



Научная статья
УДК 543.253

ИНВЕРСИОННО-ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОБРАЗЦАХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Е. А. Лейтес, М. Е. Меренкова

Елена Анатольевна Лейтес, канд. хим. наук, доцент, Милена Евгеньевна Меренкова, студент
Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия, leites-elena@yandex.ru

Ключевые слова:

тяжелые металлы, медь, цинк, кадмий, свинец, лекарственные растения, травяные чаи, инверсионная вольтамперометрия

Аннотация. Возрастающий в настоящее время интерес к использованию лекарственных растений или их смесей (травяных чаев) при профилактике и лечении заболеваний требует подтверждения безопасности используемых растений, так как вместе с полезными веществами в организм человека могут попасть содержащиеся в них тяжелые металлы. Цель работы – определение содержания некоторых тяжелых металлов в лекарственных растениях производителей «АлтайВита» г. Барнаул, «КИМА» г. Барнаул и «ФармаЦвет», г. Москва методом инверсионной вольтамперометрии. В работе определено содержание тяжелых металлов в 10 образцах лекарственных растений производителя «АлтайВита». Предварительно определена влажность исследуемого сырья. Содержание Cd составило 0,16-0,50 мкг/кг, Pb - 0,33-0,85 мкг/кг, Zn - 0,010-0,043 мкг/кг, Cu - 10,1-55,9 мг/кг, что не превышает предельно допустимого содержания по нормам Государственной фармакопеи для лекарственных растений и СанПиН 2.3.2.1078-01 для БАД (сухие чаи). По нормированию содержания в растениях (нормальное, среднее и токсичное содержание меди превышено почти в всех образцах (кроме лапчатки белой). Проведено сравнение содержания тяжелых металлов в образцах лекарственных растений производителя «АлтайВита» с образцами производителей «КИМА» и «ФармаЦвет». Содержание Cd, Pb, Zn в образцах «КИМА» и «ФармаЦвет» на порядок и более превышало содержание этих металлов в образцах «АлтайВиты», содержание Cu в образцах «АлтайВиты» сравнимо или в 2 раза меньше, чем в образцах «КИМА» и «ФармаЦвет».

Для цитирования:

Лейтес Е.А., Меренкова М.Е. Инверсионно-вольтамперометрическое определение тяжелых металлов в образцах лекарственных растений // От химии к технологии шаг за шагом. 2023. Т. 4, вып. 2. С. 35-43. URL: <http://chemintech.ru/index.php/tor/2023-4-2>

Введение

Многие виды лекарственных растений используют в качестве обезболивающих, жаропонижающих, противовоспалительных средств. Во многих странах мира, в качестве



профилактики ряда болезней применяют травяные чаи, так как чай – это один из самых распространенных напитков, употребляемых человеком [1]. В то же время вместе с полезными веществами в организм человека могут попадать содержащиеся в растениях тяжелые металлы. [2].

Актуальность работы обусловлена возрастающим интересом к использованию лекарственных растений или их смесей (травяных чаев) при профилактике и лечении заболеваний.

Цель работы – определение содержания некоторых тяжелых металлов в лекарственных растениях производителей «АлтайВита» методом инверсионной вольтамперометрии.

В качестве объектов исследования выбраны 10 образцов лекарственных растений производителя «Алтайвита» г. Барнаул. Для сравнения содержания тяжелых металлов в образцах лекарственных растений проверены 3 образца производителя «ФармаЦвет» г. Москва и 2 образца производителя «КИМА» г. Барнаул.

Как известно, формирование химического состава растений происходит при одновременном воздействии большого количества факторов внешней среды, но особо важную роль играет состав почвы. Например, по данным Алтайского НИИСХ, почвенный покров на территории Алтайского края сложен более чем тридцатью типами почв [3]. В зависимости от источника загрязнения существуют заметные различия в профиле распределения тяжелых металлов в почве [4]. Независимо от источника загрязнения территории тяжелыми металлами повышение их уровня в почве почти всегда приводит к увеличению концентрации токсичных в растениях. [5-7]. Антропогенное воздействие влияет не только на лекарственные растения, но и на человека, который использует настои, получаемые из этих растений [8, 9].

