

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.46>

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭКСТРАКТОВ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ИЗ ТОРФА

Научная статья

Москаленко Т.В.^{1,*}, Михеев В.А.², Ворсина Е.В.³

¹ORCID : 0000-0003-2782-2488;

^{1,2,3} Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (t.v.moskalenko[at]mail.ru)

Аннотация

Статья посвящена исследованию свойств гуминовых веществ, полученных из торфа. Результаты исследования могут быть использованы в разработке эффективных технологий получения гуминовых веществ, применяющихся для улучшения качества почвы, очистки окружающей среды и создания новых лекарственных средств. Для Республики Саха (Якутия) торф, как и бурый уголь, также может служить перспективным сырьем для получения гуминовых веществ. Проанализированы особенности способов экстракции гуминовых веществ из торфа. Представлены экспериментальные данные о влиянии количества щелочи, добавляемой к торфу при выделении гуминовых веществ, на качественно-количественные характеристики полученных экстрактов. Изучены спектрофотометрические характеристики выделенных экстрактов и показано, что зависимости концентрации от оптической плотности различны для экстрактов, полученных в одинаковых условиях, но при различном количестве щелочи.

Ключевые слова: торф, переработка, гуминовые вещества, гуминовые кислоты, экстракция, оптическая плотность.

STUDY OF PROPERTIES OF HUMIC ACID EXTRACTS FROM PEAT

Research article

Moskalenko T.V.^{1,*}, Mikheev V.A.², Vorsina E.V.³

¹ORCID : 0000-0003-2782-2488;

^{1,2,3}The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation

* Corresponding author (t.v.moskalenko[at]mail.ru)

Abstract

The article is dedicated to the study of properties of humic substances obtained from peat. The results of the research can be used in the development of effective technologies for obtaining humic substances used to improve soil quality, environmental purification and creation of new medicines. For the Republic of Sakha (Yakutia) peat, as well as brown coal, can also serve as a promising raw material for obtaining humic substances. The features of methods of extraction of humic substances from peat are analysed. Experimental data on the influence of the amount of alkali added to peat during the extraction of humic substances on the qualitative and quantitative characteristics of the obtained extracts are presented. Spectrophotometric characteristics of the extracts are studied, and it is shown that the concentration-optical density dependences are different for the extracts obtained under the same conditions but with different amounts of alkali.

Keywords: peat, processing, humic substances, humic acids, extraction, optical density.

Введение

Гуминовые вещества (ГВ) представляют собой сложные органические соединения, которые обладают уникальными свойствами и могут быть использованы в различных отраслях, включая сельское хозяйство, медицину и экологию. Исследования свойств гуминовых веществ, проводимые в последние десятилетия, подтверждают их многофункциональность и открывают новые горизонты для их применения. Понимание физико-химических, биологических и экологических свойств гуминовых кислот (ГК) поможет в разработке эффективных технологий для улучшения качества почвы, очистки окружающей среды и создания новых лекарственных средств.

Для получения гуминовых веществ одним из наиболее распространенных видов сырья является торф – полезное ископаемое органического происхождения. Формирование торфяных залежей происходит из болотной флоры, которая претерпевает распад под действием биотических и абиотических факторов, что обуславливает его уникальные свойства: способность к возобновлению, огромные территории, занятые его естественными средами образования (болотными экосистемами), огромное видовое разнообразие, широчайший спектр биологически активных веществ и их разное количественное содержание, различные технические характеристик (влажность, пористость, ботанический состав). Все это объясняет применение торфа в топливной, металлургической, текстильной промышленности, сельском хозяйстве, животноводстве и медицине [1], [2], [3], [4], [5].

Для Республики Саха (Якутия) торф также может служить перспективным сырьем для получения гуминовых веществ наравне с бурым углем. В отличие от углей, часто залегающих на значительных глубинах, большая доступность торфа и торфяных месторождений делают его легким сырьем для добычи. Однако, в мировой практике, в связи с нарушением при торфяных разработках естественных болотных ландшафтов, добыча торфа ограничивается [3]. На юге Республики Саха (Якутия) широко развита разработка россыпных месторождений золота. В соответствии с технологией разработки данного класса месторождений полезных ископаемых, при вскрытии полигона проводится удаление верхнего непродуктивного слоя, покрывающего россыпные пески и его складирование по краю полигонов в

отвалы. На многих полигонах в таких отвалах находится торф, который в настоящее время не используется. Анализ проб торфа одного из таких полигонов показал, что содержание ГК достигает 40%, что подтверждает перспективность этого сырья для переработки [6].

