

САДОВОДСТВО, ОВОЩЕВОДСТВО, ВИНОГРАДАРСТВО И ЛЕКАРСТВЕННЫЕ КУЛЬТУРЫ /
HORTICULTURE, VEGETABLE GROWING, VITICULTURE AND MEDICINAL CROPS

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2024.43.5>

КОМПЛЕКСНОЕ ОБОГАЩЕНИЕ РАСТЕНИЙ ЧЕСНОКА (*ALLIUM SATIVUM* L.) ГЕРМАНИЕМ И
СЕЛЕНОМ

Научная статья

Поляков А.В.¹, Алексеева Т.В.²*

¹ORCID : 0000-0002-5413-0770;

²ORCID : 0000-0002-9252-3153;

^{1,2}Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства — филиал «Федерального научного центра овощеводства», Верея, Российская Федерация

²Государственный университет просвещения, Мытищи, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (matilda8691[at]gmail.com)

Аннотация

Проведенные нами исследования показали высокую эффективность комплексного обогащения растений чеснока посевного (*Allium sativum* L.) германием и селеном путем трехкратной обработки растений в период начала, середины и окончания интенсивного роста листьев герматранолом и селенитами калия или натрия, используемым в концентрации 0,15%, растворенным в 1%-ном растворе ДМСО, в дозе 100 мл раствора на 1 м² площади посадок растений, при помощи распылителя, обеспечивающего мелкодисперсный распыл путем смачивания обеих сторон всех листьев при температуре 20–25°C и отсутствии дождя в течение 2 часов после обработки.

Использование этого способа позволяет в 37,1 раза повысить содержание германия и 142,6 раза содержание селена в зубках чеснока и получить луковицы, содержащие 0,078 мг/кг германия и 6,7 мг/кг селена.

Ключевые слова: *Allium sativum* L., чеснок, германий, селен, обогащение, герматранол, диметилсульфоксид, Твин 80.

COMPLEX ENRICHMENT OF GARLIC PLANTS (*ALLIUM SATIVUM* L.) WITH GERMANIUM AND SELENIUM

Research article

Polyakov A.V.¹, Alekseeva T.V.²*

¹ORCID : 0000-0002-5413-0770;

²ORCID : 0000-0002-9252-3153;

^{1,2}All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing — branch of the Federal Scientific Center of Vegetable Growing, Vereya, Russian Federation

²State University of Education, Mytischki, Russian Federation

* Corresponding author (matilda8691[at]gmail.com)

Abstract

Our studies have demonstrated high efficiency of complex enrichment of garlic plants (*Allium sativum* L.) with germanium and selenium by triple treatment of plants during the beginning, middle and end of intensive leaf growth with germatranol and potassium or sodium selenite, used at a concentration of 0.15%, dissolved in 1% DMSO solution, at a dose of 100 ml of solution per 1 m² of planting area, using a sprayer that provides a fine spray by wetting both sides of all leaves at a temperature of 20–25°C and absence of rain within 2 hours after treatment.

The use of this method allows to increase the content of germanium by 37.1 times and the content of selenium by 142.6 times in garlic cloves and to obtain bulbs containing 0.078 mg/kg of germanium and 6.7 mg/kg of selenium.

Keywords: *Allium sativum* L., garlic, germanium, selenium, enrichment, germatranol, dimethyl sulfoxide, Tween 80.

Введение

В последние годы наблюдается повышенный интерес к исследованию жизненно необходимых или так называемых «эссенциальных» химических элементов, к которым относят Se, Fe, I, Cu, Zn, Co, Cr, Mo, Mn. Это обусловлено их важной ролью в обеспечении жизнедеятельности организмов и влиянии на здоровье человека.

Многочисленными исследованиями показано, что германий также является микроэлементом, который оказывает влияние на поддержание нормальной жизнедеятельности организма человека. Его норма потребления не установлена, однако имеется информация о том, что в Великобритании среднесуточное потребление германия взрослыми находится в пределах 0,001–0,018 мкг/кг, детьми (1,5–4,5 года) – 0,002–0,053, подростками (4–18 лет) – 0,001–0,032 и пожилыми – 0,001–0,016 мкг/кг массы тела [1]. Во Франции потребление германия составляет от 0,042 до 0,122 мкг/кг массы тела [2]. Установлено, что при недостаточном поступлении германия в организм человека повышается риск инфицирования и развития сердечно-сосудистых заболеваний, остеопороза, рака, артрита и иммунодефицита [3], [4]. Вместе с тем органические соединения германия проявляют антиоксидантные, противовирусные, противовоспалительные, противоопухолевые и иммуностимулирующие свойства, которые используют для ингибирования роста раковых клеток [5]. Информация о распространении и роли германия в литосфере [6], [7], [8], атмосфере [9], [10], [11], гидросфере [12], [13], [14], [15], в почве [8], [16], [17], [18], [19] и растениях [20], [24], [25], [28] свидетельствует о важной роли

этого элемента на нашей планете и интересе исследователей к нему. Усвоение германия растениями зависит от многих причин и прежде всего от вида растения [8].