Цинк накапливается в наиболее богатых витаминами частях растений [10]. При отсутствии или недостатке цинка нарушается биосинтез витаминов и ростовых веществ - ауксинов. В больших количествах цинк может быть канцерогеном, он относится к первому классу опасности наряду с мышьяком, бериллием, кадмием, ртутью, селеном и свинцом [9].

Медь участвует в регуляции водного баланса растений, обладает высокими биохимическими свойствами, эффективно накапливается, образуя комплексные соединения [11], но, как и цинк, может быть токсичной. Медь относится ко второму классу опасности. Естественные уровни содержания свинца в растениях из незагрязненных районов находятся в диапазоне 0,1-10,0 мг/кг сухого веса при средней концентрации 2 мг/кг. Избыток свинца подавляет дыхание, фотосинтез, снижает поступление цинка, кальция, фосфора, серы [12].

Нормальное содержание кадмия в растениях составляет 0,05-0,2 мг/кг воздушно-сухой массы. Кадмий не является элементом, необходимым для жизнедеятельности растений, но этот металл активно усваивается растениями. Как химический аналог цинка кадмий может заменить его в ферментативной системе, необходимой для фосфолиризации глюкозы и сопутствующего процесса образования и расщепления углеводов [13].



Морфологическая изменчивость под воздействием тяжелых металлов может проявляться как полиморфизм цветков под воздействием свинца, цинка или молибдена, нарушение и изменение пигментации листьев под воздействием цинка, меди и др. [14].

Растения, способные накапливать в надземных органах большие количества тяжелых металлов, во много раз превышающие их концентрации в почве, называются растениями-аккумуляторами [15], которые в процессе эволюции сформировали механизмы устойчивости к тяжелым металлам. По наличию растений-индикаторов, в которых количество металла в растении увеличивается с увеличением концентрации элемента в почве, можно судить об увеличении содержания определенных элементов в питающей их среде [16-18]. Модификация некоторых растений, в том числе отходов сельского хозяйства различными веществами [19], например, льняного волокна L-аргинином [20], позволяет разрабатывать биосорбенты, предназначенные для очистки от тяжелых металлов.

Для определения концентрации тяжелых металлов в лекарственных растениях используют физико-химические методы анализа (инверсионная вольтамперометрия; атомно-абсорбционная спектроскопия; масс-спектрометрия) [21]. В данной работе использовали метод инверсионной вольтамперометрии, отличающийся высокой чувствительностью и экспрессностью [22, 23].

Основная часть

Измерения проводили на анализаторе вольтамперометрическом ТА-Lab в комплекте с IBM-совместным компьютером. В качестве индикаторного использовали ртутно-плёночный электрод, хлоридсеребряные электроды, сравнения и вспомогательный. Для разложения образцов применяли программируемую двухкамерную печь ПДП-Lab.

В качестве объектов исследования выбраны 10 образцов лекарственных растений производителя «АлтайВита» г. Барнаул: ромашка (лат. *Flores Chamomilla officinalis*), чабрец (лат. *Thymus serpyllum*), мята (лат. *Mentha piperita*), тысячелистник обыкновенный (лат. *Achillea millefolium*), душица (лат. *Origanum vulgare L.*), шикша (лат. *Empetrum nigrum L.*), сабельник болотный (лат. *Comarum palustre*), лапчатка белая (лат. *Potentilla alba*), Иван-чай (лат. *Chamaenerion*), растопша пятнистая (лат. *Silybum marianum L.*).

Для сравнения содержания тяжелых металлов в образцах лекарственных растений проверены 3 образца производителя «ФармаЦвет», г. Москва: Иван-чай (лат. *Chamaenerion*), чабрец (лат. *Thymus serpyllum*), ромашка (лат. *Flores Chamomilla officinalis*) и 2 образца производителя «КИМА» г. Барнаул: душица (лат. *Origanum vulgare L.*), мята (лат. *Mentha piperita*).