Методы исследования

Гуминовые вещества представляют собой сложные органические соединения, которые обладают уникальными свойствами, связанными с формированием органических полезных ископаемых из болотной флоры, которая претерпевает распад под действием биотических и абиотических факторов. В торфе часть гуминовых веществ находится в свободном состоянии, другая часть связана с минеральными компонентами. Кроме того, в торфе могут параллельно протекать процессы новообразования и разрушения гуминовых веществ, в связи с чем гуминовые вещества представлены широким набором фракций, находящихся на разных стадиях «химической зрелости» и связанных друг с другом непрерывной цепью взаимных переходов [7].

Исходные свойства сырья формируют основную часть свойств гуминовых веществ. Далее влияние на свойства оказывает метод их извлечения. Гуминовые вещества из твердых органических полезных ископаемых могут быть извлечены различными методами, но одним из наиболее эффективных методов является экстракция. В зависимости от применяемого растворителя, методы экстракции можно объединить в четыре группы:

1. Экстракция водой: метод заключается в обработке торфа горячей водой при температуре около 80 °С. Этим методом извлекаются «химически незрелые» гуминовые вещества. При этом они менее всего подвержены изменениям при извлечении и по составу и свойствам соответствуют нативным ГВ, попадающим естественным путем в почвы и водоемы.

2. Экстракция солями: метод обработки пиродифосфатом натрия позволяет создать мягкие условия, но извлечение происходит недостаточно полно. При этом извлекаются так называемые «свободные» гуминовые вещества.

3. Экстракция щелочами: метод основан на использовании щелочей для извлечения гуминовых веществ из торфа. Обычно используется гидроксид натрия или гидроксид калия. Этот метод позволяет извлекать нерастворимые в воде гуминовые вещества. Для бурого угля этот метод (ГОСТ 9517-94 (ИСО 5073-85)) является эталонным и позволяет сравнивать между собой угли различных участков, месторождений и бассейнов по содержанию гуминовых кислот.

4. Экстракция органическими растворителями: метод включает использование таких растворителей, как этилацетат или хлороформ. Но большинство органических растворителей необратимо присоединяются к гуминовым кислотам, а также экстрагируют из торфа ряд других веществ (битумоиды, лигнин). Метод получил распространение только в тех случаях, когда необходимо получить определенные фракции ГВ, например, гиматомелановые кислоты.

Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки, и выбор метода зависит от конкретных целей исследования. При выборе метода извлечения гуминовых веществ исследователи отталкиваются от конечных целей. Например, при групповом анализе торфа необходимо выбирать мягкие условия проведения экстракции (нагрев не выше 80 °С, минимальные концентрации реагента) для обеспечения выделения гуминовых веществ в наименее измененном виде и с наименьшим содержанием примесей. Однако, в большинстве методик, нацеленных на полное извлечение всех фракций ГВ в комплексный продукт, наиболее перспективными являются экстракции водными растворами едких щелочей при температурах выше 80 °С, а также с применением предварительной кислотной обработки (например, 2%-ной соляной или 5%-ной серной кислотой торфов низкой степени разложения). Считается, что при таких «жестких» условиях выделения ГВ из торфа изменяются исходные макромолекулы гуминовых кислот и образовывается значительное количество низкомолекулярных фрагментов [8], [9], но метод позволяет наиболее полно извлечь ГВ из исходного сырья.

