

Научная статья
УДК 542.06:633.854.78:64.066.462
DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-2-220-227>
EDN: LDTIEC



Неорганические компоненты стеблей подсолнечника

А.В. Ковехова^{*.*.*✉}, О.Д. Арефьева^{*.*.*}, Л.А. Земнухова^{*}, Д.А. Самохина^{**}

^{*}Институт химии ДВО РАН, г. Владивосток, Российская Федерация

^{**}Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Российская Федерация

Аннотация. В работе представлены результаты изучения неорганических компонентов стеблей подсолнечника. Были исследованы экстракты, полученные при различных значениях pH среды, и образцы золы до и после обработки стеблей водой, кислотой и щелочью. Установлено, что природа экстрагента оказывает незначительное влияние на выход экстрактивных веществ из измельченных стеблей. По данным атомно-абсорбционного анализа, основными ионами в экстрактах, полученных в разных средах, являются ионы калия, кальция, магния и натрия. Массовая доля золы после обработки стеблей растворами при разных значениях pH изменяется от 0,5 до 5,2%. Наименьшим выходом золы характеризуется образец стеблей после экстракции кислотой. По данным энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектроскопии, во всех образцах золы содержатся преимущественно соединения K, Ca, Mg и P. Также в работе были исследованы зольные компоненты сердцевин и внешней части стебля в сравнении с исходным образцом. Зольность сердцевин стебля (9,3%) выше, чем внешней оболочки (7,4%). Результаты ИК-спектроскопии показали, что характер расщепления полос в ИК-спектрах образцов золы практически не зависит от части стебля и предварительной обработки сырья при разных значениях pH. В ИК-спектрах золы стебля наблюдаются полосы поглощения, характерные для карбонатов и силикатов. По данным рентгенофазового анализа, изученные образцы золы находятся в кристаллическом состоянии.

Ключевые слова: стебли подсолнечника, стебли топинамбура, зола, экстрактивные вещества, неорганические компоненты

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания Института химии ДВО РАН (проект № FWFN(0205)-2022-0002, тема 2, раздел 5).

Для цитирования: Ковехова А.В., Арефьева О.Д., Земнухова Л.А., Самохина Д.А. Неорганические компоненты стеблей подсолнечника // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2023. Т. 13. N 2. С. 220–227. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-2-220-227>. EDN: LDTIEC.

PHYSICOCHEMICAL BIOLOGY

Original article

Inorganic compounds of sunflower stems

Anna V. Kovekhova^{*.*.*✉}, Olga D. Arefieva^{*.*.*}, Liudmila A. Zemnukhova^{*},
Daria A. Samokhina^{**}

^{*}Institute of Chemistry Far-Eastern Branch, Russian Academy of Sciences,
Vladivostok, Russian Federation

^{**}Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation

Abstract. This paper presents the results of studying the inorganic components of sunflower stems. The test objects are the extracts obtained at different pH values of the medium and ash samples before and after treatment of stems with water, acid, and alkali. The results show that the nature of the extractant has a negligible effect on the yield of extractive substances from the crushed stems. According to atomic absorption analysis, the main ions in extracts obtained in different media are potassium, calcium, magnesium, and sodium ions. The mass fraction of ash after treatment of stems with solutions at different pH values varies from 0.5 to 5.2%. The lowest ash yield is characterized by a sample of stems after acid extraction. According to energy dispersive X-ray fluorescence spectroscopy, all ash samples contain mainly K, Ca, Mg, and P compounds. The ash components of the core and outer part of the stem were also studied in comparison with the original sample. The ash content of the stem core (9.3%) is higher than that of the outer shell (7.4%). The IR spectroscopy shows that the nature of band splitting in the IR spectra of the ash samples practically does not depend on the stem part and the pretreatment of raw materials at different pH values. Absorption bands characteristic of carbonates and silicates are observed in the IR spectra of the stem ash. According to X-ray diffraction analysis, the studied ash samples are in a crystalline state.

© Ковехова А.В., Арефьева О.Д., Земнухова Л.А., Самохина Д.А., 2023

Keywords: sunflower stems, Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) stems, ash, extractive substances, inorganic components

Funding. The study was carried out within the framework of the state task of the Institute of Chemistry, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (project no. FWFN(0205)-2022-0002, topic 2, section 5).

For citation: Kovekhova A.V., Arefieva O.D., Zemnukhova L.A., Samokhina D.A. Inorganic compounds of sunflower stems. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2023;13(2):220-227. (In Russian). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-2-220-227>. EDN: LDTIEC.

ВВЕДЕНИЕ

Подсолнечник относится к семейству Астровых к роду подсолнечник. Этот род включает несколько десятков видов, из которых наиболее известны два представителя культурных растений: *Helianthus annuus* L. – подсолнечник культурный (однолетний сборный вид) и *Helianthus tuberosus* – топинамбур, или земляная груша (многолетний вид). Подсолнечник – наиболее важная масличная культура из возделываемых в России. На его долю приходится до 90% вырабатываемых растительных масел. Это растение с прямостоячим, грубым, покрытым жесткими волосками стеблем высотой от 0,6 до 2,5 м и мощной стержневой корневой системой, проникающей в почву на глубину до 2–3 м. Внутри стебля находится мягкая, упругая сердцевина [1].

