

Торшин И.Ю.<sup>1</sup>, Максимов В.А.<sup>2</sup>, Громов А.Н.<sup>1</sup>, Гаранин А.А.<sup>3</sup>, Громова О.А.<sup>1</sup>

## Литий в пищевой цепи «почва – растения – животные – человек» (обзор литературы)

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, 119333, Москва, Россия;<sup>2</sup>ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 153012, Москва, Россия;<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Ивановский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 153012, Иваново, Россия

### РЕЗЮМЕ

Исследования последних десятилетий подтверждают эссенциальность (жизненную необходимость) ультрамикроэлемента лития (Li). Один из критериев эссенциальности микроэлементов (МЭ) – участие в природных пищевых цепях типа «почва – вода – растения – человек», «вода – человек». В работе представлены результаты систематизации литературы, посвящённой участию лития в природных пищевых цепях. При поиске в англоязычных базах данных (Pubmed, Scopus, Web of Science, EMBASE) использовался запрос «lithium AND (soil OR plants OR food chain OR human nutrition OR dietary intake OR nutrient) NOT batteries NOT niobate NOT electrodes NOT materials NOT anode», по которому найдено 1867 статей; при поиске по русскоязычной РИНЦ по данной теме было найдено 120 статей. Систематизация проводилась методами топологического анализа данных с выделением репрезентативного набора публикаций. Показано, что удобрение почвы солями лития способствует улучшенному бионакоплению этого элемента растениями и повышению показателей роста полезных (сельскохозяйственных) растений (салата, шпината, картофеля и др.). Литий в почвах улучшает фиксацию растениями углерода и азота. Li, особенно в неорганических формах (сульфат, карбонат, хлорид), наиболее активно всасывается растениями, а человек и животные усваивают его из растений. Имеющиеся продукты питания содержат весьма малое количество этого элемента: среднее потребление Li составляет менее 140 мкг/сут при рекомендованном для взрослых потреблении 1000 мкг/сут. Экологически значимые дозы Li (в том числе содержание в питьевой воде) оказывают благотворное влияние на психическое здоровье человека, снижают уровень самоубийств и насилия в масштабе популяций. Обогащение литием культур различных грибов представляет собой перспективное направление повышения обеспеченности литием рациона человека.

**Ключевые слова:** литий-обогащённые диеты; микроэлементы-нормотимики; пищевые цепи; эссенциальные микроэлементы; суточная потребность; обзор

**Для цитирования:** Торшин И.Ю., Максимов В.А., Громов А.Н., Гаранин А.А., Громова О.А. Литий в пищевой цепи «почва – растения – животные – человек» (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2026; 105(3): <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-3-> <https://elibrary.ru/abcddef>

**Для корреспонденции:** Громова Ольга Алексеевна, e-mail: [unesco.gromova@gmail.com](mailto:unesco.gromova@gmail.com)

**Вклад авторов:** все авторы приняли равноценное участие в написании статьи. *Все соавторы* – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

**Благодарность.** Авторы выражают искреннюю благодарность В.М. Коденцовой – профессору, доктору биол. наук за консультативную помощь при подготовке статьи.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 23.05.2025 / Принята к печати: 15.10.2025 / Опубликована: 31.03.2026

## Ivan Yu. Torshin<sup>1</sup>, Andrey N. Gromov<sup>1</sup>, Valery A. Maksimov<sup>2</sup>, Alexey A. Garanin<sup>3</sup>, Olga A. Gromova<sup>1</sup> Lithium in the food chain “soil – plants – animals – humans” (literature review)

<sup>1</sup>Federal Research Center “Computer Science and Control”, RAS, 119333, Moscow, Russian Federation;<sup>2</sup>Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, 125993, Moscow, Russian Federation;<sup>3</sup>Ivanovo State Medical University, Ivanovo, 153012, Russian Federation

### ABSTRACT

Research conducted over the past decades indicate to the essentiality (vital necessity) of the ultratrace element lithium. One of the criteria for the essentiality of trace elements (TE) is their participation in natural food chains of the type “soil-water-plants-human”, “water-human”. The paper presents the results of systematization of the literature on the participation of lithium in natural food chains. When searching for literature in English-language databases (Pubmed, Scopus, Web of Science, EMBASE), the query “lithium AND (soil OR plants OR food chain OR human nutrition OR dietary intake OR nutrient) NOT batteries NOT niobate NOT electrodes NOT materials NOT anode” was used, which found one thousand eight hundred sixty seven reports; when searching in the Russian-language RSCI on this topic, 120 reports were found. The systematization was carried out using topological data analysis methods with the selection of a representative set of publications. It has been shown that fertilizing soil with lithium salts improves the bioaccumulation of lithium by plants and increases the growth rates of useful (agricultural) plants (lettuce, spinach, potatoes, etc.). Lithium in soils improves the fixation of carbon and nitrogen by plants. Lithium, especially in inorganic forms (sulfate, carbonate, chloride) is most actively absorbed by plants, and humans and animals absorb it from plants. Available foods contain very small amounts of lithium: the average daily lithium intake is less than 140 µg/day with a recommended daily lithium intake of 1000 µg/day for adults. Ecologically significant doses of lithium (in particular, the content in drinking water) have a beneficial effect on health, leading to a decrease in suicide rates and violence on a population scale. Enrichment of various mushroom cultures with lithium is a promising direction for increasing the lithium supply of the human diet.

**Keywords:** lithium-enriched diets; normotimic microelements; food chains; essential microelements; daily requirement; review

**For citation:** Torshin I.Yu., Maksimov V.A., Gromov A.N., Garanin A.A., Gromova O.A. Lithium in the food chain “soil-plants-animals-humans” (literature review). *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2026; 105(3). <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-3-> (In Russ.) <https://elibrary.ru/abcddef>

**For correspondence:** Olga A. Gromova, e-mail: [unesco.gromova@gmail.com](mailto:unesco.gromova@gmail.com)

**Contribution:** All authors took an equal part in writing the article. *All authors* are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

**Acknowledgment.** The authors express their sincere gratitude to DSc (Biology), professor V.M. Kodentsova for her advisory assistance in preparing the article.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Funding.** The study had no sponsorship.

Received: May 23, 2025 / Accepted: October 15, 2025 / Published: March 31, 2026

## Введение

Установлено, что ультрамикрэлемент литий в микродозах (менее 1000 мкг) оказывает положительное физиологическое воздействие на организм человека (нейропротекторное, нейротрофическое, нормотимическое, противосудорожное, модуляция нейротрансмиттерного баланса и др.) и, в соответствии с имеющимися научными данными, является эссенциальным (жизненно необходимым) микроэлементом (МЭ) [1]. Эссенциальными называют МЭ, которые постоянно поступают в организм с пищей и питьевой водой, присутствуют в организме, выполняя установленную роль в обеспечении жизнедеятельности, и дефицит которых приводит к различным патологическим изменениям на уровнях организма и популяций [2].