Как показано выше, гуминовые вещества извлекаются экстракцией, а основным методом извлечения является экстракция щелочными растворами натрия и калия. При этом образуется экстрагируемое соединение в виде солей гуминовой кислоты – гуматов натрия или калия, которые являются хорошо растворимым в щелочной среде комплексным соединением и окрашивающим раствор в цвета от светло- до темно-коричневого. Цветность щелочных растворов гуминовых кислот при разведении их водой имеет линейную зависимость с концентрацией и подчиняется закону Буггера-Ламберта-Бера [8], [10], [11], что позволяет применять один из основных методов изучения таких растворов – спектрофотометрию. Спектрофотометрические методы можно применять для анализа содержания гуминовых кислот в растворах, почвах, водоемах и органических удобрениях, для изучения взаимодействия гуминовых кислот с другими органическими и неорганическими соединениями, для изучения структурных изменений гуминовых кислот под воздействием различных факторов, таких как температура, время хранения, воздействие химических реагентов или физических полей. Кроме того, эти методы имеют практическое значение, а именно определение концентрации растворов, применяемых в конкретных целях растениеводства, животноводства и др.

Методика исследования

Цель исследования: выявить и установить различия характеристик щелочных растворов гуминовых кислот, полученных при изменении количества щелочного реагента в экстракции торфяного сырья.

Объект исследования: гуматы калия, полученные из торфа экстракцией с различным количеством щелочи. В качестве сырья использовался торф, взятый из торфяного отвала участка Колбачи (Муравьи) на территории Нерюнгринского района Республики Саха (Якутия).

На скорость и механизм экстрагирования существенно влияет структура твердых пористых тел. Торф обладает изотропной структурой и имеет одинаковое строение во всех направлениях – состоит из весьма малых сцементированных между собой частиц. В то же время он, как и все твердые горючие ископаемые, обладает неоднородностью состава и нестабильностью свойств, что, в свою очередь сказывается на точности и воспроизводимости результатов экспериментов и анализов. Для уменьшения влияния вышеперечисленных факторов на результаты эксперимента проба торфа, предварительно высушенная естественным образом в рассыпанном виде

слоем толщиной до 0,25 м в условиях лаборатории, была усреднена, измельчена до крупности -10 мм и тщательно перемешана. Подготовленная проба торфа согласно данным технического анализа имеет следующие качественные характеристики: влажность пробы крупностью -10 мм $W = 8,0\%$; влажность пробы крупностью 0,2 мм $W^a = 8,2\%$; зольность пробы торфа $A^d = 20,6\%$; выход летучих веществ $V^{daf} = 77,3\%$; выход свободных гуминовых кислот $(HA)^f = 25,4\%$.

Методика проведения экспериментальных исследований включает в себя: подготовку сырья, проведение технического анализа, обработку пробы торфа щелочью, сушку и термообработку смеси торфа со щелочью, экстракцию гуминовых веществ, фильтрацию полученного раствора от остатков исходного сырья, исследование щелочных растворов гуминовых кислот (определение концентраций ГВ в растворе, фотоспектрометрическое изучение), высушивание экстракта и исследование сухих гуматов, высушивание и изучение твердого осадка фильтрации.

Для проведения экспериментальных исследований были подготовлены пробы с количеством 2,5; 5; 10; 15; 20 и 25 моль щелочного реагента на 1 кг исходного сырья (расчет на сухую беззольную массу торфа). Проба торфа на одну экстракцию составляла 100 г (расчет на сухую массу). В качестве щелочного реагента применяли КОН, расчетное по варианту количество которого предварительно растворялось в воде, тщательно перемешивалось с торфом до однородности. Соотношение торфа и воды на этой стадии составляло Т:Ж = 1:1, с учетом влаги, содержащейся в торфе.

Исходные характеристики проб по вариантам в соответствии с методикой эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Характеристика вариантов обработки торфа перед экстракцией

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.46.1>

Вариант	1	2	3	4	5	6
Масса пробы торфа, г	108,3					
Сухая масса пробы, г	100					
Сухая беззольная масса пробы, г	79,4					
Щелочной реагент	КОН					
Количество щелочи на 1 кг сухой беззольной массы торфа, моль	2,5	5	10	15	20	25
Количество щелочи на 100 г сухой беззольной массы торфа, г	11,12	22,23	44,46	66,70	88,93	111,26
Масса пробы (торф+щелочь) перед термообработкой, г	211	222	244	267	288	311
Масса пробы (торф+щелочь) после термообработки, г	111	122	144	167	188	211
Вода для экстракции	2600					

Вариант	1	2	3	4	5	6
, мл						

Сушка смеси торфа со щелочью осуществлялась в сушильном шкафу при температуре 105 °С. После получения сухой смеси температуру повышали до 120 °С и проводили изотермическую выдержку (термообработку) в течение 1 часа.