Основная биомасса подсолнечника после уборки остается в поле и практически не используется. После зимовки влажность стеблей уменьшается до 20–25%, такие стебли имеют низшую теплотворную способность 3270 ккал/кг и зольность 6–8% [2]. При гранулировании этой биомассы выходит продукт, сжигая который можно получать энергию, что актуально в безлесных районах. Однако использование отходов подсолнечника в качестве топлива не лишено недостатков: в процессе сжигания образуются такие химические соединения, как хлориды натрия и калия, что вызывает коррозию стальных элементов энергетического оборудования. Низкая температура плавления золы (800–900 °С) может привести к шлакованию элементов энергетического оборудования [3].

Органическая составляющая стеблей подсолнечника представлена в основном веществами углеводной природы [4, 5]. Важная составляющая подсолнечника – пектин, перспективными источниками для промышленного производства которого являются стебли и корзинки. Известно, что они отнесены к третьей группе пектиносодержащего сырья и содержат в стеблях 20,0–35,7% и корзинках до 24,0% пектиновых веществ на сухую массу [6].

Стебли подсолнечника после уборки урожая могут успешно перерабатываться для производства различных видов картонно-бумажной продукции, а также служат сырьем для получения клетчатки [7]. Кроме того, подсолнечник – хорошая силосная культура в чистом виде и в смеси с другими растениями. Для лучшей усвояемости таких кормов животными необходим более тонкий помол [8]. Была показана возможность использования стеблей как источника возобновляемых сбраживаемых сахаров с последующим получением биотоплива [9, 10], а также в качестве сырья в производстве биокомпозитов [11] и древесностружечных плит. Ацелирование стеблей значительно улучшает некоторые технические показатели этих ком-

позитов [12]. Сердцевина стебля находит применение в конструкциях солнечных испарителей благодаря своим природным свойствам [13–15].

Стебли подсолнечника являются дешевым и доступным сырьем для производства углеродных адсорбентов. Они имеют те же физико-химические свойства, что и активированный уголь, который наиболее распространен как углеродный сорбент для очистки загрязненных вод. Для увеличения пористой структуры получаемого сорбционного материала из измельченных стеблей подсолнечника удаляют компоненты, растворимые в щелочи. Обработка измельченных стеблей подсолнечника водным раствором щелочи сопровождается переходом в раствор смол, жиров, полифенольных кислот, лигногуминовых веществ, низкомолекулярного лигнина и полисахаридов [16]. Было показано, что сорбенты, полученные из стеблей подсолнечника, эффективны для очистки сточных вод от красителей (метиленового голубого, основного красного, прямого синего и конго красного) [17], ионов металлов (свинца, кадмия, хрома, меди, никеля, марганца, цинка, железа) [18–20] и полиароматических углеводородов [21].

Более подробное изучение химического состава растительного сырья способствует реализации новых способов переработки и использования отходов сельского хозяйства с получением полезных человеку продуктов. В настоящей работе был исследован состав неорганических компонентов в золе и экстрактах стеблей подсолнечника и дана сравнительная характеристика с близким родственником – топинамбуром, изученным нами ранее [22].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве объекта исследования использовали стебли подсолнечника (СП) (*Helianthus annuus*), отобранные в Хасанском районе Приморского края. Стебли высушивали до воздушно-сухого состояния и измельчали до размера частиц 1–5 мм. В работе был исследован неорганический состав экстрактов, полученных из СП при разных значениях pH, состав зольных остатков стеблей после экстракций и зола исходного образца. В качестве объекта сравнения использовали стебли другого представителя рода подсолнечник – *Helianthus tuberosus* – топинамбура (СТ), отобранные в Яковлевском районе Приморского края.

Экстракция образцов стебля при разных значениях pH. Навеску измельченных стеблей (исходного образца) подсолнечника помещали в термостойкий стакан, добавляли дистиллированную воду, раствор соляной кислоты (0,1 моль/л) или гидроксида натрия (0,1 моль/л) в соотношении Т:Ж=1:15. Гидролиз проводили при нагревании до 90 °С с контролером температуры EKT Hei-Con (Heidolph, Германия) в течение

1 ч при перемешивании. Твердый остаток отфильтровывали через фильтровальную бумагу «синяя лента», промывали дистиллированной водой до нейтральной реакции среды и высушивали.

Окислительный обжиг образцов стебля. Окислительному обжигу подвергались следующие образцы: исходный (состоит из сердцевинки и внешней части), сердцевина, внешняя часть, остатки исходного стебля после водного, кислотного и щелочного гидролиз.

Окислительный обжиг проводили в течение 3 ч в муфельной печи при температуре 600 °С. Перед обжигом образцы карбонизировали в фарфоровой чашке на плите при температуре 300–400 °С.