Образцы хранились в засушенном виде в бумажных упаковках, каждый вид хранился отдельно друг от друга. На каждой упаковке указана дата и место сбора. Срок хранения цветков, листьев, корней, корневищ и коры 2-3 года, плодов и ягод 3-4 года [13]. После вскрытия образцы хранили в стеклянной таре с плотно закрытой крышкой. Все указанные образцы лекарственных растений имели актуальный срок годности. Перед определением тяжелых металлов (меди, цинка, свинца и кадмия) определяли влажность растительного сырья.



Определение влажности

Метод определения влажности основан на определении потери в массе за счет гигроскопической влаги и летучих веществ при высушивании сырья до абсолютно сухого состояния [24].

Пробу высушенного растительного сырья предварительно измельчали в ступке и помещали в предварительно высушенный до постоянной массы бюкс. Высушивание 1 г лекарственного растительного сырья проводили в открытых бюксах в сушильном шкафу при температуре 105 °С до постоянной массы [25].

Влажность (X) сырья в процентах вычисляют по формуле:

$$X = (m_1 - m_2)100/m_3,$$

где m_1 – масса бюкса с навеской до высушивания, г; m_2 – масса бюкса с навеской после высушивания, г; m_3 – масса навески до высушивания, г.

В таблицах 1-3 приведены результаты определения влажности в образцах лекарственных растений разных производителей.

Таблица 1. Результаты определения влажности в образцах лекарственных растений производства «АлтайВита»

№ пробы	Наименование пробы	Масса (навеска до высушивания), г	Масса (навеска после высушивания), г	Влажность, %
1	Душица	1,0041	0,9518	5,21
2	Мята	1,0039	0,9357	6,85
3	Чабрец	1,0002	0,9428	5,20
4	Ромашка	1,0015	0,9552	5,35
5	Иван-чай	1,0087	0,9360	5,59
6	Шикша	0,9982	0,9532	4,51
7	Расторопша пятнистая	1,0031	0,9636	3,94
8	Сабельник болотный	1,0027	0,9562	4,64
9	Лапчатка белая	1,0091	0,9459	6,26
10	Тысячелистник	1,0031	0,9410	5,74

Из таблицы 1 видно, что содержание влаги соответствует норме, при этом наименьшее содержание влаги в расторопше – 3,94%, а наибольшее в мяте – 6,85%.

Таблица 2. Определение влажности в 2-х образцах лекарственных растений от производителя «КИМА» г. Москва

№ пробы	Наименование пробы	Масса (навеска до высушивания), г	Масса (навеска после высушивания), г	Влажность, %
1	Душица	0,9826	0,9167	6,71
2	Мята	1,0311	0,9477	8,09

Таблица 3. Определение влажности в 3-х образцах лекарственных растений от производителя «ФармаЦвет» г. Барнаул

№ пробы	Наименование пробы	Масса (навеска до высушивания), г	Масса (навеска после высушивания), г	Влажность, %
1	Чабрец	1,0459	0,9742	6,95
2	Ромашка	1,0840	1,0180	6,09
3	Иван-чай	1,0234	0,9552	6,66

Из таблиц 2, 3 видно, что содержание влаги соответствует норме.



При сравнении образцов лекарственных растений разных производителей, представленных в таблице 2 и 3, определено, что влажность образцов чабреца, ромашки и иван-чая производителя «ФармаЦвет» и образцов душицы и мяты производителя «КИМА» немного выше, чем у тех же образцов производителя «АлтайВита».