По данным Б. А. Комарова с соавторами [21], [22], в корнях растений содержание этого элемента составляет: у одуванчика – 0,01–0,23 мг/кг, дягиля – 0,2 мг/кг, лопуха – 0,02 мг/кг, девясила – 0,003 мг/кг, окопника лекарственного – 0,02 мг/кг, а также в траве тысячелистника – 0,06 мг/кг, семенах овса – 0,03 мг/кг. В тканях алоэ его содержание может изменяться от 0,005 мг/кг [22] до 0,697–1,219 мг/кг [23]. Известно, что злаковые культуры накапливают германий в значительно больших концентрациях (169–449 мкг/кг), чем бобовые (15–50 мкг/кг) [8]. Концентрация германия в овощах и фруктах, как правило, ниже. Имеются данные, что содержание этого элемента в капусте составляет 0,893 мкг/кг, шпинате – 0,864 мкг/кг и огурце – 0,597 мкг/кг [26], [27]. Установлено, что женьшень и чеснок являются лидерами среди растений по способности накапливать этот элемент. Показано, что концентрация германия в тканях женьшеня может колебаться от 0,20 до 5,34 мг/кг в корнях и от 0,31 до 6,11 мг/кг в листьях [29], а в чесноке его содержание может составлять 2,8 и 3,2 мг/кг [24], [28] и даже 754 мг/кг [20]. В наших исследованиях, проведенных на 23 образцах чеснока, выращенных в различных регионах, концентрация германия не превышала 5,0 мкг/кг [30].

Известно, что дефицит селена у человека и сельскохозяйственных животных приводит к различным заболеваниям [31], [32]. Суточная норма потребления этого микроэлемента для взрослого населения России составляет 63 мкг в сутки [33].

Содержание селена в разных типах почв изменяется от 10 до 1000 мкг/кг [32], [34]. В среднем по России концентрация селена в почвах равна 300 мкг/кг. К селенодефицитным регионам относится Нечерноземная зона России, Южный Урал, Удмуртия, Карелия, Якутия, Забайкалье, Приморский край [32], [33].

Содержание селена в естественных травостоях колеблется в пределах 2–174 мкг/кг [35], в многолетних травах – 64–108 мкг/кг [36], зерне злаковых культур – 4–421 мкг/кг [37], семенах льна – 170–240 мкг/кг [38].

При низком содержании селена в почвах, для снижения дефицита этого элемента в организме человека, необходимо внесение селеносодержащих удобрений.

В исследованиях, проведенных Н. А. Голубкиной с соавт. (2018) установлено, что при совместном внесении в почву селената натрия (общая доза которого составляла 75 мг/м²) и жидких удобрений Fertika lux (N – 1,6; P₂O₅ – 2,0; K₂O – 2,7; Fe – 0,01; B – 0,002; Cu – 0,001; Mn – 0,01; Mo – 0,002; Zn – 0,001%) при выращивании чеснока, содержание селена в конечной продукции (порошке, полученном из луковиц) повысилось в 16,7 раз по сравнению с контролем и составило 1,5 ± 0,1 мг/кг сухой массы [39].

Одним из эффективных и безопасных способов использования германия и селена в лечебных и профилактических целях является получение органических форм путем выращивания растений, способных аккумулировать эти элементы и применение их в качестве удобрений. Литературных данных об одновременном обогащении растений селеном и германием нами обнаружено не было. В связи с этим важно уточнение способов обогащения растений соединениями, содержащими эти элементы.

Методы и принципы исследования

Исследования проведены на базе опытного участка Всероссийского научно-исследовательского института овощеводства – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства», д. Веря, Московская область.

Почва опытного участка супесчаная, содержание гумуса в слое 0–20 см составило 3,41–3,44%; в слое 20–40 см – 2,9–3,0%. Реакция среды нейтральная – рН солевой вытяжки 6,7. Гидролитическая кислотность 0,72–0,92 мг-экв. на 100 г почвы, содержание суммы поглощенных оснований 46–50 мг-экв. на 100 г почвы. Степень обеспеченности питательными веществами: фосфором – высокая (содержание P₂O₅ в слое 0–20 см составляла 22,8–24,6 мг на 100 г почвы (по Чирикову)); калием – низкая, содержание K₂O в слое 20 см – 10,4–17,9 мг на 100 г почвы (по Масловой). Удельный вес почв пахотного слоя 0–25 см составлял 2,61 г/см³. Капиллярная влагоемкость 43–44%. Гигроскопическая влажность – 8,25%.

Материалом для исследования служили растения, полученные из зубков чеснока озимого, сорта Гладиатор.

Для повышения эффективности проникновения герматранола и селенитов в растения использовали диметилсульфоксид (ДМСО) в концентрации 1,0% и Твин 80 в концентрации 0,1%.

При комплексном обогащении чеснока германием и селеном проводили трехкратную обработку листьев растений в период начала (2–3 листа), середины (4–5 листьев) и окончания интенсивного роста листьев (7–8 листьев) герматранолом в концентрации 0,15% и селенитами натрия и калия, используемых в концентрации 0,15% и растворенных в 1%-ном растворе диметилсульфоксида, в дозе 100 мл раствора на 1 м² посадок растений. Обработку проводили с обеих сторон всех листьев при помощи распылителя, обеспечивающего мелкодисперсный распыл жидкости при температуре 20–25°C.

Все опыты заложены в четырехкратной повторности, учетная площадь делянки 1,0 м², посев рядовой – расстояние между рядками 25 см, между растениями в рядке 10 см, длина рядка 1 м.

Уход за растениями в течение вегетации включал поливы, которые проводили по мере подсыхания почвы и борьбу с сорной растительностью, осуществляемую путем ручных прополок.

Для анализа образцов использовали не менее 10 зубков чеснока, выделенных из различных луковиц, выращенных в каждом варианте опыта.

Анализ зубков на содержание селена и германия выполнен по методу доктора Скального в ООО «Микронутриенты» [40]. Анализ проведен методом масс-спектрального анализа на приборе NexION 300D, (PerkinElmerInc., Shelton, CT 06484, USA), оснащенном газонаполняемой ячейкой системы DRC и семипортовым дозирующим клапаном FAST, а также автодозатором ESISCDX4 (ElementalScientificInc., Omaha, NE 68122, USA)

Основные результаты

Исследования показали, что эффективность накопления германия и селена в луковичах чеснока зависит от способа их внесения. Установлено, что некорневая подкормка герматранолом была примерно в 5 раз, а селенитами в 2,3–5,8 раза эффективнее, чем корневая. Так, при некорневой подкормке герматранолом содержание германия в луковичах составило 0,02 мг/кг, а при корневой <0,0042 мг/кг. При некорневой подкормке селенитом натрия и калия содержание селена в луковичах составило 0,47 мг/кг и 0,58 мг/кг, а при корневой – 0,2 мг/г и 0,1 мг/г, соответственно (табл. 1).