Методы исследования образцов. ИК-спектры регистрировали на спектрометре Vertex 70 (Bruker, Германия) в области 400–4000 см⁻¹ по стандартным методикам с предварительным прессованием таблеток образца с KBr.

Содержание ионов металлов в экстрактах определяли атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре AA-6601F (Shimadzu, Япония) в режиме пламенного атомно-абсорбционного анализа.

Рентгенофазовый анализ (РФА) проводили по методу Брегг-Брентано в Cu K_α-излучении на дифрактометре Bruker D8 Advance (Bruker, Германия). Идентификация фаз в экспериментальных рентгенограммах проведена с использованием программы EVA банка порошковых данных PDF.

Элементный анализ проводился методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектроскопии (ЭД РФС) на спектрометре EDX 800 HS (Shimadzu, Япония).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Исследование экстрактивных веществ стеблей подсолнечника. Содержание растворимых веществ в стеблях подсолнечника практически не зависит от вида экстрагента и составляет 19–25% (табл. 1). Выход экстрактивных веществ из СТ в 1,6–1,8 раз выше и зависит от природы растворителя [22], что может быть связано с большим содержанием легкогидролизуемых органических веществ.

Таблица 1. Содержание растворимых веществ в стеблях подсолнечника и топинамбура после экстракции при разных значениях pH

Table 1. Content of soluble substances in sunflower and jerusalem artichoke stems after extraction at different pH values

Экстрагент	Выход экстрактивных веществ, %	Цвет фильтрата
Стебли подсолнечника		
H ₂ O	19,0	Светло-коричневый
HCl, 0,1 моль/л	24,0	Светло-желтый
NaOH, 0,1 моль/л	25,0	Темно-коричневый
Стебли топинамбура [22]		
H ₂ O	31,0	Светло-коричневый
HCl, 0,1 моль/л	42,4	Светло-желтый
NaOH, 0,1 моль/л	45,1	Темно-коричневый

Цвет фильтрата зависит от степени делигнификации СП и меняется от светло-желтого (кислотный гидролиз) до темно-коричневого (щелочной гидролиз).

В водных, кислотных и щелочных экстрактах СП было определено содержание ионов металлов (табл. 2). Наибольшее количество ионов металлов экстрагируется соляной кислотой как из СП, так и из СТ. Основными ионами, присутствующими в исследуемых экстрактах, являются ионы калия, которых в стеблях подсолнечника в ~2,5 раза больше. Следует отметить, что экстракты СТ отличаются большим количеством ионов кальция, а СП – магния.

Таблица 2. Содержание ионов металлов в экстрактах из стеблей подсолнечника и топинамбура

Table 2. Content of metal ions in extracts from sunflower and jerusalem artichoke stems

Экстрагент	Содержание ионов, мкг/л				
	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Fe ³⁺
Стебли подсолнечника					
H ₂ O	2500,0	46,9	154,0	26,6	0,24
HCl, 0,1 моль/л	2566,0	315,0	381,0	63,0	2,5
NaOH, 0,1 моль/л	2102,0	23,0	128,0	–*	0,2
Стебли топинамбура [22]					
H ₂ O	900,0	83,0	19,6	3,9	0,2
HCl, 0,1 моль/л	921,0	377,0	46,7	29,4	12,1
NaOH, 0,1 моль/л	840,0	67,3	21,0	–	0,6

Примечание. * – значение не определено из-за высокого содержания ионов натрия в экстракте, что обусловлено составом экстрагента.

Исследование зольных компонентов стеблей подсолнечника. Результаты исследования содержания зольных компонентов в разных частях СП представлены в табл. 3. Наибольшими значениями зольности характеризуются исходный образец и сердцевина стеблей подсолнечника: их зольность превышает зольность внешней части. Содержание зольных компонентов во всех частях СП выше, чем в образцах СТ [22], что связано с большим содержанием калия и магния. Зола сердцевинки стеблей обоих растений окрашена в белый цвет, в отличие от золы исходных образцов и внешней части, которые окрашены в светло-серый цвет.

Таблица 3. Содержание зольных компонентов в разных частях стеблей подсолнечника и топинамбура

Table 3. Content of ash components in different parts of sunflower and jerusalem artichoke stems

Образец	Зольность, %	Цвет золы
Стебли подсолнечника		
Исходный	9,0	Серый
Сердцевина	9,3	Белый
Внешняя часть	7,4	Серый
Стебли топинамбура [22]		
Исходный	4,3	Серый
Сердцевина	7,0	Белый
Внешняя часть	3,8	Серый

Содержание зольных компонентов в стеблях подсолнечника после экстракции водой, кислотой и щелочью изменяется от 0,5 до 5,2% (табл. 4). Остаток СП после экстракции кислотой имеет наименьшую зольность, в гидролизате которого наблюдается наибольшее содержание ионов металлов.