Пробоподготовку для определения тяжелых металлов проводили следующим образом. В чистые кварцевые стаканчики вместимостью 20-25 см³ помещали предварительно измельченные и взвешенные на аналитических весах навески лекарственных растений массой 1,000 г. Обработывали концентрированной азотной кислотой 1-2 см³, выпаривали на электроплитке при температуре 130 °С до трети первоначального объема, не допуская разбрызгивания. В каждый стаканчик добавляли по 1,0 см³ концентрированной азотной кислоты и 0,5 см³ по каплям 30%-й раствор пероксида водорода и выпаривали досуха, постепенно поднимая температуру от 150 до 350 °С, до прекращения выделения дымов. Затем пробы озоляли в печи при температуре 450 °С в течение 20 минут. Операцию по добавлению концентрированной азотной кислоты с пероксидом водорода и выдерживанию в печи повторяли до получения однородной золы белого, серого или рыжеватого цвета (без черных угольных включений) [23].

Полученный осадок растворяли в 1,00 см³ концентрированной муравьиной кислоты, доводили бидистиллированной водой до 10,0 см³ и перенесли в пенициллиновые флаконы.

Для контроля чистоты используемых реактивов подготавливали «холостую пробу», аналогично пробоподготовке анализируемого объекта, но не содержащей аналитическую пробу.

Определение содержания тяжелых металлов (кадмия, свинца, меди и цинка) методом инверсионной вольтамперометрии

Анализ проводили согласно МУ 31-04/04 «Определение цинка, кадмия и меди в пищевой продукции» [26]. В работе использовали основные растворы, содержащие 100,0 мг/дм³ кадмия, свинца, меди и цинка, приготовленные из ГСО с аттестованными концентрациями элементов 1,00 мг/см³ (1000 мг/дм³).

По причине существенных различий содержания определяемых металлов анализ пробы проводили из одного раствора по следующей схеме: вначале определяли концентрации Cd и Pb, затем концентрацию Cu и в последнюю очередь концентрации Zn.

В каждый стаканчик вносили аликвоту пробы объемом 0,5-1,0 см³. Время подготовки устанавливали 30 с, значения параметров пробы: вид проб – твердые с минерализацией; размерность – мг/кг; масса пробы 1 г; объем минерализата – объем, полученный после растворения золы 10 см³; объем аликвоты – 0,5-1,0 см³.

Проводили регистрацию вольтамперограмм проб и проб с добавкой аттестованной смеси. Анализ «холостой пробы» проводят аналогично.

Результаты содержания тяжелых металлов в образцах лекарственных растений с учетом пересчета на сухое вещество показаны в таблицах 4 и 5.

**Таблица 4.** Содержание тяжелых металлов в образцах лекарственных растений производителя «АлтайВита»

№ пробы	Наименование пробы	Cd мкг/кг	Pb мкг/кг	Cu мг/кг	Zn мкг/кг
1	Душица	0,16±0,02	0,85±0,05	21,7±0,8	0,017±0,006
2	Мята	0,29±0,02	0,33±0,02	22,7±0,9	0,027±0,005
3	Чабрец	0,16±0,03	0,43±0,03	37,9±2,7	0,027±0,003
4	Ромашка	0,34±0,02	0,38±0,02	20,4±0,5	0,020±0,005
5	Иван-чай	0,65±0,04	0,45±0,03	18,2±0,8	0,034±0,002
6	Шикша	0,38±0,06	0,57±0,03	26,2±1,1	0,012±0,002
7	Расторопша пятнистая	0,19±0,02	0,58±0,05	56±7	0,011±0,003
8	Сабельник болотный	0,29±0,03	0,76±0,03	57±5	0,043±0,003
9	Лапчатка белая	0,27±0,03	0,68±0,02	10,1±0,5	0,038±0,002
10	Тысячелистник	0,50±0,02	0,81±0,06	39 ±3	0,010±0,003
Нормирова- ние	Сухие чаи, мг/кг	1,0	6,0	–	–
	ГФ 3 издание, мг/кг	1,0	6,0	–	–
	Нормальное, мг/кг	0-0,5	2-14	6-15	25-250
	Токсичное, мг/кг	>100	–	>20	>400