Содержание лития в воде и в почве зависит от видов горных пород и минералов, а также от физических и химических условий окружающей среды, влияющих на высвобождение Li в водную среду. Литий содержится в водной среде в различных концентрациях: от 0,07–40 мкг/л в пресной воде до 170–190 мкг/л в морской. Метаанализ 157 публикаций показал, что средняя концентрация Li<sup>+</sup> в различных образцах питьевой воды составила 5,4 мкг/л (95%-й ДИ 5,3–5,5 мкг/л) [3].

Несмотря на значительное количество исследований, посвящённых биогеохимии лития и его физиологическим эффектам, сведения о его миграции в природных экосистемах и включении в пищевые цепи остаются фрагментарными. В литературе недостаточно систематизированы данные о накоплении лития растениями и грибами, его влиянии на метаболизм сельскохозяйственных культур, а также о возможностях биофортификации пищевых продуктов этим элементом. В настоящем обзоре проведена комплексная систематизация современных публикаций, посвящённых участию лития в пищевых цепях и его потенциальной роли в обеспечении нутриционного статуса человека. Систематизация проведена методами топологического анализа данных научной школы академиков РАН Ю.И. Журавлёва и К.В. Рудакова [4].

*Цель работы* — систематизация современных научных данных, касающихся миграции лития в природных экосистемах и его участия в пищевых цепях «почва — растения — животные — человек», а также анализ механизмов бионакопления лития растениями и грибами и оценка перспективы биофортификации пищевых продуктов для повышения обеспеченности населения данным микроэлементом.

## Содержание лития в почвах

Содержание лития в почвах широко варьирует, поскольку этот элемент характеризуется высокой подвижностью, что делает его более склонным к выщелачиванию. Многие растения, употребляемые в пищу, могут накапливать значительные количества Li<sup>+</sup> в съедобных частях (при условии достаточного количества лития в почве). Фортификация овощей и съедобных грибов литием (шампиньоны, вёшенки) через внесение элемента как составляющей удобрений может достичь уровня, при котором потребление 100–200 г овощей, биофортифицированных литием, может обеспечить необходимый уровень суточного потребления — 1 мг/сут [5].

Концентрация лития в почве также зависит от типа и минерального состава почвообразующих пород, окислительно-восстановительных и щёлочно-кислотных реакций. Среднее содержание лития редко превышает 40–45 мг/кг в магматических породах и 60–75 мг/кг в осадочных породах. Содержание Li<sup>+</sup> в почвах на планете Земля колеблется в широком диапазоне: 0,01–200 мг/кг [1]. Содержание лития в почвах России также различно (1,4–9,9 ммоль/кг), а в морской воде составляет 14,4 ммоль/л [2].

Тип почвы определяет всасываемость лития растениями. Li более подвижен и доступен для растений в почвах с грубой текстурой по сравнению с почвами с мелкой текстурой. Доступность лития для зелёной горчицы и шпината была

выше из почвы, содержащей меньше глины, чем из почвы с относительно большим содержанием глины. После внесения Li<sup>+</sup> в дозе 5,5 и 11 мг/кг почвы поглощение шпинатом и горчицей было выше из песчаной почвы по сравнению с илистой суглинковой [6].

## Всасывание лития растениями из почвы

Ионы Li<sup>+</sup> легко поглощаются корнями растений и перемещаются в побеги. Li<sup>+</sup> может проникать в корневые клетки через несколько предполагаемых транспортёров (НКТ, LCT1, NSCC) и накапливаться в цитозоле клеток растений [7]. Из цитозоля ионы Li<sup>+</sup> посредством специальных белков-транспортёров НКТ поступают в ксилему. Транспортёры НКТ являются переносчиками моновалентных катионов и играют важную роль в гомеостазе K<sup>+</sup> [8]. Неселективные катионные каналы (NSCC) также вовлечены во всасывание Li<sup>+</sup> [9].

В экспериментах с растениями *Brassica napus*, *Brassica oleracea* (cv. *Capitate*), *Helianthus annuus*, *Solanum lycopersicum* и *Cardamine hirsuta*, выращенными при различных концентрациях лития в почве (0–1000 мг/кг), показано, что содержание лития до 50 мг/кг не оказывает значимого влияния на урожайность сухой биомассы указанных видов растений. Рапс однолетний (*Brassica napus*) оказался исключительно толерантным и отзывчивым к накоплению лития, удваивая общую массу сухого вещества при содержании лития в почве в количестве 1000 мг/кг [10].

Известны растения — концентраторы лития: дурман (*Lycium ruthenicum*), василистник семейства лютиковых (*Thalictrum minus*) [2, 11]. В галофильных растениях *Carduus arvensis* (чертополох) и *Holoschoenus vulgaris* (камышевидник семейства осоковых) содержание лития может достигать 99,6–226,4 мкг/г. Из распространённых овощей самая высокая концентрация лития была в свёкле (*B. vulgaris*), затем в *S. oleracea* (шпинат) и *L. sativa* (салат-латук) [12].

## Воздействие лития на метаболизм полезных растений

Первые сообщения о литии как микроудобрении появились в начале XXI века, когда было открыто общебиологическое значение этого элемента. Влияние лития на те или иные растения зависит от дозы: при высоком содержании лития в почве (50 мг/дм<sup>3</sup>) рост зачастую замедляется, тогда как более низкое содержание (5 мг/дм<sup>3</sup>) стимулирует рост растений. Естественно, что эти эффекты лития зависят от конкретного растения. Например, воздействие на растения подсолнечника и кукурузы возрастных концентраций лития (0–50 мг/дм<sup>3</sup>) в питательном растворе вызывало изменения биомассы, площади листьев и накопления фотосинтетических пигментов, а также уровня перекисного окисления липидов. В то же время подсолнечник накапливал значительно больше Li, чем кукуруза [13].

Повышение содержания лития в почве увеличивает и скорость фиксации CO<sub>2</sub>, особенно в период цветения, скорость фотодыхания повышается на 26–28% по сравнению с растениями, выращиваемыми на безлитиевой почве. Отмечено положительное влияние лития на содержание хлорофилла, фотосинтез, углеводный и азотный обмен веществ, дыхание, содержание нуклеиновых и органических кислот, а также накопление биомассы в сельскохозяйственных растениях [14].

Пороги токсичности лития для растений обычно очень высоки. Например, для свёклы *B. vulgaris* (листья), *L. sativa* и *B. nigra* эта величина составляет более 500 мг/кг сухого вещества растения. При превышении этого порога токсичности у растений постепенно развивался хлороз, появлялись некротические пятна на краях и кончиках листьев [15].