Эффективность накопления селена в луковичах зависела и от используемого селенита. Из используемых селенитов высокой эффективностью характеризовались селениты калия и натрия. При их применении содержание селена в луковичах возросло в 15 и 12 раз, соответственно, по сравнению с контролем. Наименьшая эффективность отмечена при применении селенита цинка.

Таблица 1 - Содержание селена и германия в образцах чеснока

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2024.43.5.1>

Вариант опыта	Корневая подкормка	Некорневая подкормка
Содержание германия, мг/кг		
Контроль	0,005±0,001	<0,0042
Герматранол	<0,0042	0,02±0,003
Содержание селена, мг/кг		
Контроль	0,04±0,006	0,03±0,005
Селенит натрия	0,47±0,057	0,20±0,024
Селенит калия	0,58±0,069	0,10±0,013
Селенит цинка	0,07±0,01	0,03±0,004

Известно, что ДМСО не только является хорошим растворителем различных органических веществ, но и способствует лучшему проникновению растворенных в нем веществ в ткани растений и других организмов. В наших исследованиях доказано, что добавление ДМСО в растворы герматранола и селенитов обеспечивает более эффективное накопление растениями чеснока германия и селена. Данный способ позволил получить зубки чеснока, содержащие 0,078 мг/кг германия и 6,700 – 7,390 мг/кг селена. Содержание германия в зубках при этом увеличилось в 37,1 раза по сравнению с контролем, а селена, при использовании селенита натрия в 157,2 раза и в 145,3 раза при использовании селенита калия (табл. 2).

Использование поверхностноактивных веществ широко распространено в практике растениеводства. Применение их способствует лучшей смачиваемости поверхности и улучшению контакта покровных тканей с растворами, что приводит к лучшему усвоению растениями растворенных веществ. В наших опытах добавление Твина 80 в растворы герматранола и селенитов привело к значительному улучшению поглощения ценных веществ. Содержание германия в зубках увеличилось в 28,6 раза, а селена в 169,8 (при применении селенита натрия) и 29,4 раза (при применении селенита калия) по сравнению с контролем.

Таблица 2 - Содержание германия и селена в зубках чеснока при применении германий- и селеносодержащих веществ

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2024.43.5.2>

Вариант обработки	Мг/кг	Кратность превышения
Содержание германия		
Контроль	< 0,0021	-
Герматранол + ДМСО	0,078±0,012	37,1
Герматранол + Твин 80	0,060±0,009	28,6
Содержание селена		
Контроль	0,047±0,007	-
Селенит натрия + ДМСО	7,390±0,740	157,2
Селенит натрия + Твин 80	7,980±0,800	169,8
Селенит калия + ДМСО	6,830±0,680	145,3
Селенит калия + Твин 80	1,380±0,140	29,4

При совместном применении герматранола и селенитов установлена более высокая эффективность применения ДМСО по сравнению с Твин 80. При обработке растений герматранолом, растворенном в ДМСО содержание германия в зубках увеличилось в 37,1 раза, а при использовании для этих целей Твин 80 – в 3,6 раза. При добавлении ДМСО в селенит калия содержание селена возросло в 142,6 раза, а при добавлении Твин 80 – 41,9 раза (табл. 3).

При совместном применении герматранола и селенита калия с добавлением ДМСО содержание германия и селена в зубках было высоким и практически не отличалось от содержания этих элементов при раздельном внесении германий- и селенсодержащих соединений.

Таблица 3 - Содержание германия и селена в зубках чеснока при совместном применении герматранола и селенита калия

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2024.43.5.3>

Вариант обработки	Содержание германия		Содержание селена	
	мг/кг	кратность превышения	мг/кг	кратность превышения
Контроль	< 0,0021	-	0,047±0,007	-
Герматранол+селенит калия+ДМСО	0,078±0,012	37,1	6,700±0,670	142,6
Герматранол + селенит калия + Твин 80	0,0075±0,0015	3,6	1,970±0,200	41,9

Установлено, что наиболее активно аккумулируют германий корни и листья. Концентрация германия в этих органах была в 115,2 и 141,0 раз выше, чем в контроле. В то время как в зубках и воздушных луковичках концентрация этого элемента превышала контроль в 37,1 и 45,7 раза (табл. 4). Учитывая высокую способность корней чеснока накапливать германий и высокую их массу, возможно, следует более детально изучить это явление с целью использования для приготовления БАД.

При содержании германия в зубках 0,078 мг/кг, суточной норме потребления его, принятой в Великобритании для взрослых, составляющей в среднем 0,013 мкг/кг, для удовлетворения потребности в этом элементе жителя России, средняя масса тела которого по данным статистических анализов 2023 г. равна 76 кг, достаточно в сутки съесть около 13 г обогащенного чеснока.

Наибольшей аккумулирующей способностью селена характеризовались зубки и воздушные луковички. Содержание селена в зубках было в 142,6 раза, а в воздушных луковичках в 67,9 раза меньше, чем в контроле. При этом содержание же этого элемента в листьях и корнях было в 7,8 и 12,7 раза выше, чем в контроле (табл. 4).