Зольность образцов СТ, подвергавшихся водному гидролизу, примерно в 3 раза меньше, чем зольность образца СП, полученного в тех же условиях. Высокая зольность образцов после щелочной экстракции также обусловлена используемым экстрагентом.

Таблица 4. Содержание зольных компонентов в стеблях подсолнечника после экстракции при разных значениях pH

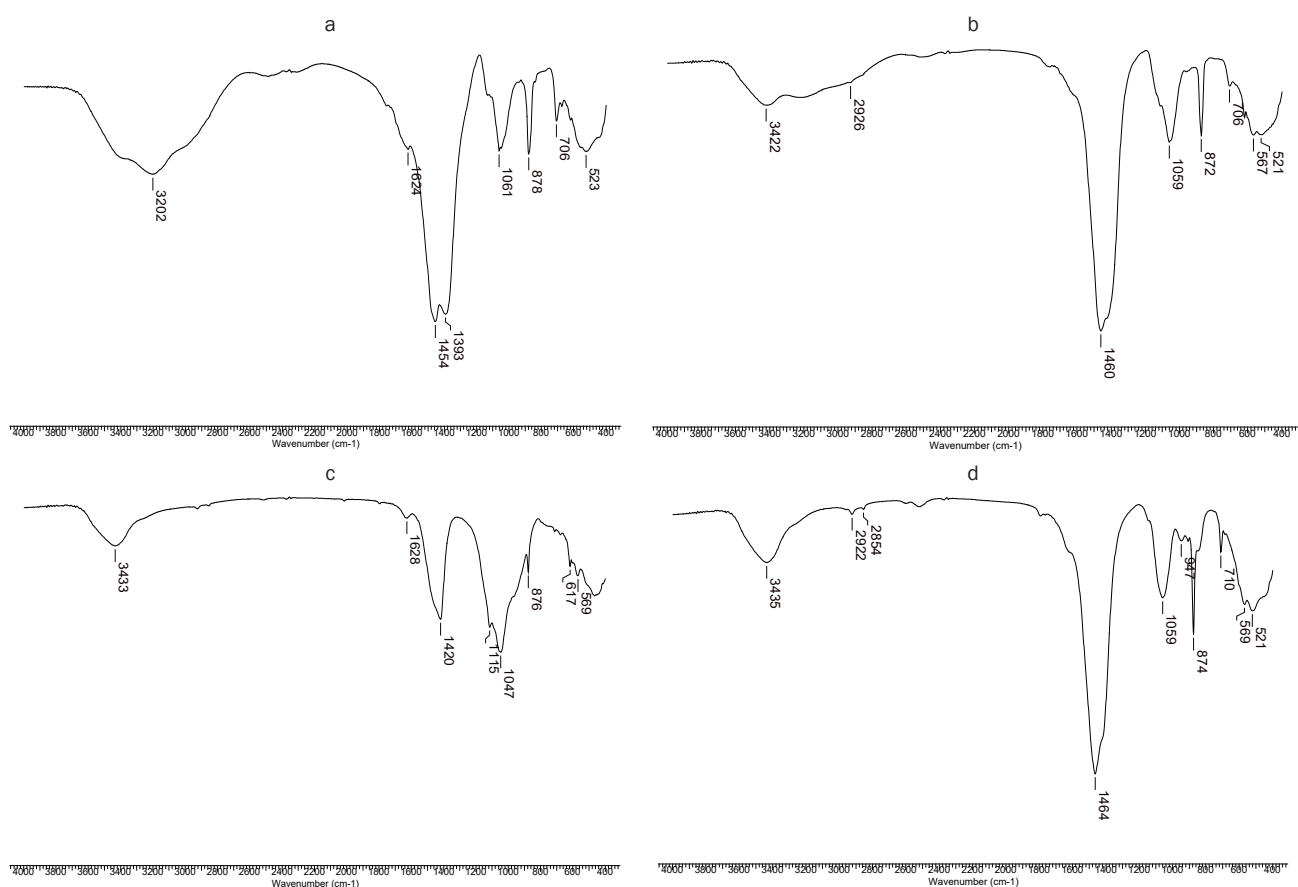
Table 4. Content of ash components in sunflower stems after extraction at different pH values

Экстрагент	Зольность, %	Цвет золы
Стебли подсолнечника		
H ₂ O	5,2	Светло-серый
HCl, 0,1 моль/л	0,5	Светло-бежевый
NaOH, 0,1 моль/л	3,1	Светло-серый
Стебли топинамбура [22]		
H ₂ O	1,8	Светло-серый
HCl, 0,1 моль/л	0,4	Светло-бежевый
NaOH, 0,1 моль/л	2,3	Светло-серый

По данным рентгенофлуоресцентного анализа, основными элементами в золе являются калий, кальций, магний (табл. 5). Содержание кальция выше в сердцевине, а кремния и фосфора – во внешней части стебля. Количество калия, магния и натрия практически одинаково. Аналогичное распределение элементов наблюдается и в топинамбуре [22].

