

Платонов Павел Евгеньевич

студент

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный

университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Чувашская Республика

Фролова Мария Александровна

канд. хим. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный

университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Чувашская Республика

Журавлев Анатолий Петрович

магистрант

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный

аграрный университет»

г. Чебоксары, Чувашская Республика

DOI 10.31483/r-168397

СОДЕРЖАНИЕ СТРОНЦИЯ В ЛИСТЬЯХ ЛОПУХА БОЛЬШОГО (ARCTIUM LAPPA L.) ПЕРВОГО ГОДА ЖИЗНИ

Аннотация: в статье представлены результаты количественного определения стронция в образцах листьев лопуха большого (*Arctium lappa L.*), отобранных на территории Чувашской Республики. С применением метода рентгенофлуоресцентной спектromетрии (РФС) на спектрометре Shimadzu EDX-7000 в сочетании с методом добавок установлено содержание изучаемого вещества. Многократное превышение регламентированных нормативных значений содержания стронция в лекарственном растительном сырье стало свидетельством потенциально экологической нагрузки на территорию сбора и обуславливает необходимость внедрения систематического контроля качества фитосырья. Продемонстрирована эффективность и воспроизводимость ме-

тода РФС для неразрушающего экспресс-анализа элементного состава растительных матриц.

Ключевые слова: листья лопуха, *Arctium lappa L.*, стронций, рентгенофлуоресцентная спектрометрия, метод добавок, фитосырьё, биоаккумуляция.

Контроль содержания потенциально токсичных элементов в растительном сырье является неотъемлемым компонентом обеспечения безопасности фармацевтической, пищевой и косметической продукции. В последние годы существенно возросла актуальность мониторинга микроэлементов в дикорастущих видах, традиционно используемых в медицинской практике, в связи с их способностью к биоаккумуляции из окружающей среды [2]. Особое внимание уделяется определению стронция – биогенного элемента, обладающего структурным и функциональным сходством с кальцием и способного к его замещению в метаболических процессах. При этом избыточное поступление стронция, особенно его радиоизотопов (в частности, ^{90}Sr), ассоциировано с развитием остеотропной патологии, включая так называемый «стронциевый рахит», фиброзные изменения в лёгочной ткани, а также повышением риска онкологических заболеваний костного мозга [5].

В соответствии с действующими нормативными документами, регламентирующими качество лекарственного растительного сырья (ЛРС), предельно допустимый уровень содержания стронция установлен в диапазоне 0,14–0,23 мг/г [5]. Превышение указанных значений расценивается как маркер экологического неблагополучия территории произрастания и служит основанием для признания сырья непригодным для медицинского применения. В связи с этим проведение систематических исследований элементного состава дикорастущих лекарственных растений, в том числе лопуха большого (*Arctium lappa L.*), представляется научно и практически значимым.

Лопух большой – широко распространённый вид, листья которого применяются в народной и официальной медицине как источник биологически активных соединений, обладающих противовоспалительной, диуретической и деток-

сикационной активностью [3]. Вместе с тем высокая корневая поглотительная способность данного вида обуславливает его выраженную склонность к аккумуляции химических элементов, в том числе потенциально токсичных, что требует строгого контроля безопасности сырья [4]. В агроэкологических исследованиях показано, что применение различных минеральных добавок и сорбентов способно модулировать уровень накопления тяжёлых металлов и щелочноземельных элементов в тканях растений [1].

Целью настоящего исследования являлось количественное определение содержания стронция в листьях лопуха большого, собранных в Чувашской Республике, методом рентгенофлуоресцентной спектрометрии.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи.

1. Отбор и стандартизированная подготовка образцов листьев лопуха большого к элементному анализу.
2. Количественное определение концентрации стронция методом РФС с применением метода добавок.
3. Сравнительный анализ полученных результатов с нормативными значениями, установленными для ЛРС.
4. Интерпретация выявленных отклонений с учётом экологических факторов региона.

Исследования выполнены на базе лаборатории Чувашского государственного университета имени И. Н. Ульянова. Образцы свежих листьев лопуха первого года жизни отбирали в репрезентативных точках Чувашской Республики в фазу максимальной вегетативной активности растения. Сушку растительного материала осуществляли воздушно-теневым способом до достижения постоянной массы, после чего проводили измельчение до порошкообразного состояния и прессование в таблетки массой 4 г в соответствии с требованиями ОФС.1.1.0005.15 Государственной фармакопеи РФ. Подлинность сырья подтверждали микроскопическим анализом по методикам ОФС.1.2.1.0009 и ОФС.1.5.1.0003.