Учитывая полученные результаты, а именно, тот факт, что при использовании в пищу одного – двух зубков чеснока общей массой 10 г при содержании селена в зубках 6,7–7,4 мг/кг, масса селена составит 67–74 мкг. При суточной норме потребления этого элемента 63 мкг указанной массы чеснока будет достаточно для удовлетворения суточной потребности организма взрослого человека в этом элементе.

Таблица 4 - Содержание германия и селена в органах чеснока при комплексном обогащении

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2024.43.5.4>

Вариант обработки	Содержание германия		Содержание селена	
	мг/кг	кратность превышения	мг/кг	кратность превышения
Контроль, зубки	< 0,0021	-	0,047±0,007	-
Герматранол + селенит калия + DMSO, зубки	0,078±0,012	37,1	6,700±0,670	142,6
Герматранол + селенит калия + DMSO, корни	0,242±0,029	115,2	0,598±0,072	12,7
Герматранол + селенит калия + DMSO, листья	0,296±0,035	141,0	0,368±0,044	7,8
Герматранол + селенит калия + DMSO, воздушные луковички	0,096±0,014	45,7	3,190±0,320	67,9

Проведенные исследования показали, что, в целом, раздельная трехкратная обработка вегетирующих растений чеснока растворами герматранола, селенита натрия и селенита калия, содержащими ДМСО или Твин 80, не приводит к

существенному изменению массы луковиц, их урожайности, а также урожайности воздушных луковичек. Однако одновременное применение растворов Герматранола в сочетании с селенитом калия, содержащих ДМСО приводит к снижению массы луковиц, их урожайности и урожайности воздушных луковичек соответственно на 11,7%, 11,5% и 19,5%. Одновременное применение растворов Герматранола в сочетании с селенитом калия, содержащих Твин 80, приводило к снижению урожайности только воздушных луковичек на 19,5% (табл. 5).

Таблица 5 - Влияние препаратов, содержащих германий и селен на рост и урожайность луковиц чеснока

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2024.43.5.5>

Вариант опыта	Высота растений	Средняя масса луковиц		Урожайность луковиц		Средняя масса соцветий		Урожайность воздушных луковичек	
	см	кг	%	кг/м ²	%	г	%	кг/м ²	%
Контроль	103±7	31,6	100,0	1,230	100,0	8,8	100,0	0,359	100,0
Герматранол + ДМСО	104±12	32,3	102,2	1,256	102,1	10,2	115,9	0,398	110,9
Герматранол + Твин 80	93±10	31,2	98,7	1,217	98,9	8,1	92,0	0,316	88,0
Селенит натрия + ДМСО	104±10	31,3	99,1	1,221	99,3	8,0	90,9	0,312	86,9
Селенит натрия + Твин 80	110±12	32,3	102,2	1,260	102,4	8,5	96,6	0,331	92,2
Селенит калия + ДМСО	97±10	29,9	94,6	1,166	94,8	8,8	100,0	0,343	95,5
Селенит калия + Твин 80	97±8	32,0	101,3	1,248	101,5	8,5	96,6	0,331	92,2
Герматранол + селенит калия + ДМСО	102±8	27,9	88,3	1,088	88,5	7,4	84,1	0,289	80,5
Герматранол + селенит калия + Твин 80	100±8	30,1	95,3	1,174	95,4	7,4	84,1	0,289	80,5
НСР ₀₅				0,13					

Заключение

Проведенные нами исследования показали высокую эффективность комплексного обогащения растений чеснока посевного (*Allium sativum* L.) германием и селеном путем трехкратной обработки растений в период начала, середины

и окончания интенсивного роста листьев герматранолом и селенитами калия или натрия, используемым в концентрации 0,15%, растворенным в 1%-ном растворе ДМСО, в дозе 100 мл раствора на 1 м² площади посадок растений, при помощи распылителя, обеспечивающего мелкодисперсный распыл путем смачивания обеих сторон всех листьев при температуре 20-25°C и отсутствии дождя в течение 2 часов после обработки.

Использование этого способа позволяет в 37,1 раза повысить содержание германия и 142,6 раза содержание селена в зубках чеснока и получить луковицы, содержащие 0,078 мг/кг германия и 6,7 мг/кг селена.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