Предварительная обработка СП водой, соляной кислотой и щелочью влияет на состав золы. Содержание калия в образцах золы снижается после предварительной обработки стеблей водой, кислотой и щелочью. Концентрация кремния увеличивается после кислотного гидролиза. Элементный состав образцов золы связан с разной растворимостью соединений, входящих в ее состав, при различных значениях pH.

На рисунке представлены ИК-спектры поглощения образцов золы стеблей подсолнечника: исходного (сходен со спектрами поглощения образцов золы сердцевин и внешней части стебля), после обработки стеблей водой, кислотой и щелочью, в которых наблюдаются полосы поглощения карбонатных групп (1420–1464 и 870–878 см⁻¹). Также в ИК-спектрах образцов золы присутствует полоса поглощения связей силикатов Si–O–Me (1047–1061 см⁻¹). Полосы поглощения в области 3400 и 1628–1653 см⁻¹ отвечают валентным и деформационным колебаниям адсорбированной воды и связанных ОН-групп. В спектре



ИК-спектры образцов золы из стеблей подсолнечника: а – исходный образец; б – водный гидролиз;

с – кислотный гидролиз; d – щелочной гидролиз

FTIR spectra of sunflower stems ash: a – initial sample; b – water hydrolysis; c – acid hydrolysis;

d – alkaline hydrolysis

Таблица 5. Содержание химических элементов в золе стеблей подсолнечника

Table 5. Content of chemical elements in sunflower stems ash

Образец	Содержание, %					
	K ₂ O	CaO	MgO	P ₂ O ₅	Na ₂ O	SiO ₂
Зола стеблей (исходный)	56,3	16,2	17,3	3,6	1,8	1,9
Зола стеблей (сердцевина)	53,8	24,4	17,3	1,6	1,3	0,4
Зола стеблей (внешняя часть)	52,6	12,7	12,4	3,3	1,9	2,2
Зола стеблей после водного гидролиза	46,3	27,2	17,7	4,5	1,4	1,7
Зола стеблей после кислотного гидролиза (0,1 моль/л HCl)	17,2	35,6	8,0	9,2	2,8	18,4
Зола стеблей после щелочного гидролиза (0,1 моль/л NaOH)	15,1	26,9	21,8	5,6	23,9*	3,4

Примечание. * – высокое содержание натрия в золе обусловлено предварительной обработкой.

Таблица 6. Соединения, входящие в состав стеблей подсолнечника и топинамбура, по данным РФА

Table 6. Compounds included in sunflower and jerusalem artichoke stems according to the X-ray phase analysis data

Образец золы стеблей	Идентифицированные соединения	
	Стебли подсолнечника	Стебли топинамбура
Исходный	K ₂ Ca(CO ₃) ₂ , CaMg(CO ₃) ₂ , MgO, KCl, MgCl ₂	KCl, Ca ₂ SiO ₄
Сердцевина	K ₂ Ca(CO ₃) ₂ , CaMg(CO ₃) ₂ , MgO, KCl, MgCl ₂	CaCO ₃ , Ca ₂ SiO ₄ , KCl
Внешняя оболочка	K ₂ Ca(CO ₃) ₂ , CaMg(CO ₃) ₂ , MgO, KCl, MgCl ₂	KCl, Ca ₂ SiO ₃ (OH) ₂ , Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ CO ₃ , CaMg(CO ₃) ₂
Водный гидролиз	K ₂ Ca(CO ₃) ₂ , CaMg(CO ₃) ₂ , MgO, KCl, MgCl ₂	Ca ₃ Si ₃ O ₈ (OH) ₂ , Ca ₂ SiO ₄ /2CaO·SiO ₂
Кислотный гидролиз	K ₂ (CO ₃), CaCO ₃ , CaSO ₄ , SiO ₂ , CaO, MgO,	CaSiO ₃ , KCl, K ₄ CaSi ₃ O ₉
Щелочной гидролиз	MgCl ₂ , MgO, CaCO ₃ , Na ₄ P ₂ O ₇	CaCO ₃ , KCl, K ₄ CaSi ₃ O ₉

образца после кислотной обработки стеблей (рисунк, с) наблюдается перегиб при 1117 см⁻¹, соответствующий асимметричным валентным колебаниям силосановых связей Si–O–Si [23].

Согласно данным РФА, все образцы золы, полученные из СП, находятся в кристаллическом состоянии, в отличие от СТ [22]. Основными соединениями, входящими в состав золы СП, являются карбонаты, что согласуется с данными ИК-спектроскопии. Неорганические компоненты СТ представлены также карбонатами и силикатами различного состава (табл. 6) [22].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследован состав неорганических компонентов стеблей подсолнечника. Установлено, что природа экстрагента оказывает незначительное влияние на выход экстрактивных веществ. Содержание водо-

растворимых веществ в стеблях при различных значениях pH составляет 19–25%. Основными ионами в экстрактах, полученных из стеблей в разных средах, являются ионы калия. Наибольшее количество металлов экстрагируется соляной кислотой. Показано, что содержание минеральных веществ в сердцевине больше, чем во внешней части. Согласно данным ИК-спектроскопии и РФА, в состав золы в основном входят карбонаты.