Термообработанная смесь торфа со щелочью высыпалась в ёмкость с холодной водой. Соотношение Т:Ж принималось разным 1:26, где под «твердым» понимается сухая масса исходного торфа. Смесь доводилась до слабого кипения. Экстракция проводилась в одну ступень и продолжалась 1 час.

После экстракции полученный раствор остужался, отстаивался и фильтровался. Фильтрация гуматов осуществлялась через сито с размерами ячеек 130 мкм. Из полученных растворов были выделены сухие гуматы путем выпаривания воды из экстрактов при температуре 105 °С. Изучались как полученные в ходе экстракции растворы ГВ, так и осадки после фильтрации.

Результаты и обсуждение

При переработке торфа в гуминовые кислоты их экстракт является основным (целевым) продуктом. При этом помимо гуминовых кислот в него переходят фульвокислоты, лигнин, целлюлоза, минеральные вещества (калий, кальций, магний и др.). Эти компоненты, ввиду сложности молекулы ГВ, могут входить в ее состав или содержаться в нерастворимой части исходного сырья как самостоятельные вещества. Характеристики полученных экстрактов приведены в таблице 2. Объем экстракта приблизительно одинаков для всех изученных вариантов, что говорит о сопоставимом объеме выпаривания части раствора при экстракции и возможности корректного сравнения между собой концентрации ГК в полученных растворах. Таким образом, концентрация гуминовых кислот, а именно этот компонент гуминовых веществ определяется в ходе анализа, возрастает от первого варианта ко второму, и далее убывает с дальнейшим увеличением щелочи, то есть происходит разрушение молекул гуминовой кислоты. Выход гуминовых кислот в экстракт в вариантах 2 и 3 превышает выход свободных гуминовых кислот.

Таблица 2 - Характеристика экстракта гуминовых веществ из торфа

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.46.2>

Вариант	1	2	3	4	5	6
Объем экстракта, мл	1 385	1 390	1 440	1 400	1 450	1 435
Объем экстракта в % от добавляемой воды для экстракции	53,3	53,5	55,4	53,8	55,8	53,2
рН экстракта	8,5	7,8	11,2	12,8	13,2	12,3
Концентрация гуминовых кислот, г/л	9,4	17,2	15,5	13,9	11,6	7,0
Выход гуминовых кислот (по экстракту), % от сухой беззольной массы торфа	16,4	30,1	28,1	24,5	21,1	12,7
Масса сухих гуматов в 1 л экстракта, г	23,93	38,03	61,75	87,35	89,4	115,9
Выход гуминовых кислот в	39,3	39,8	25,2	18,9	16,8	8,9

Вариант	1	2	3	4	5	6
сухом веществе гуматов, %						
Выход сухих гуматов, % от сухой беззольной массы торфа	29,82	43,25	61,55	73,36	68,61	78,77
Влажность сухих гуматов, %	2,4	11,95	5,6	9,6	7,1	6,6
Зольность сухих гуматов, %	26,1	34,35	45,97	50,9	62,3	69,3
Выход летучих веществ на сухую беззольную массу, %	76,7	77,9	82,0	89,6	95,4	87,1

Осадок, образующийся в процессе экстракции, полученный после фильтрации экстракта гуминовых веществ, также содержит все вышеописанные компоненты. Поэтому в технологиях извлечения ГВ из торфа экстракцию проводят в несколько ступеней для более полного извлечения полезных компонентов, которые не были растворены в экстрагенте. Также известны схемы применения осадка как самостоятельного продукта, так как он является важным компонентом в агрономии и экологии для улучшения качества почвы и повышения её плодородия. Характеристики полученного в экспериментах осадка приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Характеристика осадка после фильтрации экстракта

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.46.3>

Вариант	1	2	3	4	5	6
Масса сухого остатка, г	65,04	50,11	33,05	26,85	30,53	13,2
Сухой остаток, в % от массы смеси торфа и щелочи после термообработки	58,5	41,0	22,9	18,3	14,2	6,2
Сухой остаток, в % от зольной части исходного сырья	315,7	243,3	160,4	148,2	130,3	64,1
Влажность после нахождения в комнатных условиях,	4,8	15,7	22,9	25,4	25,8	27,7