- Rose M. Dietary exposure to metals and other elements in the 2006 UK Total Diet Study and some trends over the last 30 years / M. Rose, M. Baxter, N. Brereton et al. // *Food Additives and Contaminants*. — 2010. — Vol. 27(10). — P. 1380–1404. DOI: 10.1080/19440049.2010.496794
- Second French Total Diet Study (TDS 2) Report 1 // *Inorganic contaminants, minerals, persistent organic pollutants, mycotoxins and phytoestrogens*. — French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety, 2011. — 304 p.
- Стадник А. М. Біологічна роль германії в організмі тварин та людини / А. М.Стадник, Г. О. Биць, О. А. Стадник // *Науковий вісник Львівської національної академії ветеринарної медицини ім. С. З. Гжицького*. — 2006. — Т. 8(2). — С. 174–185
- Саханда І. В. Препарати германію та їх застосування в медицині / І. В. Саханда // *Український науково-медичний молодіжний журнал*. — 2014. — № 4. — С. 83–86.
- Koca A. F. Two Antioxidant Elements of Allium Vegetables: Germanium and Selenium / A. F. Koca, I. Koca, B. Tekguler // *Acta Horticulture*. — 2016. — 1143. — P. 297–302. DOI: 10.17660/ActaHortic.2016.1143.41
- Hu Z. Upper Crustal Abundances of Trace Elements: a revision and update / Z. Hu, S. Gao // *Chemical Geology*. — 2008. — Vol. 253(3). — P. 205–221. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2008.05.010
- Шеуджен А. Х. Биогеохимия / А. Х. Шеуджен. — Майкоп : Адыгея, 2003. — 1027 с.
- Wiche O. Germanium in the Soil-plant System – a review / O. Wiche, B. Székely, C. Moschner et al. // *Environmental Science and Pollution Research*. — 2018. — Vol. 25(32). — P. 31938–31956. DOI: 10.1007/s11356-018-3172-y
- Braman R. S. Atomic Emission Spectrometric Determination of Antimony, Germanium, and Methylgermanium Compounds in the Environment / R. S. Braman, M. A. Tompkins // *Analytical Chemistry*. — 1978. — Vol. 50(8). — P. 1088–1093. DOI: 10.1021/ac50030a021
- Vouk V. B. Metallic Elements in Fossil Fuel Combustion Products: Amounts and Form of Emissions and Evaluation of Carcinogenicity and Mutagenicity / V. B. Vouk, W. T. Piver // *Environmental Health Perspectives*. — 1983. — Vol. 47. — P. 201–225. DOI: 10.1289/ehp.8347201
- Swennen B. Epidemiological Survey of Workers Exposed to Inorganic Germanium Compound / B. Swennen, A. Mallants, H. A. Roels et al. // *Occupational and Environmental Medicine*. — 2000. — Vol. 57(4). — P. 242–248. DOI: 10.1136/oem.57.4.242
- Kabata-Pendias A. Trace Elements from Soil to Human / A. Kabata-Pendias, A. B. Mukherjee. — Berlin : Springer, 2007. — 550 p. DOI: 10.1007/978-3-540-32714-1
- Yeghicheyan D. Compilation of Silicon and Thirty One Trace Elements Measured in the Natural River Water Reference Material SLRS-4 (NRC– CNRC) / D. Yeghicheyan, J. Carignan, M. Valladon et al. // *Geostandards Newsletter the Journal of Geostandards and Geoanalysis*. — 2001. — Vol. 25(2–3). — P. 465–474. DOI: 10.1111/j.1751-908X.2001.tb00617.x
- Ouyang T. P. Dissolved Trace Elements in River Water: Spatial Distribution and the Influencing Factor, a Study for the Pearl River Delta Economic Zone, China / T. P. Ouyang, Z. Y. Zhu, Y. Q. Kuang et al. // *Environmental Geology*. — 2006. — Vol. 49. — P. 733–742. DOI: 10.1007/s00254-005-0118-8
- Eriksson J. Concentrations of 61 Trace Elements in Sewage Sludge, Farmyard Manure, Mineral Fertiliser, Precipitation and in Oil and Crops / J. Eriksson. — Stockholm : Swedish Environmental Protection Agency Customer Service, 2001. — 15 p.
- Negrel P. GEMAS: Source, Distribution Patterns and Geochemical Behaviour of Ge in Agricultural and Grazing Land Soils at European Continental Scale / P. Negrel, A. Ladenberger, C. Reimann et al. // *Applied Geochemistry*. — 2016. — Vol. 72. — P. 113–124. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2016.07.004
- Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 3rd Edition / A. Kabata-Pendias, H. Pendias. — Boca Raton : CRC Press, 2001. — P. 219–220.
- Midula P. Concentration and Bioavailability of Toxic Trace Elements, Germanium, and Rare Earth Elements in Contaminated Areas of the Davidschacht dump-field in Freiberg (Saxony) / P. Midula, O. Wiche, P. Wiese et al. // *Freiberg Ecology online*. — 2017. — Vol. 1(2). — P. 101–112.