Сравнительная характеристика состава неорганических компонентов стеблей подсолнечника и топинамбура показала, что он близок между собой и представлен соединениями калия, кальция и магния. Вместе с тем следует отметить, что соединения калия в большей степени накапливаются в стеблях подсолнечника, что позволяет использовать их в качестве калийного удобрения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Васильев Д.С. Подсолнечник. М.: Агропромиздат, 1990. 173 с.
2. Забарный Г.Н., Ключ С.В., Довженко Д.С. Использование растительных отходов для производства энергии // Альтернативная энергетика и экология. 2011. N 8. С. 100–106.
3. Зубко В.Н., Соколик С.П. Анализ технологий и технических средств для использования отходов производства подсолнечника в качестве биотоплива // Инженерия природопользования. 2017. N 1. С. 6–10.
4. Brazil O.A., Vilanova-Neta J.L., Silva N.O., Vie-

- ira I.M.M., Lima Á.S., Ruzene D.S., et al. Integral use of lignocellulosic residues from different sunflower accessions: analysis of the production potential for biofuels // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 221. P. 430–438. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.274>.
5. Xu M., Qi M., Goff H.D., Cui S.W. Polysaccharides from sunflower stalk pith: chemical, structural and functional characterization // Food Hydrocolloids. 2020. Vol. 100. P. 105082. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.04.053>.
6. Типсина Н.Н., Комарова О.Ю., Струпан Е.А. Тех-

нологические особенности пектинового сырья // Вестник КРАСГАУ. 2008. N 1. С. 253–259.

7. Caparros S., Ariza J., Lopez F., Nacimient J.A., Garrote G., Jiménez L. Hydrothermal treatment and ethanol pulping of sunflower stalks // *Bioresource Technology*. 2008. Vol. 99, no. 5. P. 1368–1372. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.045>.

8. Astanakulov K.D., Karshiev F.U., Tursunov S.C., Gapparov S.H. The use of sunflower stalks as animal feed // *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*. 2019. Vol. 6, no. 12. P. 11992–11994.

9. Nargotra P., Sharma V., Gupta M., Kour S., Bajaj B.K. Application of ionic liquid and alkali pretreatment for enhancing saccharification of sunflower stalk biomass for potential biofuel-ethanol production // *Bioresource Technology*. 2018. Vol. 267. P. 560–568. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.07.070>.

10. Manmai N., Unpaprom Y., Ramaraj R. Bioethanol production from sunflower stalk: application of chemical and biological pretreatments by response surface methodology (RSM) // *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2021. N 11. P. 1759–1773. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00602-7>.

11. Brouard Y., Belayachi N., Hoxha D., Ranganathan N., Méo S. Mechanical and hygrothermal behavior of clay – Sunflower (*Helianthus annuus*) and rape straw (*Brassica napus*) plaster bio-composites for building insulation // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 161. P. 196–207. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.140>.

12. Papadopoulos A.N., Kyzas G.Z., Mitropoulos A.C. Lignocellulosic composites from acetylated sunflower stalks // *Applied Sciences*. 2019. Vol. 9, no. 4. P. 646. <https://doi.org/10.3390/app9040646>.

13. Liu F., Xia L., Zhang L., Guo F., Zhang X., Yu Y., et al. Sunflower-stalk-based solar-driven evaporator with a confined 2D water channel and an enclosed thermal-insulating cellular structure for stable and efficient steam generation // *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2021. Vol. 13, no. 46. P. 55299–55306. <https://doi.org/10.1021/acsami.1c20747>.

14. Su X., Hao D., Sun M., Wei T., Xu D., Ai X., et al. Nature sunflower stalk pith with zwitterionic hydrogel coating for highly efficient and sustainable solar evaporation // *Advanced Functional Materials*. 2022. Vol. 32, no. 6. P. 2108135. <https://doi.org/10.1002/adfm.202108135>.

15. Khajevand M., Azizian S., Jaleh B. A bio-based 3D evaporator nanocomposite for highly efficient solar desalination // *Separation and Purification Technology*. 2022. Vol. 284. P. 120278. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.120278>.

16. Свергузова С.В., Локтинова Е.В. Влияние щелочной обработки на сорбционные свойства биомассы подсолнечника // Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. (г. Алуста – Белгород, 01–05 июня 2020 г.). Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2020. С. 169–172.

17. Sun G., Xu X. Sunflower stalks as adsorbents for color removal from textile wastewater // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 1997. Vol. 36, no. 3. P. 808–812. <https://doi.org/10.1021/ie9603833>.

18. Jalali M., Aboulghazi F. Sunflower stalk, an agricultural waste, as an adsorbent for the removal of lead and cadmium from aqueous solutions // *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 2013. Vol. 15. P. 548–555. <https://doi.org/10.1007/s10163-012-0096-3>.