Элементный анализ проводили на рентгенофлуоресцентном спектрометре Shimadzu EDX-7000 (Rh-анод, ускоряющее напряжение 50 кВ, кристалл-анализатор LiF(200)). Количественное определение стронция выполняли методом добавок с использованием кадмия в качестве государственного стандартного образца (ГСО). Концентрацию добавки варьировали в диапазоне $m_{Cd}=0,175-0,524$ мг/г, выбор значений осуществляли на основании анализа нулевого спектра для минимизации фоновых помех и повышения точности градуировки [1].

Результаты элементного анализа выявили присутствие в листьях лопуха широкого спектра макро- и микроэлементов, среди которых особое внимание было уделено стронцию. Предварительное обнаружение Sr на уровне 0,002% было зафиксировано при регистрации нулевого спектра. Для количественной оценки концентрации стронция была построена градуировочная зависимость по данным, полученным методом добавок (рис. 1).

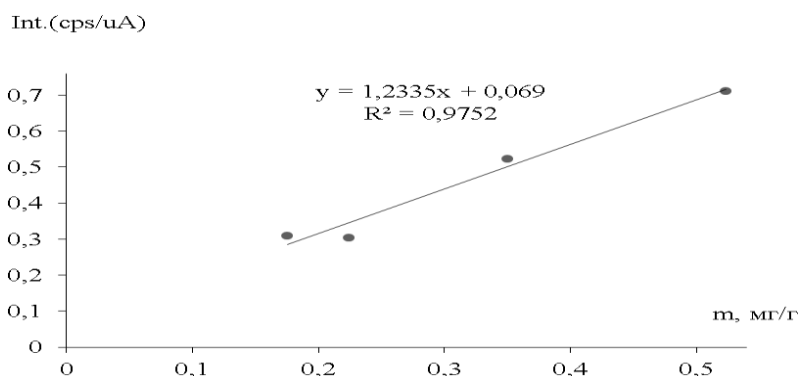


Рис. 1. Градуировочный график – содержание Sr ($m_{Cd}= 1,0$ мг/г)

Согласно полученным результатам содержание стронция в ЛРС находится в пределах 0,744 мг/г, что превышает интервал (0,14–0,23 мг/г) регламентируемый нормативными документами.

Результаты определения представлены в табл. 1.

Таблица 1

Содержание Sr в листьях лопуха большого (*Arctium lappa* L.)

($m_{Cd}=1$ мг/мл, $m=4,0013$ г)

Введено		Найдено	
V, мл	m_{Cd} , мг/г	Int. (cps/uA)	m_{Sr} , мг/г

0,0	0,0	0,9631	0,72
0,7	0,175	1,0794	0,82
0,9	0,224	0,9410	0,71
1,4	0,350	1,0433	0,79
2,1	0,524	0,9096	0,68

Метрологические характеристики серии измерений ($n = 5$, $p = 0,98$): среднее значение $X = 0,744$ мг/г; стандартное отклонение $S = 0,0586$; ошибка среднего $S_x = 0,0293$; абсолютная погрешность $\Delta X = 0,1083$; относительное стандартное отклонение $S_r = 0,1456$.

Анализ данных, представленных в таблице 1, позволяет сделать ряд существенных выводов относительно стабильности и достоверности полученных результатов. Во-первых, при отсутствии добавки кадмия ($V=0,0$ мл) концентрация стронция составила 0,72 мг/г, что уже превышает нормативный верхний предел (0,23 мг/г) более чем в 3 раза. Во-вторых, при введении добавки в количестве 0,7 мл ($m_{Cd} = 0,175$ мг/г) зафиксировано максимальное значение содержания стронция (0,82 мг/г), что может быть обусловлено оптимальным соотношением сигнала и фона в данной точке градуировочного графика. В последующих измерениях при увеличении объёма добавки наблюдается незначительное снижение определяемой концентрации стронция: при $V = 0,9$ мл значение составило 0,71 мг/г, при $V = 1,4$ мл – 0,79 мг/г, а при максимальном объёме добавки $V = 2,1$ мл концентрация стронция снизилась до 0,68 мг/г. Такая динамика свидетельствует о хорошей воспроизводимости метода в широком диапазоне концентраций добавки и отсутствии выраженного матричного эффекта, способного исказить результаты.