19. Lee S. T. Growth Characteristics and Germanium Absorption of Rice Plant with Different Germanium Concentrations in Soil / S. T. Lee, Y. H. Lee, Y. J. Choi et al. // *Korean Journal of Environmental Agriculture*. — 2005. — Vol. 24(1). — P. 40–44. DOI: 10.5338/kjea.2005.24.1.040
20. Asai K. *Miracle Cure: Organic Germanium* / K. Asai. — Tokio, 1980. — 171 p.
21. Комаров Б. А. Почему необходим повсеместный контроль микроэлементного состава растительного сырья / Б. А. Комаров, Л. В. Погорельская, М. А. Фролова и др. // *Потенциал современной науки*. — 2014. — № 5. — С. 27–35.
22. Комаров Б. А. Об элементе германий и его содержании в некоторых лекарственных растениях / Б. А. Комаров, Л. В. Погорельская, А. И. Албулов // *Разработка и регистрация лекарственных средств*. — 2018. — № 2(23). — С. 58–61.
23. Hui R. H. Determination of Germanium in *A. arborescens* by Spectrophotometric Method / R. H. Hui, D. Y. Hou, C. X. Guan // *Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi*. — 2004. — Vol. 24(9). — P. 1106–1109.
24. McMahon M. The Determination of Total Germanium in Real Food Samples Including Chinese Herbal Remedies Using Graphite Furnace Atomic Absorption Spectroscopy / M. McMahon, F. Regan, H. Hughes // *Food Chemistry*. — 2006. — Vol. 97(3). — P. 411–417. DOI: 10.1016/j.foodchem.2005.05.018
25. Пономаренко О. М. Визначення германії в об'єктах довкілля за допомогою методу мас-спектрометрії з індукційно зв'язаною плазмою / О. М. Пономаренко, А. І. Самчук, К. В. Вовк и др. // *Український хімічний журнал*. — 2019. — Т. 85(4). — С. 110–113. DOI: 10.33609/0041-6045.85.4.2019
26. Jinhui S. Adsorptive Complex Catalytic Polarographic Determination of Germanium in Soils and Vegetables / S. Jinhui, J. Kui // *Analytica Chimica Acta*. — 1995. — Vol. 309(1–3). — P. 103–109. DOI: 10.1016/0003-2670(95)00027-W
27. Delvigne C. Distinct Silicon and Germanium Pathways in the Soil-plant System: Evidence from Banana and Horsetail / C. Delvigne, S. Opfergelt, D. Cardinal et al. // *Journal of Geophysical Research*. — 2009. — Vol. 114(G2). — P. 1–11. DOI: 10.1029/2008JG000899
28. Іваниця Л. О. Визначення олова та германію з нонілфлуороном і полімерними флокулянтами в рослинних матеріалах / Л. О. Іваниця, А. Ю. Клімкіна, Т. С. Чмиленко и др. // *Вісник Дніпропетровського університету. Серія Хімія*. — 2016. — Т. 24(1). — С. 27–35. DOI: 10.15421/081605
29. Kang J. Y. Characteristics of Absorption and Accumulation of Inorganic Germanium in *Panax Ginseng* C.A. Meyer / J. Y. Kang, C. S. Park, S. R. Ko et al. // *Journal of Ginseng Research*. — 2011. — Vol. 35(1). — P. 12–20. DOI: 10.5142/jgr.2011.35.1.012
30. Поляков А. В. Способность чеснока (*Allium sativum* L.) накапливать германий в естественных и экспериментальных условиях / А. В. Поляков, Т. В. Алексеева // *Химия растительного сырья*. — 2023. — № 1. — С. 279–286. DOI: 10.14258/jcprm.20230110958
31. Wallace K. Selenium and Risk of Bladder Cancer: a population – based case – control study / K. Wallace, K. T. Kelsey, A. Schned et al. // *Cancer Prev. Res.* — 2009. — № 2(1). — P. 70–73.
32. Побилат А. Е. Особенности содержание селена в системе почва-растение (обзор) / А. Е. Побилат, Е. И. Волошин // *Вестник КрасГАУ*. — 2020. — № 11. — С. 98–105. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-11-98-105
33. Ермаков В. В. Биогеохимия селена и его значение в профилактике эндемических заболеваний человека / В. В. Ермаков // *Вестник отделения наук о земле РАН*. — 2004. — № 1. — С. 1–17.
34. Ермаков В. В. Миграция селена в биогеохимических пищевых цепях ландшафтов России / В. В. Ермаков // *Проблемы биогеохимии и геохимической экологии*. — 2008. — № 2. — С. 3–10.
35. Аристархов А. Н. Оптимизация полиэлементного состава в агроэкосистемах России. Эколого-агрохимическая оценка состояния, дефицита, резервов, способов и средств управления / А. Н. Аристархов. — Москва : ВНИИА, 2019. — 832 с.
36. Голубкина Н. А. Селен в питании: растение, животное, человек / Н. А. Голубкина, Т. Т. Папазян. — Москва : Печатный городок, 2006. — 255 с.
37. Вихрева В. А. Селен в жизни растений / В. А. Вихрева, А. А. Блиннохватов, Т. В. Клейменова. — Пенза : ПГСХА, 2012. — 225 с.
38. Поляков А. В. Лен (*Linum usitatissimum* L.) как пищевая культура / А. В. Поляков // *Материалы II Международной научной конференции «Качество и экологическая безопасность пищевых продуктов и производств» с элементами научной школы для молодежи*. — Тверь : ТГУ, 2014. — С. 19–25.
39. Голубкина Н. А. Порошок чеснока, обогащенного селеном / Н. А. Голубкина, Т. М. Середин, А. А. Кошеваров и др. // *Микроэлементы в медицине*. — 2018. — № 19(1). — С. 43–50.
40. Метод доктора Скального. — Лицензия ЛО-77-01-006064. — 2013.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Rose M. Dietary exposure to metals and other elements in the 2006 UK Total Diet Study and some trends over the last 30 years / M. Rose, M. Baxter, N. Brereton et al. // *Food Additives and Contaminants*. — 2010. — Vol. 27(10). — P. 1380–1404. DOI: 10.1080/19440049.2010.496794
2. Second French Total Diet Study (TDS 2) Report 1 // *Inorganic contaminants, minerals, persistent organic pollutants, mycotoxins and phytoestrogens*. — French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety, 2011. — 304 p.
3. Stadnik A. M. Biologichna rol' germanii v organizmi tvarin ta lyudini [A Biological Role of germanium in the Body of Animals and Humans] / A. M. Stadnik, G. O. Bic', O. A. Stadnik // *Naukovij visnik L'vivs'koї nacional'noi akademii veterinarnoї medicini im. S. Z. Gzhič'kogo* [Scientific Bulletin of the Lviv National Academy of Veterinary Medicine named after S. S. Gzhytsky]. — 2006. — Vol. 8(2). — P. 174–185 [in Ukrainian]