Эксперименты с литийсодержащими удобрениями показали интенсификацию синтеза сахара в листьях и превращения сахара в крахмал в клубнях картофеля *Solanum tuberosum*, в результате чего повышалась биомасса клубней [14]. Этот эффект лития полезен для выращивания кар-

## Содержание лития в съедобных тканях сельскохозяйственных растений и готовых к употреблению пищевых продуктах на их основе

### Lithium content in edible tissues of agricultural plants and ready-to-eat food products based on them

Растения Plants	Почва/гидропоника Soil/Hydroponics	Уровень лития в субстрате Substrate Lithium Level	Сухой вес Dry wt.	Свежий вес Fresh wt.	Лития (мкг) в 100 г Basis Lithium (mcg) per 100g	Автор, год исследования Author, year of research
Салат посевной Lettuce <i>L. sativa</i>	Гидропоника Hydroponics	2.5 мг/л   mg/L	225	9 (96% H <sub>2</sub> O)	900	Kalinowska et al., 2013 [13]
	Земля / Soil	5 мг/кг   mg/kg	500	20	2000	Yalamanchali, 2012 [19]
Шпинат Spinach <i>S. oleracea</i>	Земля / Soil	20 мг/кг   mg/kg	165	11.5 (93% H <sub>2</sub> O)	1150	Bakhat et al., 2020 [21]
		40 мг/кг   mg/kg	170	11.9	1190	Makus et al., 2006 [6]
		11 мг/кг   mg/kg	266	18.6	1860	Makus, Zibilske, 2008 [22]
Горчица Mustard <i>B. juncea</i>	Земля / Soil	40 мг/кг   mg/kg	240	36.0 (85% H <sub>2</sub> O)	3600	Makus et al., 2006 [6]
		11 мг/кг   mg/kg	414	62.2	6220	Makus, Zibilske, 2008 [22]
	Торф и твёрдые биоотходы, 1 : 2 Peat and solid biowaste, 1 : 2	3 г LiCl/л 3 g LiCl/L	319	47.9 (85% H <sub>2</sub> O)	4790	Elektorowicz, Keropian, 2015 [23]
Горчица Mustard <i>B. napus</i>	Земля / Soil	50 мг/кг   mg/kg	7.7	1.16 (85% H <sub>2</sub> O)	116	Kavanagh et al., 2018 [10]
Капуста белокочанная Cabbage <i>B. oleracea</i>	Земля / Soil	–	971	77,68 (92% H <sub>2</sub> O)	7768	Kavanagh et al., 2018 [10]
Помидор Tomato <i>L. esculentum</i>	Земля / Soil	5 мг/кг   mg/kg	16.9	0,845 (95% H <sub>2</sub> O)	84,6	Kavanagh et al., 2018 [10]
Свёкла обыкновенная Beetroot <i>B. vulgaris</i>	Земля / Soil	5 мг/кг   mg/kg	500	50 (90% H <sub>2</sub> O)	5000	Yalamanchali, 2012 [19]
Горчица черная Black mustard <i>B. nigra</i>	Земля / Soil	5 мг/кг   mg/kg	500	75 (85% H <sub>2</sub> O)	7500	Yalamanchali, 2012 [19]

тофеля в засушливых регионах, поскольку засуха и стресс от засоления критически ограничивают производство картофеля. В эксперименте проростки двух сортов картофеля, BARI-401 и Spunta, подвергали воздействию растворов LiCl в разных концентрациях (0; 10; 30 и 40 мМ) и маннитом (0; 50; 100; 200 и 250 мМ), показали дозозависимое повышение способности к нейтрализации активных форм кислорода (АФК) (в большей мере у сорта Spunta). Активность пероксидазодисмутазы (POD) значительно увеличилась у обоих сортов для всех изученных доз [16].

У фасоли *Phaseolus vulgaris* L. при содержании лития в воде для полива 4 мг/л значительно увеличились высота растения, вес, площадь первого листа. Ростостимулирующий эффект Li<sup>+</sup> был зафиксирован для салата при концентрации лития 7 и 14 мг/л. При уровне Li<sup>+</sup> в питательном растворе 2,5 мг/л (в виде гидроксида) свежий вес корней увеличился на 69%, а свежий вес побегов – на 5% [13].

В салате зафиксировано линейное повышение концентрации Li<sup>+</sup> при увеличении концентрации Li<sup>+</sup> в питательном растворе с 0 до 100 мг/л. Максимальная концентрация в побегах, достигнутая без потери урожая, составила ≈ 225 мг/кг сухого веса, и она была получена при уровне Li<sup>+</sup> в питательном растворе 2,5 мг/л [13].

В шпинате, выращенном в горшках на щелочной известковой почве, было достигнуто содержание 1490 мг/кг сухого вещества без какой-либо значительной потери урожая в трёх урожаях при внесении до 80 мг/кг лития в почву [17]. Внесение лития в почву в дозе 20 мг/кг приводило к накоплению элемента в сухой массе растений до 165 мг/кг в трёх последовательных урожаях. С учётом среднего 93%-го содержания воды в свежем шпинате это значение соответ-

ствует примерно 11,5 мг/кг свежей биомассы. Потребление 100 г такого шпината, биофортифицированного литием, может обеспечить 115% рекомендуемой суточной потребности в этом элементе [13].

### Обогащение (биофортификация) овощей литием через почву

Повышение обеспеченности населения литием может быть достигнуто за счёт использования растительных продуктов, обогащённых литием, а также применения витаминно-минеральных комплексов, содержащих органические соли лития [18]. Обогащение растений литием является достойной внимания стратегией для повышений обеспеченности организма литием с целью снижения импульсивно-агрессивного поведения и поддержания психического здоровья в масштабе популяций.

Значительная концентрация лития в съедобных частях растений может быть достигнута путём внесения солей лития в почву или в другие субстраты для выращивания растений. Овощи, а именно свёкла *B. vulgaris* (листья), салат-латук *L. sativa* и горчица *B. nigra*, накапливают до 500 мг лития на 1 кг сухого вещества при внесении солей лития в почву в количестве всего лишь 5 мг/кг элементного лития [19]. Применение органического удобрения Li-Se для выращивания пяти сортов винограда привело к повышению концентрации Li<sup>+</sup> в соке с 0,9 до 11,73 мкг/кг, а в высушенной кожце винограда – с 62,2 до 311 мкг/кг [20]. Концентрация лития в листьях и плодах различных сельскохозяйственных культур, а также поступление лития в организм при потреблении стограммовой порции овощей, обогащённых литием, представлены в **таблице**.

