию кожной раны в эксперименте. *Сибирский медицинский журнал*. 2013;118(3):69-72).
- Krivosheeva E.M., Fefelova E.V., Kohan S.T. Spectrum of pharmacological activity of plant adaptogens. *Fundamental Research*. 2011;(6):85-88. [in Russian] (Кривошеева Е.М., Фефелова Е.В., Кохан С.Т. Спектр фармакологической активности растительных адаптогенов. *Фундаментальные исследования*. 2011;(6):85-88).
- Krivosheeva E.M., Fefelova E.V., Sepp A.V., Borodulina I.I., Borodulina N.V. Adaptogens' efficiency in experimental periodontitis with hyperhomocysteinemia. *Bulletin of the East Siberian Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2010;3(73):221-225. [in Russian] (Кривошеева Е.М., Фефелова Е.В., Сепп А.В., Бородулина И.И., Бородулина Н.В. Эффективность адаптогенов при экспериментальном пародонтите на фоне гипергомоцистеинемии. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения*

- Российской академии медицинских наук.* 2010;3(73):221-225).
- Krivoshcheyeva E.M., Kokhan S.T., Kukharenko Ju.V., Borodulina I.I., Serdtsev M.I. The effects of Pallas spurge extract on periodontal tissue microcirculation in patients with chronic gingivitis living in Transbaikalia. *Rossiiskii Stomatologicheskii Zhurnal = Russian Dental Journal.* 2009;(3):40-42. [in Russian] (Кривошечеева Е.М., Кохан С.Т., Кухаренко Ю.В., Бородулина И.И., Сердцев М.И. Влияние экстракта молочая Палласа на микроциркуляцию тканей пародонта у больных с хроническим гингивитом в условиях Забайкалья. *Российский стоматологический журнал.* 2009;(3):40-42).
- Li Y.N., He J., Zhang J., Shi Y.X., Guo L.B., Peng Z.C. et al. Existing knowledge on *Euphorbia fischeriana* Steud. (Euphorbiaceae): Traditional uses, clinical applications, phytochemistry, pharmacology and toxicology. *Journal of Ethnopharmacology.* 2021;275:114095. DOI: 10.1016/j.jep.2021.114095
- Martynov A.M., Chuparina E.V., Dargaeva T.D. Study of phenolic compounds and mineral composition of underground organs of *Euphorbia fischeriana* Steud. *Chemistry of Plant Raw Material.* 2022;(1):269-276. [in Russian] (Мартынов А.М., Чупарина Е.В., Даргаева Т.Д. Исследование фенольных соединений и элементного состава подземных органов *Euphorbia fischeriana* Steud. *Химия растительного сырья.* 2022;(1):269-276). DOI: 10.14258/jcrpm.2022019135
- M-MVI-80-2008. Method of performing measurements of the mass fraction of elements in samples of soils and earth samples and bottom sediments by atomic emission and atomic absorption spectrometry (Metodika vypolneniya izmereniy massovoy doli elementov v probakh pochv, gruntov i donnykh otlozheniyakh metodami atomno-emissionnoy i atomno-absorbtsionnoy spektrometrii). St. Petersburg; 2008. [in Russian] (М-МВИ-80-2008. Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии. Санкт-Петербург; 2008). URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293824/4293824289.pdf> [дата обращения: 10.03.2022].
- OFS.1.5.3.0009.15. Determination of the content of heavy metals and arsenic in medicinal herbal raw materials and medicinal herbal preparations. Moscow; 2015. [in Russian] (ОФС.1.5.3.0009.15. Определение содержания тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах. Москва; 2015). URL: <http://pharmacopoeia.ru/wp-content/uploads/2016/08/OFS.1.5.3.0009.15-Opre-delenie-soderzhaniya-tyazhelyh-metallov-i-myshyaka-v-lekarstvennom-rastitel'nom-syre-i-lekarstvennyh-rastitel'nyh-preparatah.pdf> [дата обращения: 22.03.2022].
- PND F 16.1:2:2.2:3.48-06. Quantitative chemical analysis of soil samples, greenhouse soils, silts, bottom sediments, saps, and solid waste. The method of measuring mass concentrations of zinc, cadmium, lead, copper, manganese, arsenic, and mercury by inversion voltammetry on TA-type analyzers (Kolichestvenny khimicheskiy analiz prob pochv, teplichnykh gruntov, ilov, donnykh otlozheniy, sapropel'ey, tverdykh otkhodov. Metodika vypolneniya izmereniy massovykh kontsentratsiy tsinka, kadmiya, svintsy, medi, margantsy, myshyaka, rtuti metodom inversionnoy voltamperometrii na analizatorakh tipa TA). Tomsk: Tomsk Center for Standardization, Metrology and Certification; 2006. [in Russian] (ПНД Ф 16.1:2:2.2:3.48-06. Количественный химический анализ проб почв, тепличных грунтов, илов, донных отложений, сапропелей, твердых отходов. Методика выполнения измерений массовых концентраций цинка, кадмия, свинца, меди, марганца, мышьяка, ртути методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА. Томск: Томский центр стандартизации, метрологии и сертификации; 2006). URL <http://www.gostrf.com/normadata/1/4293790/4293790181.pdf> [дата обращения: 22.03.2022].
- PND F 16.1:2:2.2.80-2013. Quantitative chemical analysis of soils. Method of measuring the mass fraction of mobile forms of metals: copper, zinc, lead, cadmium, manganese, nickel, cobalt, chromium in samples of soil, earth, bottom sediments, and sewage sludge by flame atomic adsorption spectrometry (Kolichestvenny khimicheskiy analiz pochv. Metodika izmereniy massovoy doli podvizhnykh form metallov: medi, tsinka, svintsy, kadmiya, margantsy, nikel'ya, kobalta, khroma v probakh pochv, gruntov, donnykh otlozheniy, osadkov stochnykh vod metodom plamennoy atomno-adsorbtsionnoy spektrometrii). Moscow: Federal Service for Supervision in the Field of Environmental Management; 2013. [in Russian] (ПНД Ф 16.1:2:2.2.80-2013. Количественный химический анализ почв. Методика измерений массовой доли подвижных форм металлов: меди, цинка, свинца, кадмия, марганца, никеля, кобальта, хрома в пробах почв, грунтов, донных отложений, осадков сточных вод методом пламенной атомно-адсорбционной спектроскопии). Москва: Федеральная служба по надзору в сфере природопользования; 2013). URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293779/4293779519.pdf> [дата обращения: 22.03.2022].
- PND F 16.1:2.3:3.11-98. Quantitative chemical analysis of soils. Methodology for measuring metal content in solid objects by inductively coupled plasma spectrometry (Metodika vypolneniya izmereniy sodержaniya metallov v tverdykh obyektakh metodom spektrometrii s induktivno-svyazannoy plazmoy). Moscow: State Committee of the Russian Federation for Environmental Protection; 1998. [in Russian] (ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой). Москва: Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды; 1998). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293777/4293777593.htm> [дата обращения: 03.03.2022].
- Popov O.A. (ed.). Red Book of the Transbaikal Region: Plants (Krasnaya kniga Zabaykalskogo kraya: Rasteniya). Novosibirsk; 2017. [in Russian] (Красная книга Забайкальского края: Растения / под ред. О.А. Попова. Новосибирск; 2017).
- Popov P.L. Plant species, using against virological infections of man and animals: regularities of the distribution in the phylogenetic classification system. *Journal of Stress-Physiology and Biochemistry.* 2008;4(3-4):17-64. [in Russian] (Попов П.Л. Виды растений, применявшиеся при вирусных заболеваниях человека и животных: закономерности распределения в филогенетической классификационной системе. *Журнал стресс-физиологии и биохимии.* 2008;4(3-4):17-64).
- RD 52.18.289 – 90. Guiding document. Guidelines. Methodology for measuring the mass fraction of mobile forms of met-