Вариант	1	2	3	4	5	6
%						
Зольность сухой массы, %	31,3	39,6	47,1	52,3	54,2	70,6
Выход летучих веществ на сухую беззольную массу, %	70,9	73,9	72,55	83,0	87,9	45,4
Содержание гуминовых кислот, %	12,3	23,2	15,1	13,8	12,8	10,4
Органического вещества (кроме ГК), %	56,4	37,3	37,8	37,9	33,0	19,0

В ходе экспериментов было отмечено, что сухие остатки при пробоподготовке различались по своей размолюемости – образец с меньшим количеством щелочи был более твердый и труднее поддавался размолу до крупности пробы менее 0,2 мм. При этом зольность в сухих остатках экстракции имеет восходящий тренд, который можно связать с увеличением калия. Масса сухого остатка с увеличением количества щелочи при обработке торфа снижается в 5 раз в своем натуральном выражении и почти в 10 раз, относительно массы смеси, поступившей на экстракцию. Соответственно увеличение щелочи приводит к увеличению перехода торфяного вещества в раствор.

Влажность осадка после нахождения в комнатных условиях также возрастает с увеличением количества щелочи по вариантам – щелочь притягивает к себе пары воды и образует с влагой густой раствор, соответственно, можно сделать вывод, что не вся щелочь переходит в экстракт в виде гидроксильных групп.

Содержание гуминовых кислот в сухом остатке (табл. 3) в сравнении с выходом ГК по экстракту (табл. 2) хорошо коррелируют между собой (рис. 1). Таким образом, увеличение количества щелочи при обработке исходного сырья не ведет к увеличению выхода гуминовых кислот, максимальный выход гуминовых кислот для данного сырья получен в смеси по варианту 2 – экстракция после термообработки с добавлением щелочи к торфу в количестве 5 моль на кг сухого беззольного сырья.

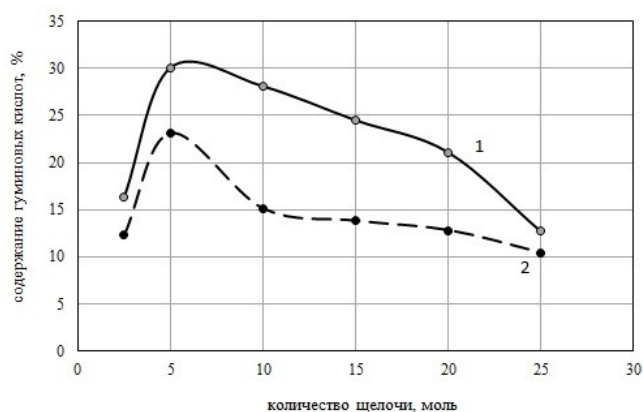


Рисунок 1 - Содержание гуминовых кислот в экстракте (1) и в осадке фильтрации (2) в зависимости от количества щелочи

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.46.4>

Количество сухих гуматов (в % от массы перед экстракцией), полученных после высушивания экстрактов (кривая (1)) повышается с увеличением количества щелочи в пробах. Количество гуминовых кислот в этих же сухих гуматах (кривая (2)) снижается при тех же условиях. То есть с увеличением количества сухих гуматов содержание в них чистых гуминовых кислот снижается, но в массовом выражении остается сопоставимым и соответствует концентрации ГК в экстракте, определенной весовым способом (кривая (3) на рисунке 2). Зольность сухих гуматов из экстракта и зольность сухого осадка фильтрации в зависимости от количества щелочи увеличивается и имеют схожую динамику роста (рисунок 3).