Шпинат и зелень горчицы накапливают до 240 мг/кг лития из почв, в которые вносили литий (в виде  $\text{LiSO}_4$ ) в количестве 40 мг/кг почвы при посеве, через 32; 39 и 52 дня после посева [22]. Шпинат, выращенный в долине Иордана, содержит 4,6 мг/кг  $\text{Li}^+$ , а потребление 200 г шпината (содержащего  $\approx 0,920$  мг  $\text{Li}$ ) может обеспечить потребление  $\text{Li}^+$ , почти эквивалентное рекомендуемому суточному потреблению (1 мг/сут) [24]. Добавление сульфата лития (5,5 и 11 мг/кг почвы) на супесчаных и иловатых суглинистых почвах линейно увеличивало содержание  $\text{Li}^+$  в листьях шпината и зелени горчицы, не оказывая отрицательного воздействия на рост этих растений [22].

Внесение лития (10–80 мг/кг) в почву благоприятно влияло на рост кукурузы и гороха. Накопление  $\text{Li}^+$  в листьях составило 1127–4719 мг/кг сухого веса с преимущественным содержанием элемента в цитоплазме (38–90%). Водный шпинат *Ipomoea aquatica* показал превосходную способность к накоплению  $\text{Li}^+$  в листьях и признан перспективным кандидатом для стратегий компенсации дефицита лития фитопродуктами. Переход от неорганического лития в почве к органическим комплексам лития в растениях указывает на то, что людям необходимо потреблять органические формы лития, которые более естественны для пищевых цепей [25].

Рост сои и способность к образованию клубеньков зависели от содержания лития: высокое содержание (100 мг/кг) снижало количество клубеньков, вес и фиксацию азота, тогда как низкие (25 мг/кг) и средние (50 мг/кг) уровни поддерживали фиксацию азота за счёт улучшения его усвоения и усиления метаболизма (мочевина, глутамин и глутамат). Слабое образование клубеньков сои при чрезмерно высоком содержании  $\text{Li}^+$  обусловлено снижением численности бактерий рода *Ensifer* в сообществе клубеньковых бактерий [26].

Урожайность киноа также зависит от содержания лития в растворах для проращивания и выращивания (0; 2; 4; 8 и 16 мМ). Прорастание семян киноа было самым высоким (на 64% выше, чем в контроле) при промежуточном содержании лития (8 мМ). При содержании лития 8 мМ отмечено достоверное повышение длины побега (на 130%), сухого веса побега (на 300%), длины корня (на 244%), сухого веса корня (на 858%) и урожайности зерна (на 185%) по сравнению с контролем.  $\text{Li}^+$  увеличил накопление кальция, каротиноидов и натрия в побегах киноа без изменения содержания хлорофилла. Активность ферментов-антиоксидантов (пероксидисмутазы, каталазы и супероксиддисмутазы) также увеличилась с повышением уровня иона  $\text{Li}^+$  в почве. Таким образом, дотации  $\text{Li}^+$  при концентрации 8 мМ оптимальны для выращивания киноа [27].

## Обогащение литием грибов

Выращивание трёх видов пищевых грибов (*Ganoderma lucidum*, *Pleurotus eryngii* и *Pleurotus ostreatus*) на субстрате, содержащем 0,2–1,0 мМ  $\text{Li}$ , показало, что *G. lucidum* является самым большим накопителем лития (25–74 мг лития на 1 кг сухой массы плодовых тел) [28]. Концентрация  $\text{Li}^+$  в плодовых телах этих грибов достаточна для удовлетворения суточной потребности: потребление 100 г свежих *Ganoderma lucidum*, *Pleurotus eryngii* и *Pleurotus ostreatus*, выращенных при содержании 1 мМ  $\text{Li}^+$  в субстрате, может обеспечить соответственно 260; 80 и 50% от условно рекомендуемого пищевого потребления. Также при потреблении 100 г свежей биомассы грибов *Agarocybe cylindracea* и *Hericium erinaceus*, выращенных с 0,75 мМ ацетата лития или 1 мМ хлорида лития, может обеспечить 23 и 69% соответственно от рекомендуемого уровня суточного потребления лития [29].

Биообогащение грибковой биомассы необходимыми микроэлементами для производства пищевых добавок имеет некоторые традиции (например, производство дрожжей и грибов, обогащённых селеном). Литирование белых грибов *Agaricus bisporus* с использованием коммерческого компоста, обогащённого  $\text{LiNO}_3$ , показало, что обогащение

почвы литием на уровнях 1; 5; 10; 50 и 100 мг/кг привело к увеличению содержания лития в грибах на 0,7; 5; 7,4; 19 и 21 мг/кг; в контрольной группе содержание лития в грибах было крайне низким (0,031 мг/кг). Очевидно, что дозы в 50 и 100 мг/кг соответствовали насыщению тканей гриба литием, так что содержание лития выше 50 мкг/кг нецелесообразно. При перегрузке почвы литием (500 мг/кг) мицелий не производил грибов [30].

Вёшенка обыкновенная (*Pleurotus ostreatus*) – гриб, биоаккумулирующий МЭ в базидиокарпах (плодовое тело) и вегетативном мицелии. Вёшенки используются не только в пищу, но и для восстановления почвы, очистки воды от ряда тяжёлых металлов. Исследование биоаккумуляции лития в мицелии *P. ostreatus*, выращенных в среде культивирования жидкого солодового экстракта с  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  (0; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 100 или 200 мг/л лития), показало наибольшее биоаккумуляцию лития в мицелии (1575,29 мкг/г) при культивировании в среде с 40 мг/л лития [31].

Изучены рост, накопление и содержание минералов (Ca, K, Mg и Na) в грибах агроцибе цилиндрическая (*Agarocybe cylindracea*) и ежовик гребенчатый (*Hericium erinaceus*, используется в кулинарии и в качестве адаптогена), выращенных на субстратах с добавлением 0,25–1 мМ  $\text{Li}^+$  в виде ацетата или хлорида. Добавление  $\text{LiCl}$  приводило к дозозависимому всасыванию лития и его накоплению в плодовых телах гриба. Для *H. erinaceus* потребление 100 г его плодовых тел, полученных при выращивании с 1 мМ  $\text{Li}^+$  (в виде ацетата или хлорида), составит 69% от предварительной рекомендуемой суточной дозы  $\text{Li}^+$  (1 мг/сут) [29].

Таким образом, обогащение грибов литием имеет значительный потенциал для обеспечения ежедневных пищевых потребностей человека в этом эссенциальном ультрамикроэлементе. Такие биофортифицированные съедобные грибы могут использоваться и для нутрициальной поддержки фармакопсихотерапии пациентов (для использования в специальных диетах для пациентов с психическими расстройствами).

