

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ В БОРЩЕВИКЕ СОСНОВСКОГО И БОРЩЕВИКЕ СИБИРСКОМ (HERACLEUM SOSNOWSKYI И HERACLEUM SIBIRICUM) МЕТОДОМ РЕНТГЕНОВСКОЙ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Лукашов Р.И., Беляцкий В.Н., Гапанькова Е.И., Матвейчук С.В., Лавровский А.В., Бартош В.А.

Лукашов Р.И.

Кандидат фармацевтических, доцент, заведующий кафедрой фармацевтической химии с курсом ПК и П УО «Белорусский государственный медицинский университет»,

*г. Минск, Беларусь
r_lukashov@mail.ru*

Беляцкий В.Н.

Кандидат химических наук, доцент кафедры фармацевтической химии с курсом ПК и П УО «Белорусский государственный медицинский университет»

*г. Минск, Беларусь
vbelyatsky@mail.ru*

Гапанькова Е.И.

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института физико-органической химии Национальной Академии Наук Беларуси,

г. Минск, Беларусь

Матвейчук С.В.

Кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник Института физико-органической химии Национальной Академии Наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь

Лавровский А.В.

Студент 5 курса фармацевтического факультета УО «Белорусский государственный медицинский университет»

г. Минск, Беларусь

Бартош В.А.

Студент 2 курса фармацевтического факультета УО «Белорусский государственный медицинский университет»

г. Минск, Беларусь

Аннотация. В последнее время борщевик Сосновского и родственные виды привлекают большое внимание как эндемичные виды для флоры Республика Беларусь. В то же время появляются публикации, в которых обращается внимание на наличие физиологической активности содержащихся в этих растениях фуранокумаринов, в частности, при лечении псориаза, витилиго, онкологических заболеваний. Для характеристики фитосырья необходимы сведения не только о содержании физиологически активных соединений, но также и о наличии минеральных солей и некоторых неметаллов. Идентификацию минеральных компонентов и их концентрацию можно определять одним из новых и

эффективных методов рентгеновской флуоресценции, который был включен в фармакопею Российской Федерации.

Ключевые слова: рентгеновская флуоресценция, борщевик Сосновского, борщевик сибирский, минеральный состав.

DETERMINATION OF MINERAL COMPONENTS IN *HERACLEUM SOSNOWSKYI* AND *HERACLEUM SIBIRICUM* BY X-RAY FLUORESCENCE

Lukashou R.I.,

Candidate of Pharmacy, Head of the Department of Pharmaceutical Chemistry with advanced training course and retraining Belarusian State Medical University, Minsk, Republic of Belarus

r_lukashov@mail.ru

Belyatsky V.N.

Candidate of Chemistry, Associate Professor Department of Pharmaceutical Chemistry with advanced training course and retraining Belarusian State Medical University, Minsk, Republic of Belarus

vbelyatsky@mail.ru

Hapankova A.I.

*Candidate of Engineering, senior researcher
Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

Matveichuk S.V.

*Candidate of Chemistry, leading researcher
Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

Laurouski A.V.

A fifth-year student of the Faculty of Pharmacy of the Belarusian State Medical University, Minsk, Republic of Belarus

Бартов В.А.

*A second-year student of the Faculty of Pharmacy
Belarusian State Medical University, Minsk, Republic of Belarus*

Annotation. Recently, *Heracleum Sosnowskyi* and related species have attracted much attention as endemic species for the flora of Republic of Belarus. At the same time, scientific publications draw attention to the presence of physiological activity of furanocoumarins contained in these plants, in particular, in the therapy of psoriasis, vitiligo, and cancer. To characterize phyto-raw materials, information is needed not only on the content of physiologically active compounds, but also on the presence of mineral salts and some non-metals. Identification of mineral components and determination of their concentration can be carried out using one of the new and effective methods of X-ray fluorescence analysis, which is included in the Russian Pharmacopoeia.

Key words: *X-ray fluorescence, Heracleum Sosnowskyi, Heracleum sibiricum, mineral composition.*

Введение. Метод рентгенофлуоресцентного анализа (РФС) основан на зависимости интенсивности рентгеновской флуоресценции от концентрации элемента в образце. При облучении образца потоком излучения рентгеновской трубки возникает характеристическое флуоресцентное излучение атомов, которое пропорционально их концентрации в образце.

Первичное излучение рентгеновской трубки спектрометра выбивает электроны на внутренних оболочках атомов, что приводит к образованию вакансии на внутреннем электронном уровне. При появлении такой вакансии на ближайшей к ядру оболочке (K-уровень) на нее начнут переходить электроны с более удаленных уровней (L-уровень). При этом будут испускаться кванты энергии с $h\nu_{1,2} = E_1 - E_2$, которая равна разности энергий электрона на исходной и конечной оболочке. Энергия этих квантов соответствует рентгеновскому диапазону, лежащему между ультрафиолетовым и γ -излучением. Спектр возникающего таким образом характеристического рентгеновского излучения состоит из групп отдельных линий, соответствующих переходам электронов между внутренними оболочками атомов. Поскольку состояние всех электронов в атоме определяется зарядом ядра, спектр вторичного флуоресцентного излучения несет в себе информацию об элементном составе пробы. Это позволяет надежно проводить качественный элементный анализ, а также количественный анализ при помощи градуирования по стандартным образцам и применении нестандартных методик.