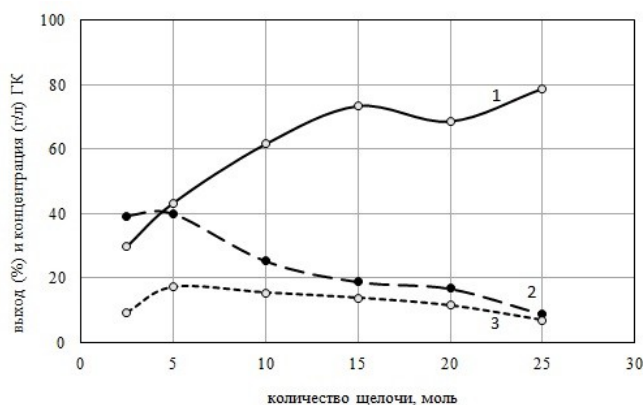


Рисунок 2 - Количество сухих гуматов (1), количество гуминовых кислот в сухих гуматах (2) и концентрация гуминовых кислот в экстракте (3) в зависимости от количества щелочи
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.46.5>

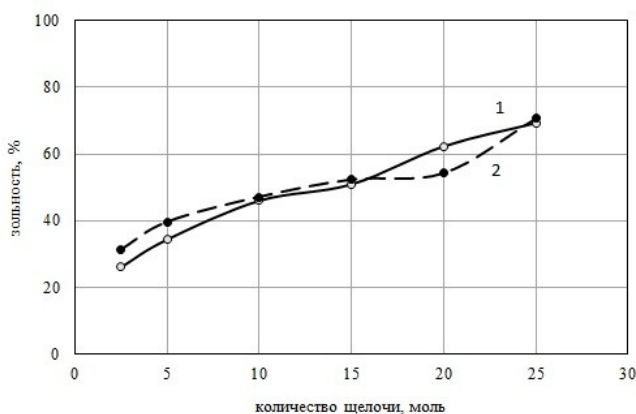


Рисунок 3 - Зависимость зольности сухих гуматов из экстракта (1) и зольности сухого осадка фильтрации (2) от количества щелочи
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.46.6>

Полученные экстракты гуминовых кислот имеют и различные спектрофотометрические свойства. Щелочные растворы гуминовых кислот подчиняются закону Бугера-Ламберта-Бера, в соответствии с которым при прохождении света через вещество его интенсивность уменьшается в результате поглощения энергии световой волны атомами или молекулами вещества. Степень поглощения света зависит от толщины слоя вещества, длины волны света и вида поглощающего вещества. Следовательно, при одинаковой толщине слоя и длине волны интенсивность поглощения света зависит только от концентрации раствора, поглощение образца с концентрацией имеет линейную зависимость.

Это свойство применяют для построения калибровочных графиков с помощью которых определяют концентрацию растворов. На рис. 4 приведены калибровочные графики при длине волны 440 нм для растворов ГК, полученных в ходе экспериментов. Полученные данные показывают снижение оптической плотности растворов одинаковой концентрации с увеличением количества щелочи (кроме варианта с количеством щелочи 25 моль), что говорит о снижении цветности растворов с увеличением щелочи и доказывает необходимость построения калибровочных кривых для растворов ГК, полученных из одного сырья, но в разных условиях.

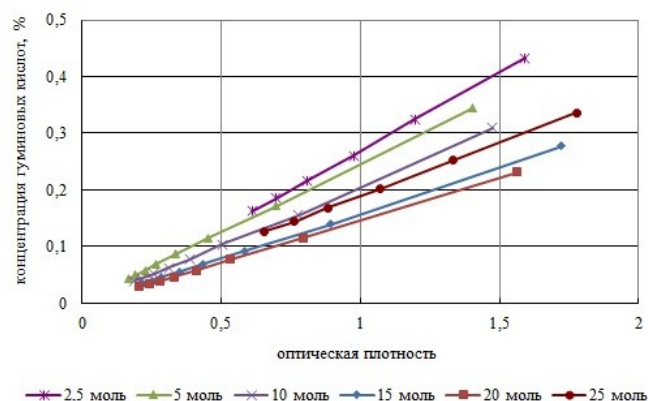


Рисунок 4 - Зависимость концентрации от оптической плотности для экстрактов, полученных с различным количеством щелочи при длине волны 440 нм
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.46.7>