Расчёт среднего арифметического значения по пяти параллельным измерениям ($X = 0,744$ мг/г) с учётом относительной погрешности $\pm 0,108$ мг/г подтверждает высокую степень надёжности полученных данных. Низкое значение относительного стандартного отклонения ($S_r = 0,1456$, или 14,56%) указывает на удовлетворительную сходимость результатов внутри серии, что является важным критерием валидации аналитической методики. Незначительные флук-

туации отдельных значений (от 0,68 до 0,82 мг/г) укладываются в пределы допустимой погрешности и могут быть объяснены естественными вариациями элементного состава растительного материала, обусловленными микроразнообразием условий произрастания, а также инструментальными погрешностями, неизбежными при проведении спектрометрических измерений.

Сравнительный анализ полученных данных с нормативными значениями [5] показал, что концентрация стронция в исследованных образцах превышает допустимый уровень в 3–5 раз. Данное обстоятельство может быть обусловлено совокупностью факторов, включающих геохимические особенности почвенного покрова региона, антропогенную нагрузку (в том числе сельскохозяйственную деятельность и промышленные выбросы), а также высокую биоаккумулирующую способность лопуха как вида-концентратора [4]. При этом в ряде агроэкологических работ продемонстрирована возможность снижения уровня накопления нежелательных элементов за счёт внесения в почву сорбентов и сбалансированных минеральных комплексов, что открывает перспективы для разработки приёмов фиторемедиации и оптимизации минерального питания растений [1].

Применение рентгенофлуоресцентной спектрометрии в рамках настоящего исследования продемонстрировало ряд существенных преимуществ: экспрессность анализа, отсутствие необходимости в трудоёмкой пробоподготовке, неразрушающий характер метода и высокую воспроизводимость результатов. По сравнению с альтернативными подходами (например, гистохимическими методами или активационным анализом), РФС позволяет осуществлять массовый скрининг образцов с минимальными временными и материальными затратами [1].

Таким образом, результаты проведённого исследования свидетельствуют о необходимости регулярного мониторинга содержания потенциально опасных элементов в лекарственном растительном сырье. Выявленное превышение концентрации стронция в листьях лопуха большого указывает на потребность в детализированном изучении экологической обстановки в местах заготовки фито-

сырья и введении дополнительных контрольных процедур при производстве фитопрепаратов, кормов и косметических средств на основе лопуха. Реализация указанных мер позволит минимизировать риски для здоровья населения и обеспечить соответствие продукции современным требованиям безопасности.

Список литературы

1. Агроэкологические аспекты использования селенита натрия и цеолитов при выращивании гороха / И.А. Добросмыслова, А.А. Сазанова, В.Г. Семенов [и др.] // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия химии и технологии. – 2021. – №3. – С. 30–36. – ISSN 2224-5286. – DOI: 10.32014/2020.2519-1629.77. – EDN: KLZHWM.

2. Дмитриева С.О. Исследование химического состава листьев лопуха большого (*Arctium lappa* L.) / С.О. Дмитриева, Н.В. Бирюкова // The scientific heritage. – 2021. – №67–2. – С. 22–25. DOI 10.24412/9215-0365-2021-67-2-22-25. EDN GUQOID

3. Guiserix D. Simultaneous analysis of stable and radiogenic strontium isotopes in reference materials, plants and modern tooth enamel / D. Guiserix, E. Albalat [et al.] // Chemical Geology. – 2022. – Vol. 606. – P. 121000. DOI 10.1016/j.chemgeo.2022.121000. EDN EKUZNU

4. Tietz Textbook of Clinical Chemistry and Molecular Diagnostics / Burtis C.A., Ashwood E.R., Bruns D.E. (eds.). – 4th ed. – New Delhi: Elsevier, 2006. – 2412 p.

5. Серегин И.В. Гистохимические методы выявления тяжёлых металлов и стронция в тканях высших растений / И.В. Серегин, А.Д. Кожевникова // Физиология растений. – 2011. – Т. 58, №5. – С. 721–727. – DOI: 10.1134/S1021443711040133. EDN OHRNNZ