- als (copper, lead, zinc, nickel, cadmium, cobalt, chromium, and manganese) in soil samples by atomic absorption analysis (Rukovodyashchiy dokument. Metodicheskiye ukazaniya. Metodika vypolneniya izmereniy massovoy doli podvizhnykh form metallov (medi, svintsa, tsinka, nikel'ya, kadmiya, kobalta, khroma, margantsa) v probakh pochvy atomno-absorbtsionnym analizom). Moscow: USSR State Committee for Hydrometeorology; 1990. [in Russian] (РД 52.18.289-90. Руководящий документ. Методические указания. Методика выполнения измерений массовой доли подвижных форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия, кобальта, хрома, марганца) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом. Москва: Государственный комитет СССР по гидрометеорологии; 1990). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293783/4293783539.pdf> [дата обращения: 21.03.2022].
- Skalny A.V., Rudakov I.A. Bioelements in medicine (Bioelementy v meditsine). Moscow; 2004. [in Russian] (Скальный А.В., Рудаков И.А. Биоэлементы в медицине. Москва; 2004).
- Sun Y.X., Liu J.C. Chemical constituents and biological activities of *Euphorbia fischeriana* Steud. *Chemistry and Biodiversity*. 2011;8(7):1205-1214. DOI: 10.1002/cbdv.201000115
- Telyatyev V.V. Healing treasures of Eastern Siberia (Tselebnyye klady Vostochnoy Sibiri). Irkutsk; 1976. [in Russian] (Телятьев В.В. Целебные клады Восточной Сибири. Иркутск; 1976).
- Threshold limit values (TLV) of chemical substances in soil: Hygienic standards (Predelno dopustimye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve: Gигиенические нормативы). Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor; 2006. [in Russian] (Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. Москва: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора; 2006). URL: https://geotop.msk.ru/library_docs/Ecologicheskie_iziskania/GN_po_ekologicheskim_iziskaniyam/predelno_dopustymie_vrednyh_veshchestv.pdf [дата обращения: 03.03.2022].
- Votkevich G.V., Kokin A.V. Handbook of geochemistry (Spravochnik po geokhimii). Moscow; 1990. [in Russian] (Воткевич Г.В., Кокин А.В. Справочник по геохимии. Москва; 1990).

Информация об авторе

Владимир Петрович Макаров, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук, 672014 Россия, Чита, ул. Недорезова, 16а, vm2853@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4885-0752>

Information about the author

Vladimir P. Makarov, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 16a Nedorezova St, Chita 672014, Russia, vm2853@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4885-0752>

Статья поступила в редакцию 24.03.2022; одобрена после рецензирования 08.07.2022; принята к публикации 01.12.2022. The article was submitted on 24.03.2022; approved after reviewing on 08.07.2022; accepted for publication on 01.12.2022.