4. Sakhanda I. V. Preparati germaniyu ta ih zastosuvannya v medicini [Preparations of Germanium and Their Application in Medicine] / I. V. Sakhanda // *Ukraïns'kij naukovo-medichnij molodizhnij zhurnal [Ukrainian Scientific and Medical Youth Journal]*. — 2014. — № 4. — С. 83–86. [in Ukrainian]
5. Koca A. F. Two Antioxidant Elements of Allium Vegetables: Germanium and Selenium / A. F. Koca, I. Koca, B. Tekguler // *Acta Horticulture*. — 2016. — 1143. — P. 297–302. DOI: 10.17660/ActaHortic.2016.1143.41
6. Hu Z. Upper Crustal Abundances of Trace Elements: a revision and update / Z. Hu, S. Gao // *Chemical Geology*. — 2008. — Vol. 253(3). — P. 205–221. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2008.05.010
7. Sheudzhen A. H. Biogehimija [Biogeochemistry] / A. H. Sheudzhen. — Majkop : Adygeja, 2003. — 1027 p. [in Russian]
8. Wiche O. Germanium in the Soil-plant System – a review / O. Wiche, B. Székely, C. Moschner et al. // *Environmental Science and Pollution Research*. — 2018. — Vol. 25(32). — P. 31938–31956. DOI: 10.1007/s11356-018-3172-y
9. Braman R. S. Atomic Emission Spectrometric Determination of Antimony, Germanium, and Methylgermanium Compounds in the Environment / R. S. Braman, M. A. Tompkins // *Analytical Chemistry*. — 1978. — Vol. 50(8). — P. 1088–1093. DOI: 10.1021/ac50030a021
10. Vouk V. B. Metallic Elements in Fossil Fuel Combustion Products: Amounts and Form of Emissions and Evaluation of Carcinogenicity and Mutagenicity / V. B. Vouk, W. T. Piver // *Environmental Health Perspectives*. — 1983. — Vol. 47. — P. 201–225. DOI: 10.1289/ehp.8347201
11. Swennen B. Epidemiological Survey of Workers Exposed to Inorganic Germanium Compound / B. Swennen, A. Mallants, H. A. Roels et al. // *Occupational and Environmental Medicine*. — 2000. — Vol. 57(4). — P. 242–248. DOI: 10.1136/oem.57.4.242
12. Kabata-Pendias A. Trace Elements from Soil to Human / A. Kabata-Pendias, A. B. Mukherjee. — Berlin : Springer, 2007. — 550 p. DOI: 10.1007/978-3-540-32714-1
13. Yeghicheyan D. Compilation of Silicon and Thirty One Trace Elements Measured in the Natural River Water Reference Material SLRS-4 (NRC– CNRC) / D. Yeghicheyan, J. Carignan, M. Valladon et al. // *Geostandards Newsletter the Journal of Geostandards and Geoanalysis*. — 2001. — Vol. 25(2–3). — P. 465–474. DOI: 10.1111/j.1751-908X.2001.tb00617.x
14. Ouyang T. P. Dissolved Trace Elements in River Water: Spatial Distribution and the Influencing Factor, a Study for the Pearl River Delta Economic Zone, China / T. P. Ouyang, Z. Y. Zhu, Y. Q. Kuang et al. // *Environmental Geology*. — 2006. — Vol. 49. — P. 733–742. DOI: 10.1007/s00254-005-0118-8
15. Eriksson J. Concentrations of 61 Trace Elements in Sewage Sludge, Farmyard Manure, Mineral Fertiliser, Precipitation and in Oil and Crops / J. Eriksson. — Stockholm : Swedish Environmental Protection Agency Customer Service, 2001. — 15 p.
16. Negrel P. GEMAS: Source, Distribution Patterns and Geochemical Behaviour of Ge in Agricultural and Grazing Land Soils at European Continental Scale / P. Negrel, A. Ladenberger, C. Reimann et al. // *Applied Geochemistry*. — 2016. — Vol. 72. — P. 113–124. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2016.07.004
17. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 3rd Edition / A. Kabata-Pendias, H. Pendias. — Boca Raton : CRC Press, 2001. — P. 219–220.
18. Midula P. Concentration and Bioavailability of Toxic Trace Elements, Germanium, and Rare Earth Elements in Contaminated Areas of the Davidschacht dump-field in Freiberg (Saxony) / P. Midula, O. Wiche, P. Wiese et al. // *Freiberg Ecology online*. — 2017. — Vol. 1(2). — P. 101–112.
19. Lee S. T. Growth Characteristics and Germanium Absorption of Rice Plant with Different Germanium Concentrations in Soil / S. T. Lee, Y. H. Lee, Y. J. Choi et al. // *Korean Journal of Environmental Agriculture*. — 2005. — Vol. 24(1). — P. 40–44. DOI: 10.5338/kjea.2005.24.1.040
20. Asai K. Miracle Cure: Organic Germanium / K. Asai. — Tokio, 1980. — 171 p.
21. Komarov B. A. Pochemu neobhodim povsemestnyj kontrol' mikroelementnogo sostava rastitel'nogo syr'ja [Why is Widespread Monitoring of the Microelement Composition of Plant Raw Materials Necessary] / B. A. Komarov, L. V. Pogorelskaja, M. A. Frolova et al. // *Potencial sovremennoj nauki [Potential of Modern Science]*. — 2014. — № 5. — P. 27–35. [in Russian]
22. Komarov B. A. Ob elemente germanij i ego sodержanii v nekotoryh lekarstvennyh rasteniyah [On the Element Germanium and Its Content in Some Medicinal Plants] / B. A. Komarov, L. V. Pogorelskaya, A. I. Albulov // *Razrabotka i registraciya lekarstvennyh sredstv [Development and Registration of Medicines]*. — 2018. — No. 2(23). — P. 58–61. [In Russian]
23. Hui R. H. Determination of Germanium in *A. arborescens* by Spectrophotometric Method / R. H. Hui, D. Y. Hou, C. X. Guan // *Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi*. — 2004. — Vol. 24(9). — P. 1106–1109.
24. McMahon M. The Determination of Total Germanium in Real Food Samples Including Chinese Herbal Remedies Using Graphite Furnace Atomic Absorption Spectroscopy / M. McMahon, F. Regan, H. Hughes // *Food Chemistry*. — 2006. — Vol. 97(3). — P. 411–417. DOI: 10.1016/j.foodchem.2005.05.018
25. Ponomarenko O. M. Vznachennya germanii v ob'ektah dovkillya za dopomogoyu metodu mas-spektrometrii z indukcijno zv'yazanoyu plazmoyu [Determination of Germanium in Environmental Objects Using the Method of Mass Spectrometry with Inductively Coupled Plasma] / O. M. Ponomarenko, A. I. Samchuk, K. V. Vovk et al. // *Ukraïns'kij himichnij zhurnal [Ukrainian Chemical Journal]*. — 2019. — Vol. 85(4). — P. 110–113. DOI: 10.33609/0041-6045.85.4.2019 [in Ukrainian]
26. Jinhui S. Adsorptive Complex Catalytic Polarographic Determination of Germanium in Soils and Vegetables / S. Jinhui, J. Kui // *Analytica Chimica Acta*. — 1995. — Vol. 309(1–3). — P. 103–109. DOI: 10.1016/0003-2670(95)00027-W