Из приведенных результатов видно, что содержание Cd составило 0,16-0,50 мкг/кг, Pb – 0,33-0,85 мкг/кг, Zn – 0,010-0,043 мкг/кг, Cu – 10,1-55,9 мг/кг. Наибольшее содержание кадмия в образце Иван-чая 0,65 мкг/кг, а наименьшее в душице 0,16 мкг/кг. Наибольшее содержание свинца – в образце душицы 0,85 мкг/кг, а наименьшее в образце мяты – 0,33 мкг/кг. Содержание меди наибольшее в образце сабельника болотистого – 55,9 мкг/кг, а наименьшее у лапчатки белой – 10,1 мкг/кг. Содержание цинка в образце сабельника болотистого выше – 0,043 мкг/кг, а в тысячелистнике - 0,010 мкг/кг.

Таблица 5. Сравнительное содержание тяжелых металлов в образцах лекарственных растений разных производителей

№ пробы	Наименование пробы	Производитель	Cd мкг/кг	Pb мкг/кг	Cu мг/кг	Zn мкг/кг
1	Душица	КИМА	3,44±0,02	5,59±0,05	23,5±0,7	0,43±0,04
		«АлтайВита»	0,16±0,02	0,85±0,05	21,7±0,8	0,017±0,006
2	Мята	КИМА	3,15±0,02	3,15±0,03	35,3±2,3	0,17±0,03
		«АлтайВита»	0,29±0,02	0,33±0,02	22,7±0,9	0,027±0,005
3	Чабрец	ФармаЦвет	5,96±0,04	22,3±0,02	40,1±1,5	0,12±0,03
		«АлтайВита»	0,16±0,03	0,43±0,03	37,9±2,7	0,027±0,003
4	Ромашка	ФармаЦвет	3,47±0,03	3,01±0,02	57±5	0,10±0,02
		«АлтайВита»	0,34±0,02	0,38±0,02	20,4±0,5	0,020±0,005
5	Иван-чай	ФармаЦвет	13,4±0,2	7,47±0,06	32±7	0,65±0,05
		«АлтайВита»	0,65±0,04	0,45±0,03	18,2±0,79	0,034±0,002
Нормирование	Сухие чаи, мг/кг		1,0	6,0	–	–
	ГФ 3 издание, мг/кг		1,0	6,0	–	–
	Нормальное, мг/кг		0-0,5	2-14	6-15	25-250
	Токсичное, мг/кг		>100	–	>20	>400

Из сравнительного анализа видно, что в образцах производителя «АлтайВита» содержание тяжелых металлов Cd, Pb, Zn ниже, чем в образцах производителей «ФармаЦвет» и «КИМА», а содержание Cu сравнимо или в 2 раза меньше.



Значительная разница в содержании кадмия наблюдалась для образцов душицы и мяты производителя «КИМА», в 21,5 раз и 10,9 раз соответственно; цинка 25,3 и 6,3; свинца в 6,6 раз и 9,5 раза и меди 1,1 и 1,6 соответственно. В образцах чабреца, ромашки и иван-чая производителей «АлтайВита» и «ФармаЦвет» наблюдалось значительное увеличение концентраций кадмия в 37,2; 9,3; 20,6 раза; свинца в 37,3; 7,9; 20,6 раз; меди в 1,1; 2,8; 1,8; цинка 4,4; 5; 19 раз соответственно.

Наибольшее содержание Cd = 13,4 мкг/кг, Zn = 0,65 мкг/кг определено в Иван-чае (производитель ФармаЦвет), а Pb = 22,3 мкг/кг в чабреце (производитель ФармаЦвет).

Содержание Cd, Pb, Zn не превышают предельно допустимого содержания по нормам Государственной фармакопеи и СанПиН 11–63 РБ 98.

Содержание Cu в лекарственных растениях превышает нормирование предельно допустимого содержания концентрации металлов согласно государственной фармакопеи.