19. Jain M., Garg V.K., Kadirvelu K. Chromium(VI) removal from aqueous system using *Helianthus annuus* (sunflower) stem waste // *Journal of Hazardous Materials*. 2009. Vol. 162, no. 1. P. 365–372. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.05.048>.

20. Feizi M., Jalali M. Removal of heavy metals from aqueous solutions using sunflower, potato, canola and walnut shell residues // *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2015. Vol. 54. P. 125–136. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2015.03.027>.

21. Khosrowshahi E.M., Razmi H. Application of sunflower stalk-carbon nitride nanosheets as a green sorbent in the solid // *Journal of Separation Science*. 2018. Vol. 41, no. 9. P. 2020–2028. <https://doi.org/10.1002/jssc.201701248>.

22. Ковехова А.В., Арефьева О.Д., Диденко Н.А., Земнухова Л.А. Состав неорганических компонентов стеблей топинамбура // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2021. Т. 11. N 2. С. 299–309. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-2-299-309>.

23. Плюснина И.И. Инфракрасные спектры минералов. М.: Изд-во Московского университета, 1977. 174 с.

REFERENCES

1. Vasil'ev D.S. *Sunflower*. Moscow: Agropromizdat, 1990. 173 p. (In Russian).

2. Zabarnyi G.N., Klyus S.V., Dovzhenko D.S. Utilizing plant residues for energy generation. *Alternativnaya energetika i ekologiya = International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology*. 2011;(8):100-106. (In Russian).

3. Zubko V.M., Sokolik S.P. Analysis of technologies and equipment for use of sunflower waste as biofuel. *Inzheneriya prirodopol'zovaniya = Engineering of Nature Management*. 2017;(1):6-10. (In Russian).

4. Brazil O.A., Vilanova-Neta J.L., Silva N.O., Vie-

ira I.M.M., Lima Á.S., Ruzene D.S., et al. Integral use of lignocellulosic residues from different sunflower accessions: analysis of the production potential for biofuels. *Journal of Cleaner Production*. 2019;221:430-438. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.274>.

5. Xu M., Qi M., Goff H.D., Cui S.W. Polysaccharides from sunflower stalk pith: chemical, structural and functional characterization. *Food Hydrocolloids*. 2020;100:105082. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.04.053>.

6. Tipsina N.N., Komarova O.Yu., Strupan E.A. Technological features of pectin-containing raw materials.

Vestnik KRASGAU = Bulletin of KSAU. 2008;(1):253-259. (In Russian).

7. Caparros S., Ariza J., Lopez F., Nacimiento J.A., Garrote G., Jiménez L. Hydrothermal treatment and ethanol pulping of sunflower stalks. *Bioresource Technology*. 2008;99(5):1368-1372. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.045>.

8. Astanakulov K.D., Karshiev F.U., Tursunov S.C., Gapparov S.H. The use of sunflower stalks as animal feed. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*. 2019;6(12):11992-11994.

9. Nargotra P., Sharma V., Gupta M., Kour S., Bajaj B.K. Application of ionic liquid and alkali pretreatment for enhancing saccharification of sunflower stalk biomass for potential biofuel-ethanol production. *Bioresource Technology*. 2018;267:560-568. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.07.070>.

10. Manmai N., Unpaprom Y., Ramaraj R. Bioethanol production from sunflower stalk: application of chemical and biological pretreatments by response surface methodology (RSM). *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2021;(11):1759-1773. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00602-7>.

11. Brouard Y., Belayachi N., Hoxha D., Ranganathan N., Méo S. Mechanical and hygrothermal behavior of clay – Sunflower (*Helianthus annuus*) and rape straw (*Brassica napus*) plaster bio-composites for building insulation. *Construction and Building Materials*. 2018;161:196-207. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.140>.

12. Papadopoulos A.N., Kyzas G.Z., Mitropoulos A.C. Lignocellulosic composites from acetylated sunflower stalks. *Applied Sciences*. 2019;9(4):646. <https://doi.org/10.3390/app9040646>.

13. Liu F., Xia L., Zhang L., Guo F., Zhang X., Yu Y., et al. Sunflower-stalk-based solar-driven evaporator with a confined 2D water channel and an enclosed thermal-insulating cellular structure for stable and efficient steam generation. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2021;13(46):55299-55306. <https://doi.org/10.1021/acsami.1c20747>.

14. Su X., Hao D., Sun M., Wei T., Xu D., Ai X., et al. Nature sunflower stalk pith with zwitterionic hydrogel coating for highly efficient and sustainable solar evaporation. *Advanced Functional Materials*. 2022;32(6):2108135. <https://doi.org/10.1002/adfm.202108135>.

15. Khajevand M., Azizian S., Jaleh B. A bio-based 3D evaporator nanocomposite for highly efficient solar desalination. *Separation and Purification Tech-*

nology. 2022;284:120278. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.120278>.