27. Delvigne C. Distinct Silicon and Germanium Pathways in the Soil-plant System: Evidence from Banana and Horsetail / C. Delvigne, S. Opfergelt, D. Cardinal et al. // *Journal of Geophysical Research*. — 2009. — Vol. 114(G2). — P. 1–11. DOI: 10.1029/2008JG000899
28. Ivanytsia L. O. Vznachennya olova ta germaniyu z nonilfluoronom i polimernimi flokulyantami v roslinnih materialah [Determination of Tin and Germanium with Nonylfluorine and Polymer Flocculants in Plant Materials] / L. O. Ivanytsia, A. Yu. Klimkina, T. S. Chmylenko et al. // *Visnik Dnipropetrovs'kogo universitetu. Seriya Himiya [Bulletin of the Dnipropetrovsk University. Chemistry series]*. — 2016. — Vol. 24(1). — P. 27–35. DOI: 10.15421/081605 [in Ukrainian]
29. Kang J. Y. Characteristics of Absorption and Accumulation of Inorganic Germanium in Panax Ginseng C.A. Meyer / J. Y. Kang, C. S. Park, S. R. Ko et al. // *Journal of Ginseng Research*. — 2011. — Vol. 35(1). — P. 12–20. DOI: 10.5142/jgr.2011.35.1.012
30. Poljakov A. V. Sposobnost' chesnoka (*Allium sativum* L.) nakaplivat' germanij v estestvennyh i eksperimental'nyh uslovijah [Ability of Garlic (*Allium sativum* L.) to Accumulate Germanium under Natural and Experimental Conditions] / A. V. Poljakov, T. V. Alekseeva // *Himija rastitel'nogo syr'ja [Chemistry of Plant Materials]*. — 2023. — № 1. — P. 279–286. DOI: 10.14258/jcprm.20230110958 [in Russian]
31. Wallace K. Selenium and Risk of Bladder Cancer: a population – based case – control study / K. Wallace, K. T. Kelsey, A. Schned et al. // *Cancer Prev. Res.* — 2009. — № 2(1). — P. 70–73.
32. Pobilat A. E. Osobennosti sodержanie selena v sisteme pochva-rastenie (obzor) [Features of Selenium Content in the Soil-plant System (review)] / A. E. Pobilat, E. I. Voloshin // *Vestnik KrasGAU [Bulletin of KrasSAU]*. — 2020. — № 11. — P. 98–105. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-11-98-105 [in Russian]
33. Ermakov V. V. Biogehimija selena i ego znachenie v profilaktike endemicheskikh zabolovanij cheloveka [Biogeochemistry of Selenium and Its Importance in the Prevention of Endemic Human Diseases] / V. V. Ermakov // *Vestnik otdelenija nauk o zemle RAN [Bulletin of the Department of Geosciences of the Russian Academy of Sciences]*. — 2004. — № 1. — P. 1–17. [in Russian]
34. Ermakov V. V. Migratsija selena v biogehimicheskikh pischevyh tsepjah landshaftov Rossii [Migration of Selenium in Biogeochemical Food Chains of Russian Landscapes] / V. V. Ermakov // *Problemy biogehimii i geohimicheskoy jekologii [Problems of Biogeochemistry and Geochemical Ecology]*. — 2008. — № 2. — P. 3–10. [in Russian]
35. Aristarhov A. N. Optimizatsija polielementnogo sostava v agroekosistemah Rossii. Ekologo-agrohimicheskaja otsenka sostojanija, defitsita, rezervov, sposobov i sredstv upravlenija [Optimization of Polyelement Composition in Russian Agroecosystems. Ecological and Agrochemical Assessment of the Condition, Deficiency, Reserves, Methods and Means of Management] / A. N. Aristarhov. — Moskva : VNIIA, 2019. — 832 p. [in Russian]
36. Golubkina N. A. Selen v pitanii: rastenie, zhivotnoe, chelovek [Selenium in Nutrition: Plant, Animal, Human] / N. A. Golubkina, T. T. Papazjan. — Moskva : Pechatnyj gorodok, 2006. — 255 p. [in Russian]
37. Vihreva V. A. Selen v zhizni rastenij [Selenium in Plant Life] / V. A. Vihreva, A. A. Blinnohvatov, T. V. Klejmeneva. — Penza : PGSHA, 2012. — 225 p. [in Russian]
38. Poljakov A. V. Len (*Linum usitatissimum* L.) kak pischevaja kul'tura [Flax (*Linum usitatissimum* L.) as a Food Crop] / A. V. Poljakov // *Materialy II Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Kachestvo i jekologicheskaja bezopasnost' pishhevyh produktov i proizvodstv» s jelementami nauchnoj shkoly dlja molodezhi [Materials of the II International Scientific Conference “Quality and Environmental Safety of Food Products and Production” with elements of a scientific school for youth]*. — Tver' : TGU, 2014. — P. 19–25. [in Russian]
39. Golubkina N. A. Poroshok chesnoka, obogashchennogo selenom [Garlic Powder Enriched with Selenium] // N. A. Golubkina, T. M. Seredin, A. A., Koshevarov et al. / *Mikroelementy v medicine [Microelements in Medicine]*. — 2018. — No. 19(1). — P. 43–50. [in Russian]
40. Metod doktora Skal'nogo [Method of Doctor Skalny]. — License LO-77-01-006064. — 2013. [in Russian]