Образец № 9 («АлтайВита») – лапчатка белая входит в интервал нормального содержания Cu и не превышает токсичную концентрацию.

Образец № 5 («АлтайВита») – иван-чай превышает интервал нормального содержания Cu, но не превышает токсичную концентрацию.

В остальных образцах превышено содержание тяжелых металлов, что связано с возможным неблагоприятным территориальным расположением места сбора лекарственных растений, около автомагистралей и промышленных зон, что приводит к чрезмерному накоплению тяжелых металлов.

Выводы

Определено содержание тяжелых металлов в 10 образцах лекарственных растений производителя «АлтайВита». Содержание Cd составило 0,16-0,50 мкг/кг, Pb – 0,33-0,85 мкг/кг, Zn – 0,010-0,043 мкг/кг, Cu – 10,1-55,9 мг/кг, что не превышает предельно допустимого содержания по нормам Государственной фармакопеи для лекарственных растений [27] и СанПиН 2.3.2.1078-01 для БАД (сухие чаи) [28]. По нормированию содержания в растениях (нормальное, среднее и токсичное [29] содержание меди превышено почти во всех образцах (кроме лапчатки белой).

Проведено сравнение содержания тяжелых металлов в образцах лекарственных растений производителя «АлтайВита» с образцами производителей «КИМА» и «ФармаЦвет». Содержание Cd, Pb, Zn в образцах «КИМА» и «ФармаЦвет» на порядок и более превышало содержание этих металлов в образцах «АлтайВиты», содержание Cu в образцах «АлтайВиты» сравнимо или в 2 раза меньше, чем в образцах «КИМА» и «ФармаЦвет».

Список источников

1. Лебедева Е.Н., Сетко Н.П. Биохимия компонентов чая и особенности его биологического действия на организм (обзор) // *Оренбургский медицинский вестник*. 2017. № 4.
2. Гравель И.В., Яковлев Г.П., Петров Н.В., Стуловский С.С., Листов С.А. Содержание тяжелых металлов в некоторых видах лекарственных растений Алтайского края // *Растительные ресурсы*. 1994. Вып. 1-2. С. 101-108.