## Влияние лития в почве на концентрации других макро- и микроэлементов

При разработке рецептов биофортификации растений литием не должна ухудшаться концентрация других элементов, важных для жизни и роста растений. Внесение лития в почву в дозе 40 мг/кг почвы в двух типах почв влияло на концентрацию N, Mg, S, Na и Mn, но снижало концентрацию K, Ca, P, Fe, Zn и В в зелёных листьях шпината и горчицы [6]. Внесение солей лития (5,5 и 11 мг/кг) в почву для шпината и горчицы, выращенных на супесчаных и иловато-суглинистых почвах, по-разному воздействует на микроэлементный гомеостаз различных растений. Внесение  $\text{Li}^+$  не повлияло на концентрацию в шпинате N, Ca, Mg, Na, Mn, Fe, Zn и Cu, но значительно снизило концентрацию калия, P, S и В. Добавление лития в почву увеличило содержание в зелени горчицы макроэлементов N, P, K, Ca, S, Mg и МЭ Fe, Zn и не влияло на содержание Na, Mn, Cu и В [22]. Добавление солей лития в почву увеличило содержание азота в листьях пшеницы по сравнению с контрольными растениями [32]. Маловероятно, что внесение 5–30 мг/кг элементного лития в почву может негативно влиять на качество почвы как питательного биосубстрата для растений, поскольку литий сравнительно слабо связан в почве [19].

## Литий в экосистемах и в пищевых цепочках

За последние 40 лет были накоплены данные, указывающие на масштабную роль лития в экосистемах. Например, был проведён анализ биораспределения лития с использованием более 400 образцов растений и рыбы, других морских обитателей в экосистемах трёх контрастных биогеографических зон: умеренного климата (Бискайский залив, северо-восток Атлантического океана), тропического климата

(Новая Каледония, Тихий океан) и субполярного климата (острова Кергелен, юг Индийского океана, ближайший континент – Антарктида) [33].

Результаты исследований показали, что при потреблении лития организмами происходит восстановление его содержания в окружающей среде (биовосстановление), в том числе через пищевые цепочки. При этом организмы-фильтраторы (усоногие и листоногие раки, двустворчатые моллюски, морские лилии и др.) показывают самые высокие концентрации лития в тканях тела, а хищные рыбы – самые низкие. Распределение лития в морских организмах, по-видимому, в основном географически независимо и в большей степени зависит от температуры окружающей среды. Литий относительно равномерно распределён в океане (в среднем 0,18 мкг/мл), а концентрации  $\text{Li}^+$  в мягких тканях морских организмов варьируют в пределах двух порядков (от 0,01 до 1,2 мкг/г сухого веса), что указывает на преимущественное накопление лития в определённых органах и тканях. Жабры и почки рыб имеют сравнительно высокие концентрации  $\text{Li}^+$  (0,26 и 0,15 мкг/г соответственно), мозг рыб имеет большой диапазон содержания  $\text{Li}^+$  (от 0,1 до 0,34 мкг/г), тогда как печень и мышцы рыб бедны литием (0,07 ± 0,03 и 0,06 ± 0,08 мкг/г соответственно) [33].

В ходе комплексного исследования состава вод в устье реки Янцзы и в прилегающем Восточно-Китайском море получено пространственное распределение и биоаккумуляция лития в прибрежных пищевых цепочках. Концентрация лития увеличивалась с солёностью воды (от 7,4 до 189 мкг/л), то есть с содержанием натрия и хлора. Отрицательная корреляция наблюдалась между содержанием  $\text{Li}^+$  и стабильным изотопом азота в прибрежной биоте, что указывает на уменьшение содержания  $\text{Li}^+$  при восхождении вверх по пищевой цепи. Например, содержание  $\text{Li}^+$  в мышечных тканях было значительно выше у фильтрующих двустворчатых моллюсков (0,75 ± 0,41 мкг/г), чем у питающихся этими моллюсками рыб (0,1 ± 0,05 мкг/г). Биоаккумуляция  $\text{Li}^+$  в мышцах рыб сильно различается (0,17–5,82 у. е.), что указывает на более низкую биоаккумуляцию  $\text{Li}^+$  у рыб, обитающих в морских и в приморских регионах, по сравнению с пресноводными [34].

Интересны результаты исследований лития в экосистемах центральной части Андского плато, так называемого «литиевого треугольника», определяющего зону соляных озёр, богатых литием. Например, механизмы адаптации викунии включают питьё из соляных озёр. Образцы соляного раствора и воды имеют высокую солёность и содержат большое количество лития, бора и мышьяка. Однако в организм викунии всасываются преимущественно именно литий и бор, а мышьяк фильтруется: в костях и зубах викуний были найдены значительные количества лития (13,5–40 мг/кг) и бора (40–46,8 мг/кг), но не мышьяка [35].

В популяционной когорте «мать – ребёнок» жителей аргентинских Анд ( $n = 178$ ), где питьевая вода имеет повышенную концентрацию лития (95%-й ДИ 5–1660 мкг/л), содержание лития в крови достоверно коррелировало с уровнем этого элемента в воде. Медианная концентрация лития в крови матери составила 25 мкг/л (95%-й ДИ 2–145 мкг/л). Уровни лития в крови были положительно ассоциированы с уровнями магния (но не кальция или паратгормона) и отрицательно – с уровнями кальция и магния в моче (что указывает на магниевые и кальциевые-сберегающие эффекты лития) [36].

Литий, особенно в неорганических формах (сульфат, карбонат, хлорид), наиболее активно всасывается растениями, а человек и животные лучше усваивают  $\text{Li}$  из растений и из органических солей. Это подтверждают результаты анализа содержания лития в 1071 образце различных продуктов питания. Анализ показал снижение средней концентрации  $\text{Li}^+$  в следующем ряду пищевых продуктов: листовые овощи ( $\text{Li}^+ > 18$  мг/кг) > лук ( $\text{Li}^+ > 14$  мг/кг) > фрукты > бобовые > яичный белок > молочные продукты > яичный желток > мясо. Для всех проанализированных

образцов пищи расчётное суточное потребление  $\text{Li}^+$  было очень мало – не более 2 мкг/кг/сут [37].

Важно отметить взаимодействие лития с микробиомом почвы – обязательным компонентом всех экосистем, принципиально необходимым для роста растений. Бактерии почвы разлагают минералы для получения энергии и питательных веществ и играют важную роль в биологическом преобразовании элементов. Влияние лития на микроорганизмы, в том числе почвенные бактерии, дозозависимо: при очень высоких концентрациях жизнедеятельность бактерий ингибируется, а при более низких концентрациях стимулируется [38].