Метод РФС позволяет за минимальный период времени получить наиболее полную и достоверную информацию об элементном составе сложных образцов в жидком или твердом виде. Этот метод позволяет одновременно определять более 80 элементов и может быть использован для контроля содержания, как элементов матрицы, так и микропримесей элементов в различных по составу материалах. Неоспоримым достоинством метода РФС, выгодно выделяющим его от большинства современных методов исследования, является возможность получения данных о составе сложного материала без его разрушения. В отношении фитосырья возможен анализ как исходного сырья, так и продуктов его озоления.

Материалы и методы. Объектами исследования служили воздушно-сухие трава и соцветия, заготовленные в период цветения, корни, заготовленные в период отмирания наземной части борщевика Сосновского, и борщевика Сибирского.

Сырье было заготовлено в д. Новое Поле Минского района при соблюдении техники безопасности.

Методы. Для регистрации спектров применялся волнодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр «Спектроскан Макс GVM» (Россия), аналитические весы OHAUS EX125D (OHAUS Corp, USA, Assembled in China). Для количественного элементного анализа использовали метод известный как «метод фундаментальных параметров», реализующий алгоритм нестандартного расчета содержаний элементов. Алгоритм предусматривает итерационный расчет влияния состава анализируемого материала на интенсивность аналитических линий

рентгеновской флуоресценции. Для реализации способа требуется весьма ограниченное число градуировочных образцов, закладываемых в настройку. В методе фундаментальных параметров взаимовлияния элементов в различных матрицах рассчитываются теоретически. Этот метод более универсальный и менее точный, чем эмпирический. С помощью этого метода можно анализировать неизвестные пробы без калибровки с точностью не выше 20 %. Образцы растений в растертом виде формовались в виде таблеток диаметром 20 мм на диске из борной кислоты при давлении 3 тонны. Для проведения корректных расчетов принималось, что основу растительной части образцов составляет целлюлоза (C₆H₁₀O₅)_n, которая задавалась в качестве наполнителя (неопределяемого компонента). В этом случае измеряются только интенсивности линий примесей, а содержание наполнителя будет рассчитываться вычитанием суммарного содержания примесей из 100 %.

Определение зольности образцов проводилось прокаливанием на воздухе при 600 °С в течение 3 часов.

Результаты и обсуждение. Как показывают результаты проведенных исследований, в образцах были обнаружены элементы Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Mn, Fe. Zn присутствовал в концентрациях ниже предела обнаружения и в таблице не показан. В траве борщевика сибирского содержание цинка было на уровне предела обнаружения. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Элементный состав борщевика Сосновского и борщевика Сибирского

Концентрация, % масс.												
№	Образец	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Mn	Fe
Борщевик Сосновского												
1	корни	<0,01*	0,21	0,28	0,23	0,13	0,31	1,68	0,58	0,01	0,06	0,07
2	трава	1,12	<0,01	0,04	0,27	0,35	0,52	2,26	1,98	<0,01	0,02	0,01
3	листья	0,83	<0,01	0,18	0,39	0,36	1,23	3,45	1,78	0,01	0,02	0,03
4	соцветия	0,74	<0,01	0,03	0,41	0,34	0,28	2,99	1,09	0,01	0,01	0,01
Борщевик сибирского												
	трава	0,81	<0,01	0,05	0,67	0,37	1,05	4,35	2,37	0,01	0,01	0,01

Примечание. * <0,01 фактически означает отсутствие элемента или его наличие в концентрациях ниже предела обнаружения

Данные по зольности изучаемых образцов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Зольность борщевика Сосновского и борщевика Сибирского

№	Образец	Зольность, %	Сумма элементов по данным РФС, %
Борщевик Сосновского			
1	Корни	6,9	3,7
2	Трава	9,4	6,6
3	Листья	10,4	8,3
4	Соцветия	7,7	5,9
Борщевик сибирский			
5	Трава	13,1	9,7

Из данных таблицы 2 следует, что зольность и сумма обнаруженных элементов коррелируют между собой, а разница связана с наличием в золе кислорода в виде оксидов.

Заключение.

1. Методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии с использованием метода фундаментальных параметров было определено содержание минеральных компонентов в борщевике Сосновского и борщевике сибирском. Обнаружены сравнительно высокие содержания калия и кальция, в меньшей степени – алюминия, магния, серы, фосфора, кремния и в следовых количествах цинка, меди, железа, марганца.

2. Общее содержание минеральных компонентов, определенное с помощью озоления образцов (зольность) коррелирует с суммой обнаруженных элементов.

Список литературы

1. Цитостатический эффект извлечений из борщевика Сосновского. / Р. И. Лукашов [и др.] // Разработка и регистрация лекарственных средств. – 2025. – Т. 14, № 1. – С. 39–53.
2. Лавровский, А. В. Сравнительный ТСХ-анализ извлечений из борщевика Сосновского и борщевика сибирского / А. В. Лавровский, Р. И. Лукашов // Вестник фармации. – 2024. – №3 (105). – С. 21–31.
3. Рентгеновская флуоресцентная спектрометрия : общая фармакопейная статья 1.2.1.1.0010.15 [сайт]. – М., ФГБУ «НЦЭСМП». [2025]. –URL: <https://pharmacopoeia.ru/ofs-1-2-1-1-0010-15-rentgenovskaya-fluorestsennaya-spektrometriya/> (дата обращения: 12.05.2025).