16. Sverguzova S.V., Loktina E.V. Effect of alkaline treatment on the sorption properties of sunflower biomass. In: *Ratsional'noe ispol'zovanie prirodnnykh resursov i pererabotka tekhnogenogo syr'ya: fundamental'nye problemy nauki, materialovedenie, khimiya i biotekhnologii: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii = Rational use of natural resources and processing of technogenic raw materials: fundamental problems of science, materials science, chemistry and biotechnology: materials of the International Scientific and Technical Conference*. 01–05 June 2020, Alushta – Belgorod. Belgorod: Belgorodskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii universitet im. V.G. Shukhova; 2020, p. 169-172. (In Russian).

17. Sun G., Xu X. Sunflower stalks as adsorbents for color removal from textile wastewater. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 1997;36(3):808-812. <https://doi.org/10.1021/ie9603833>.

18. Jalali M., Aboulghazi F. Sunflower stalk, an agricultural waste, as an adsorbent for the removal of lead and cadmium from aqueous solutions. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 2013;15:548-555. <https://doi.org/10.1007/s10163-012-0096-3>.

19. Jain M., Garg V.K., Kadirvelu K. Chromium(VI) removal from aqueous system using *Helianthus annuus* (sunflower) stem waste. *Journal of Hazardous Materials*. 2009;162(1):365-372. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.05.048>.

20. Feizi M., Jalali M. Removal of heavy metals from aqueous solutions using sunflower, potato, canola and walnut shell residues. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2015;54:125-136. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2015.03.027>.

21. Khosrowshahi E.M., Razmi H. Application of sunflower stalk-carbon nitride nanosheets as a green sorbent in the solid. *Journal of Separation Science*. 2018;41(9):2020-2028. <https://doi.org/10.1002/jssc.201701248>.

22. Kovekhova A.V., Arefieva O.D., Didenko N.A., Zemnukhova L.A. Composition of inorganic components in *Helianthus tuberosus* stems. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2021;11(2):299-309. (In Russian). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-2-299-309>.

23. Plyusnina I.I. *Infrared spectra of minerals*. Moscow: Izd-vo Moskovskogo universiteta; 1977. 174 p. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ковехова Анна Васильевна,
к.х.н., доцент,
Дальневосточный федеральный университет,
690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10,
Российская Федерация;
научный сотрудник,
Институт химии ДВО РАН,
690022, г. Владивосток, пр-т 100-летия
Владивостока, 159, Российская Федерация,

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anna V. Kovekhova,
Cand. Sci. (Chemistry), Associate Professor,
Far Eastern Federal University,
10, Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922,
Russian Federation;
Researcher,
Institute of Chemistry FEB RAS,
159, Stoletiya Vladivostoka Ave., Vladivostok, 690022,
Russian Federation,

✉kovekhova.av@dvfu.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7179-2736>

Арефьева Ольга Дмитриевна,
д.х.н., доцент,
Дальневосточный федеральный университет,
690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10,
Российская Федерация;
научный сотрудник,
Институт химии ДВО РАН,
690022, г. Владивосток, пр-т 100-летия
Владивостока, 159, Российская Федерация,
arefeva.od@dvfu.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8001-4370>

Земнухова Людмила Алексеевна,
д.х.н., профессор, главный научный сотрудник
лаборатории химии редких металлов,
Институт химии ДВО РАН,
690022, г. Владивосток, пр-т 100-летия
Владивостока, 159, Российская Федерация,
zemnukhova@ich.dvo.ru
<https://orcid.org/0009-0003-5301-9119>

Самохина Дарья Александровна,
магистрант,
Дальневосточный федеральный университет,
690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10,
Российская Федерация,
samokhina.da@students.dvfu.ru
<https://orcid.org/0009-0005-3950-4892>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный
вариант рукописи.*

Информация о статье

Поступила в редакцию 13.12.2022.
Одобрена после рецензирования 27.01.2023.
Принята к публикации 30.05.2023.

✉kovekhova.av@dvfu.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7179-2736>

Olga D. Arefieva,
Cand. Sci. (Pedagogy), Associate Professor,
Far Eastern Federal University,
10, Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922,
Russian Federation;
Researcher,
Institute of Chemistry FEB RAS,
159, Stoletiya Vladivostoka Ave., Vladivostok, 690022,
Russian Federation,
arefeva.od@dvfu.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8001-4370>

Liudmila A. Zemnukhova,
Dr. Sci. (Chemistry), Professor,
Chief Researcher,
Laboratory of Chemistry of Rare Metals,
Institute of Chemistry FEB RAS,
159, Stoletiya Vladivostoka Ave., Vladivostok, 690022,
Russian Federation,
zemnukhova@ich.dvo.ru
<https://orcid.org/0009-0003-5301-9119>

Daria A. Samokhina,
Master Student,
Far Eastern Federal University,
10, Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922,
Russian Federation,
samokhina.da@students.dvfu.ru
<https://orcid.org/0009-0005-3950-4892>

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict interests

The authors declare no conflict of interests regarding
the publication of this article.

*The final manuscript has been read and approved by all
the co-authors.*

Information about the article

The article was submitted 13.12.2022.
Approved after reviewing 27.01.2023.
Accepted for publication 30.05.2023.