Оценено выщелачивающее действие двух родов бактерий (*Raoultella* и *Bacillus mucilaginosus*) с различными метаболическими характеристиками на минералы силиката лития с различной структурой. Представители рода *Raoultella* растут при температуре плюс 10 °С, что соответствует их извлечению из растений, почвы и воды. Силикатные бактерии *Bacillus mucilaginosus* способны растворять силикатные минералы и высвободить из них ионы щелочных металлов лития, натрия и калия [20]. Метаболическая активность двух исследованных штаммов бактерий существенно различалась. Экзометаболизм штамма *Raoultella* Z107 характеризовался высоким содержанием органических кислот, при этом уровень молочной кислоты составлял ≈ 11 г/л. Штамм *Bacillus mucilaginosus* 21699-ВМ секретировал капсульный полисахарид, характеризующийся комплексобразующими свойствами с ионами МЭ [20].

Таким образом, растворение минералов силиката лития бактериями представляет собой комбинацию бактериальной адсорбции, коррозии органических кислот и комплексобразования низкомолекулярных органических кислот и макромолекулярных полимеров с ионами металлов. Совместно кислотное выщелачивание лития и других МЭ из почвы и комплексобразование МЭ с органическими кислотами в большей степени влияют на увеличение содержания подвижного лития в почвах, чем каждый из этих факторов по отдельности [20].

Изучение свойств почв, обработанных 10–1280 мг/кг лития, показало значительное увеличение содержания аммонийного азота (на 64–217%), общего азота (на 23–131%) и обменного калия (на 5–16%), обусловленных жизнедеятельностью бактерий почвы [25].

Существуют и более специфические примеры участия лития в поддержании экосистем и их отдельных компонентов. Например, соединения лития эффективны в уничтожении *Varroa destructor* (паразит медоносной пчелы), что открывает возможности для новых способов лечения пчёл (например, использование литиевых полосок) [39]. В линии пигментных клеток меланофоров аквариумной рыбки-зебры (*Danio rerio*)  $\text{LiCl}$  через сигнальные пути инозитолфосфатов оказал стимулирующее действие на формирование характерных для этих рыб ярких и чётких полосок, участвующих в формировании пигментного рисунка. Пигментация намного улучшилась в эмбрионах, обработанных  $\text{LiCl}$ , эффект был вызван не увеличением пролиферации меланофоров, а повышением биосинтеза и накопления меланина [40].

Экологически значимые дозы лития оказывают благотворное влияние на психическое здоровье человека в масштабе популяций, приводя к снижению уровня самоубийств и насилия. Например, многократно подтверждены ассоциации между более высокими уровнями лития в воде и более низким уровнем самоубийств. В частности, был проведён анализ выборки 3123 измерений лития в пробах воды систем водоснабжения в штате Техас в сопоставлении с уровнем самоубийств в 226 округах штата. Результаты подтверждают, что более высокий уровень лития в питьевой воде связан с более низким уровнем самоубийств [41]. Обосновано рекомендованное суточное потребление лития с пищей, водой и витаминно-минеральными комплексами: 1000 мкг/сут для взрослого человека весом 70 кг, то есть 14,3 мкг/кг массы тела [42].

## Заключение

Проведенный анализ научной литературы свидетельствует о значительной роли лития в биогeoхимических процессах и функционировании природных экосистем. Литий накапливается в растениях, грибах и других организмах. Результаты многочисленных исследований показывают, что внесение соединений лития в почву способствует его накоплению в сельскохозяйственных культурах, включая листовые овощи, зерновые растения и грибы. Установлено, что литий может влиять на ряд физиологических процессов растений, включая фотосинтез, азотный обмен и антиоксидантную защиту, что в ряде случаев сопровождается увеличением биомассы растений. Современные данные также свидетельствуют о том, что традиционные пищевые про-

дукты содержат относительно небольшие количества лития. По данным различных исследований, среднее поступление лития с пищей составляет менее 140 мкг/сут, что значительно ниже предполагаемого оптимального уровня потребления. При этом популяционные исследования демонстрируют ассоциации между концентрацией лития в питьевой воде и некоторыми показателями общественного здоровья. Совокупность имеющихся данных указывает на перспективность биофортификации растений и грибов литием как одного из возможных подходов к повышению обеспеченности населения данным микроэлементом. Дальнейшие исследования должны быть направлены на уточнение биогeoхимических механизмов миграции лития в экосистемах, оценку его биодоступности в пищевых продуктах и разработку безопасных стратегий повышения его поступления в рацион человека.

## Литература

(п.п. 1, 3, 5–13, 15–31, 33–42 см. References)

2. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. *Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология*. М.: Медицина; 1991.
4. Торшин И.Ю., Громова О.А., Стаховская Л.В., Ванчакова Н.П., Галустян А.Н., Кобалава Ж.Д. и др. Анализ 19,9 млн публикаций базы данных PubMed/MEDLINE методами искусственного интеллекта: подходы к обобщению накопленных данных и феномен «fake news». *Фармакоэкономика. Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология*. 2020; 13(2): 146–63. <https://doi.org/10.17749/2070-4909/farmakoeconomika.2020.021> <https://elibrary.ru/dfeael>
14. Охрименко М.Я., Кузьменко Л.М. Действие соединений лития и их значение для растений. В кн.: Власюк П.А., ред. *Удобрения и препараты, содержащие микроэлементы*. Киев: Наукова думка; 1975.
32. Богдан Т.З., Кузьменко Л.М., Стасик О.О., Ткачук Е.Д. Азотистый обмен и фотосинтетические процессы у озимой пшеницы под действием лития. *Физиология и биохимия культурных растений*. 1994; 26(2): 142–7.
1. Schrauzer G.N. Lithium: occurrence, dietary intakes, nutritional essentiality. *J. Am. Coll. Nutr.* 2002; 21(1): 14–21. <https://doi.org/10.1080/07315724.2002.10719188>
2. Avtsyn A.P., Zhavoronkov A.A., Rish M.A., Strochkova L.S. *Human Microelementoses: Etiology, Classification, Organopathology [Mikroelementozy cheloveka: etiologiya, klassifikatsiya, organopatologiya]*. Moscow: Meditsina; 1991. (in Russian)
3. Mahmudion T., Fakhri Y., Daraei H., Mehri F., Einolghozati M., Mohamadi S., et al. The concentration of Lithium in water resources: A systematic review, meta-analysis and health risk assessment. *Rev. Environ. Health.* 2023; 39(4): 667–77. <https://doi.org/10.1515/revh-2023-0025>
4. Torshin I.Yu., Gromova O.A., Stakhovskaya L.V., Vanchakova N.P., Galustyan A.N., Kobalava Zh.D., et al. Analysis of 19.9 million publications from the PubMed/MEDLINE database using artificial intelligence methods: approaches to the generalizations of accumulated data and the phenomenon of «fake news». *Farmakoeconomika. Sovremennaya farmakoeconomika i farmakoehipidemiologiya*. 2020; 13(2): 146–63. <https://doi.org/10.17749/2070-4909/farmakoeconomika.2020.021> <https://elibrary.ru/dfeael> (in Russian)
5. Naeem A., Aslam M., Saifullah, Mühlhng K.H. Lithium: Perspectives of nutritional beneficence, dietary intake, biogeochemistry, and biofortification of vegetables and mushrooms. *Sci. Total Environ.* 2021; 798: 149249. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149249>
6. Makus D.J., Zibilske L., Lester G. Effect of light intensity, soil type, and lithium addition on spinach and mustard greens leaf constituents. *Subtrop. Plant Sci.* 2006; 58: 35–41. Available at: <https://subplantsci.org/wp-content/uploads/2016/02/SPSJ-58-35-41-Makus-et-al.pdf>
7. Tanveer M., Hasanuzzaman M., Wang L. Lithium in environment and potential targets to reduce lithium toxicity in plants. *J. Plant Growth Regul.* 2019; 38: 1574–86. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-09957-2>
8. Waters S., Gilliam M., Hrmova M. Plant high-affinity potassium (HKT) transporters involved in salinity tolerance: structural insights to probe differences in ion selectivity. *Int. J. Mol. Sci.* 2013; 14(4): 7660–80. <https://doi.org/10.3390/ijms140476609>
9. Demidchik V., Davenport R.J., Tester M. Nonselective cation channels in plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2002; 53: 67–107. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.53.091901.161540>
10. Kavanagh L., Keohane J., Cabellos G.G., Lloyd A., Cleary J. Induced plant accumulation of lithium. *Geosciences*. 2018; 8(2): 56. <https://doi.org/10.3390/geosciences8020056>
11. Bach R.O. Some aspects of lithium in living systems. In: Bach R.O., Gallicchio V.S., eds. *Lithium and Cell Physiology*. New York: Springer; 1990. [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3324-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3324-4_1)
12. Gartler J., Robinson B., Burton K., Clucas L. Carbonaceous soil amendments to biofortify crop plants with zinc. *Sci. Total Environ.* 2013; 465: 308–13. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.10.027>
13. Hawrylak-Nowak B., Kalinowska M., Szymańska M. A study on selected physiological parameters of plants grown under lithium supplementation. *Biol. Trace Elem. Res.* 2012; 149(3): 425–30. <https://doi.org/10.1007/s12011-012-9435-4>
14. Okhrimenko M.Ya., Kuz'menko L.M. The effect of lithium compounds and their im-portance in plants. In: Vlasjuk P.A., ed. *Fertilizers and Preparations Containing Trace Elements [Udobreniya i preparaty, sodержashchie mikroelementy]*. Kiev: Naukova Dumka; 1975. (in Russian)
15. Kalinowska M., Hawrylak-Nowak B., Szymańska M. The influence of two lithium forms on the growth, L-ascorbic acid content and lithium accumulation in lettuce plants. *Biol. Trace Elem. Res.* 2013; 152(2): 251–7. <https://doi.org/10.1007/s12011-013-9606-y>
16. Sattar F.A., Hamooh B.T., Wellman G., Ali M.A., Shah S.H., Anwar Y., et al. Growth and biochemical responses of potato cultivars under in vitro LiCl and mannitol simulated salinity and drought stress. *Plants (Basel)*. 2021; 10(5): 924. <https://doi.org/10.3390/plants10050924>
17. Bakhat H.F., Rasul K., Farooq A.B.U., Zia Z., Natasha, Fahad S., et al. Growth and physiological response of spinach to various lithium concentrations in soil. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2020; 27(32): 39717–25. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06877-2>
18. Goldstein M.R., Masciotti L. Is violence in part a lithium deficiency state? *Med. Hypotheses*. 2016; 89: 40–2. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2016.02.002>
19. Robinson B.H., Yalamanchali R., Reiser R., Dickinson N.M. Lithium as an emerging environmental contaminant: Mobility in the soil-plant system. *Chemosphere*. 2018; 197: 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.012>
20. Zhao X., Zhou Y., Ding C., Wang X., Zhang X., Wang R., et al. Lithium extraction from typical lithium silicate ores by two bacteria with different metabolic characteristics: Experiments, mechanism and significance. *J. Environ. Manage.* 2023; 347: 119082. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119082>
21. Xu C., Zhao X., Duan H., Gu W., Zhang D., Wang R., Lu X. Synergistic enzymatic mechanism of lepidolite leaching enhanced by a mixture of *Bacillus mucilaginosus* and *Bacillus circulans*. *Sci Total Environ.* 2024; 15; 947:174711. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174711>
22. Makus D.J., Zibilske L. Spinach and mustard greens response to soil texture, sulfur addition and lithium level. *Subtrop. Plant Sci.* 2009; 60: 69–77. <https://subplantsci.org/wp-content/uploads/2016/02/SPSJ-60-69-77-Makus-Zibilske.pdf>
23. Erdemir U.S., Gucer S. Correlation of lithium bioaccessibility from tea (*Camellia sinensis* L.) with tea type and consumption habits. *Food Chem.* 2018; 244: 364–70. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.053>
24. Ammari T.G., Al-Zu'bi Y., Abu-Baker S., Dababneh B., Gnemat W., Tahboub A. The occurrence of lithium in the environment of the Jordan Valley and its transfer into the food chain. *Environ. Geochem. Health.* 2011; 33(5): 427–37. <https://doi.org/10.1007/s10653-010-9343-5>
25. Xu Z., Peng S., Pei L., Zhou K., Wang X. Integrated analysis of pollution characteristic and ecotoxicological effect reveals the fate of lithium in soil-plant systems: a challenge to global sustainability. *Environ. Sci. Technol.* 2024; 58(35): 15755–65. <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c0247126>
26. Shakoor N., Hussain M., Adeel M., Azeem I., Ahmad M.A., Zain M., et al. Lithium-induced alterations in soybean nodulation and nitrogen fixation through multifunctional mechanisms. *Sci. Total Environ.* 2023; 904: 166438. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166438>
27. Afzal S., Bakhat H.F., Shahid M., Shah G.M., Abbas G. Assessment of lithium bioaccumulation by quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) and its implication for human health. *Environ. Geochem. Health.* 2023; 45(8): 6517–32. <https://doi.org/10.1007/s10653-023-01659-9>