3. **Пивоварова Е.Г., Кононцева Е.В., Грибов С.И., Хлуденцов Ж.Г., Домникова Е.Ю., Комякова Е.М.** Структура почвенного покрова лесостепной зоны Алтайского края в условиях антропогенеза // *Вестник АГАУ*. 2015. № 11(133). С. 36-42.
4. **Водяницкий Ю.Н.** Тяжелые металлы и металлоиды в почвах М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. 164 с.
5. **Sigel H.** Concept on metals ion toxicity. New York: Marsel Dekker Inc, 1989. 368 p.
6. **Vardhan K.H., Kumar P.S., Panda R.C.** A review on heavy metal pollution, toxicity and remedial measures: current trends and future perspectives // *J. Mol. Liq.* 2019. Vol. 290. 111197. DOI: 10.1016/j.molliq.2019.111197.
7. **Lindholm-Lehto P.** Biosorption of heavy metals by lignocellulosic biomass and chemical analysis // *BioRes.* 2019. Vol. 14(2). P. 4952-4995. DOI: 10.15376/biores.14.2.Lindholm-Lehto.
8. **Терёшкина О.И., Рудакова И.П., Гравель И.В., Самылина И.А.** Проблема нормирования тяжелых металлов в лекарственном растительном сырье // *Фармация*. 2010. № 2. С. 7-11.
9. **Рождественская Т.А.** Тяжелые металлы в почвах и растениях юго-западной части Алтайского края: дис. ... канд. биол. наук. Барнаул, 2003. 116 с.
10. **Самбукова Т.В., Овчинников Б.В., Ганапольский В.П., Ятманов А.Н., Шабанов П.Д.** Перспективы использования фитопрепаратов в современной фармакологии // *Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии*. 2017. Т. 15, вып. 2. С. 56-63.
11. **Дмитриев С.В.** Изучение влияния некоторых антропогенных факторов на качество дикорастущих растений: автореф. дис. ... канд. фарм. наук. М., 1991. 15 с.
12. **Киричук Г.Е.** Особенности накопления ионов тяжелых металлов в организме пресноводных моллюсков // *Гидробиол. журнал*. 2006. Т. 42. № 4. С. 99-106.
13. **Seiler H.G.** Handbook on metals in clinical and analytical chemistry. New York: Marcel Dekker. Inc., 1994. 750 p.
14. **Косман В.М., Пожарицкая О.Н.** Сравнительное изучение содержания флавоноидов и кумаринов в некоторых препаратах ромашки аптечной // *Химия растительного сырья*. 2015. № 1.
15. **Добровольский В.В.** Биосферные циклы тяжёлых металлов и регуляторная роль почвы // *Почвоведение*. 1997. № 4. С. 431-441.
16. **Ильин В.Б.** Тяжёлые металлы в системе почва-растение. Новосибирск: Наука, 1991. 151 с.
17. **Herausgegeben von E. Merian.** Metalle in der Umwelt. Verteilung, Analytik und biologische Relevanz. Verlag Chemie. Weinheim-Deerfird Benc. Florida-Basel, 1984. 722 p.
18. **Мудрый И.В.** Эколого-гигиенические аспекты загрязнения почвы кадмием // *Гигиена и санитария*. 2003. № 1. С. 32-35.
19. **Tursi A.** A review on biomass: importance, chemistry, classification, and conversion // *Biofuel Res. J.* 2019. Vol. 6. P. 962-979. DOI: 10.18331/BRJ2019.6.2.3.
20. **Никифорова Т.Е., Вокурова Д.А., Софронов А.Р.** Извлечение ионов меди сорбентом на основе льняного волокна, модифицированного L-аргинином // *От химии к технологии шаг за шагом*. Т. 3, вып. 3. DOI: 10.52957/27821900 2022.03.17. URL: <http://chemintech.ru/index.php/tor/2022tom3no3>
21. **Vasak M., Kagi J.H.** Spectroscopic properties of metallothionein // *Metal Ions Biol. Syst.* 1983. Vol. 15. P. 213-273.
22. **Реут А.А.** Содержание биологически активных метаболитов в различном сырье некоторых видов и сортов пиона // *Роль метаболомики в совершенствовании биотехнологических средств производства: материалы II междунар. науч. конф. Москва, 6-7 июня 2019 года*. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений, 2019. С. 201-206.
23. **Чистохин Ю.Г., Халфина П.Д., Танцерева И.Г.** Вольтамперометрия – один из методов определения тяжелых металлов в объектах // *Фармацевтическая наука и практика: материалы науч.-практ. конф. Кемерово*, 2000. С. 160-162.
24. **Определение влажности ОФС. 1.5.3.0007.15 лекарственного растительного сырья и лекарственных растительных препаратов // Государственная фармакопея Российской Федерации. XIII издание. 2015. Т. II.**
25. **Антонова Н.П., Моргунов И.М., Прохватаилова С.С., Шефер Е.П., Калинин А.М.** Применение альтернативного метода определения влажности в лекарственных растительных препаратах // *Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения*, 2017. № 7(3). С. 182-185.



26. МУ 31-04/04. Количественный химический анализ проб пищевых продуктов, продовольственного сырья, кормов и продуктов их переработки, биологически активных добавок к пище, биологических объектов. Томск: Изд-во ТПУ, 2004. 23 с.
27. Государственная Фармакопея РФ. XIII изд. / МЗ РФ. М., 2015. Т. 1, 2, 3.
28. СанПин 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности продуктов. М., 2001.
29. **Baker D.E., Chesnin L.** Chemical monitoring of soil for environmental quality animal and health // *Advances in Agronomy*. 1975. Vol. 27. P. 306-366.

Поступила в редакцию 10.04.2023

Одобрена после рецензирования 28.04.2023

Принята к опубликованию 15.06.2023