## Review article

28. Mleczek M., Siwulski M., Rzymiski P., Budzyńska S., Gasecka M., Kalač P., et al. Cultivation of mushrooms for production of food biofortified with lithium. *Eur. Food Res. Technol.* 2017; 243(6): 1097–104. <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2823-9>
29. Rzymiski P., Niedzielski P., Siwulski M., Mleczek M., Budzyńska S., Gasecka M., et al. Lithium biofortification of medicinal mushrooms *Agrocybe cylindracea* and *Hericium erinaceus*. *J. Food Sci. Technol.* 2017; 54(8): 2387–93. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2679-4>
30. Pankavec S., Falandysz J., Hanč A., Komorowicz I., Barańkiewicz D., Fernandes A.R. Enhancing the lithium content of white button mushrooms *Agaricus bisporus* using LiNO<sub>3</sub> fortified compost: effects on the uptake of Li<sup>+</sup> and other trace elements. *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control Expo. Risk Assess.* 2021; 38(7): 1193–205. <https://doi.org/10.1080/19440049.2021.1912401>
31. Faria M.G.L., do Valle J.S., Lopes A.D., Gonçalves A.C. Jr., Dragunski D.C., Colauto N.B., et al. Bioaccumulation of Lithium (Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) in Mycelia of the Culinary-Medicinal Oyster Mushroom, *Pleurotus ostreatus* (Agaricomycetes). *Int. J. Med. Mushrooms.* 2018; 20(9): 901–7. <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.2018027343>
32. Bogdan T.Z., Kuz'menko L.M., Stasik O.O., Tkachuk E.D. Nitrogen metabolism and photosynthetic processes in winter wheat under the action of lithium. *Fiziologiya i biokhimiya kul'turnykh rastenii.* 1994; 26(2): 142–7. (in Russian)
33. Thibon F., Weppe L., Vigier N., Churlaud C., Lacoue-Labarthe T., Metian M., et al. Large-scale survey of lithium concentrations in marine organisms. *Sci. Total Environ.* 2021; 751: 141453. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141453>
34. Zou C., Wang R., Yang S., Yin D. Importance of salinity on regulating the environmental fate and bioaccumulation of lithium in the Yangtze River Estuary. *Sci. Total Environ.* 2024; 954: 176648. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176648>
35. López Steinmetz R.L., Fong S.B., Boyer E., López Steinmetz L.C., Tejerina N.E., Meuric V. Lithium and boron in calcified tissues of vicuña and their relation to chronic exposure by water ingestion in the Andean lithium triangle. *Environ. Toxicol. Chem.* 2020; 39(1): 200–9. <https://doi.org/10.1002/etc.4608>
36. Harari F., Åkesson A., Casimiro E., Lu Y., Vahter M. Exposure to lithium through drinking water and calcium homeostasis during pregnancy: A longitudinal study. *Environ. Res.* 2016; 147: 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.01.031>
37. Iordache A.M., Voica C., Roba C., Nechita C. Lithium content and its nutritional beneficence, dietary intake, and impact on human health in edibles from the Romanian market. *Foods.* 2024; 13(4): 592. <https://doi.org/10.3390/foods13040592>
38. Plotnikov E., Pukhnyarskaya D., Chernova A. Lithium and microorganisms: biological effects and mechanisms. *Curr. Pharm. Biotechnol.* 2023; 24(13): 1623–9. <https://doi.org/10.2174/1389201024666230302153849>
39. Kolics É., Mátyás K., Taller J., Specziár A., Kolics B. Contact effect contribution to the high efficiency of lithium chloride against the mite parasite of the honey bee. *Insects.* 2020; 11(6): 333. <https://doi.org/10.3390/insects11060333>
40. Jin E.J., Thibaudeau G. Effects of lithium on pigmentation in the embryonic zebrafish (*Brachydanio rerio*). *Biochim. Biophys. Acta.* 1999; 1449(1): 93–9. [https://doi.org/10.1016/s0167-4889\(98\)00176-1](https://doi.org/10.1016/s0167-4889(98)00176-1)
41. Blüml V., Regier M.D., Hlavin G., Rockett I.R., König F., Vyssoki B., et al. Lithium in the public water supply and suicide mortality in Texas. *J. Psychiatr. Res.* 2013; 47(3): 407–11. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2012.12.002>
42. Szklarska D., Rzymiski P. Is lithium a micronutrient? From biological activity and epidemiological observation to food fortification. *Biol. Trace Elem. Res.* 2019; 189(1): 18–27. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1455-2>

## Сведения об авторах

**Торшин Иван Юрьевич**, канд. физ.-мат. наук, канд. хим. наук, вед. науч. сотр. ФИЦ «Информатика и управление» РАН, 119333, Москва, Россия. E-mail: [tiy135@yahoo.com](mailto:tiy135@yahoo.com)

**Максимов Валерий Алексеевич**, доктор мед. наук, профессор каф. диетологии и нутрициологии, гастроэнтеролог, РМАПО, 153012, Москва, Россия.

**Громов Андрей Николаевич**, инженер-исследователь ФИЦ ИУ РАН, 119333, Москва, Россия. E-mail: [gromlogin@gmail.com](mailto:gromlogin@gmail.com)

**Гаранин Алексей Алексеевич**, ассистент каф. фармакологии ФГБОУ ВО Ивановский ГМУ Минздрава России, Иваново, Россия.

**Громова Ольга Алексеевна**, доктор мед. наук, профессор, вед. науч. сотр. ФИЦ «Информатика и управление» РАН, 119333, Москва, Россия. E-mail: [unesco.gromova@gmail.com](mailto:unesco.gromova@gmail.com)

## About the authors

**Ivan Yu. Torshin**, PhD (Physics&Mathematics), PhD (Chemistry.), senior researcher, Federal Research Center “Computer Science and Control”, RAS, Moscow, 119333, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-2659-7998> E-mail: [tiy135@yahoo.com](mailto:tiy135@yahoo.com)

**Valery A. Maksimov**, DSc (Medicine), gastroenterologist, professor, Department of Dietetics and Nutrition, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Moscow, 125993, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-4120-1071>

**Andrey N. Gromov**, engineer-researcher, Federal Research Center “Computer Science and Control”, RAS, Moscow, 119333, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-7507-191X> E-mail: [gromlogin@gmail.com](mailto:gromlogin@gmail.com)

**Alexey A. Gararin**, assistant Department of pharmacology, Ivanovo State Medical University, Ivanovo, 153012, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0001-6673-554X>

**Olga A. Gromova**, DSc (Medicine), professor, research supervisor, Federal Research Center “Computer Science and Control”, RAS, Moscow, 119333, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-7663-710X> E-mail: [unesco.gromova@gmail.com](mailto:unesco.gromova@gmail.com)