Заключение

Изучены экстракты гуминовых кислот, полученные из торфа при различной щелочности. В результате проведенных экспериментальных исследований показано, что результаты экстрагирования торфа, как качественные, так и количественные, зависят от многих факторов. В частности, показано, что увеличение концентрации КОН не приводит к сопоставимому увеличению концентрации ГК в экстракте или к увеличению их выхода в сухой продукт. Согласно результатам, в отфильтрованные экстракты переходило от 12,7 до 30,1% ГК от сухой беззольной массы торфа, а в осадок от 10,4 до 23,2%. При этом вариант, в котором извлечено большее количество ГК проводился при добавлении 5 моль КОН на 1 кг сухой беззольной массы торфа. Варианты с добавлением большего количества щелочи показали низкий результат по этим показателям. В то же время с увеличением количества прибавляемой щелочи масса нефилтρουемого осадка заметно снижается, соответственно идет переход в экстракт большего количества органической массы торфа. Это, в совокупности со снижением концентрации гуминовых кислот, говорит о том, что происходит не только выделение гуминовых веществ из торфа, но и активное разрушение их молекул, что влияет на оптические характеристики растворов. Спектрофотометрическое исследование показало снижение оптической плотности с увеличением количества щелочи при экстрагировании ГВ из торфа при одной и той же концентрации ГК в растворе.

Полученные результаты служат основой для дальнейших исследований, в частности, по проверке биологической активности полученных экстрактов. Расширение области применения гуминовых веществ требует изучения разнообразия методов экстракции, так как это ведет к получению конечного продукта с различными характеристиками. Исследование свойств и возможностей использования гуминовых веществ в целом и гуминовых кислот, как одного из основных компонентов, продолжает оставаться актуальной задачей для науки и промышленности.

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

- Бамбалов Н.Н. Фракционно-групповой состав органического вещества целинных и мелиорированных торфяных почв / Н.Н. Бамбалов // Химия твердого топлива. — 2012. — № 5. — С. 6–12.
- Наумова Л.Б. Обменные катионы и их влияние на гидрофильность торфа / Л.Б. Наумова, Н.П. Горленко, А.И. Казарин // Химия растительного сырья. — 2003. — № 3. — С. 51–56.
- Перминова И.В. Гуминовые вещества в контексте зеленой химии / И.В. Перминова, Д.М. Жилин // Зеленая химия в России : сборник статей. — Москва : МГУ, 2004. — С. 146–162.
- Лиштван И.И. Физика и химия торфа / И.И. Лиштван, Е.Т. Базин, Н.И. Гамаюнов [и др.]. — Москва : Недра, 1989. — 304 с.
- de Melo V.A. Humic acids: structural properties and multiple functionalities for novel technological developments / V.A. de Melo, F.L. Motta, M.H. Santana // Mater Sci Eng C Mater Biol Appl. — 2016. — Vol. 62. — P. 967–972.
- Москаленко Т.В. Сырьевая база Республики Саха (Якутия) для получения гуминовых препаратов / Т.В. Москаленко, В.А. Михеев, О.С. Данилов // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2010. — № 3(43). — С. 42–45.

7. Бамбалов Н.Н. Выделение компонентов при групповом анализе органического вещества торфа (обзор) / Н.Н. Бамбалов // Химия твердого топлива. — 2012. — № 5. — С. 6–12.
8. Сивакова Л.Г. Физико-химические свойства гуминовых веществ торфа и бурого угля / Л.Г. Сивакова, Н.П. Лесникова, Н.М. Ким // Химия твердого топлива. — 2011. — № 1. — С. 3–8.
9. Бамбалов Н.Н. Получение и свойства коллоидного раствора гуминовых веществ торфа / Н.Н. Бамбалов, В.В. Смирнова, М.С. Милевич // Природопользование. — 2014. — Вып. 25. — С. 172–178.
10. Tarhan I. Chemical and spectroscopic characterization of humic acid isolated from Ilgin Lignite, Turkey / I. Tarhan, H.F. Ayyildiz, F. Arslan [et al.] // International Journal of Scientific and Technological Research. — 2015. — Vol. 1. — № 1. — P. 176–183.
11. Singh S. Humic Acids: Overview and prospective with especial emphasis on lignite derived / S. Singh, A. Dubey, S. Kumar [et al.] // International Journal of Statistics and Applied Mathematics. — 2023. — № 8(4). — P. 249–256.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bambalov N.N. Frakcionno-grupповой состав органического veshhestva celinnyh i meliorirovannyh torfjanyh pochv [Fractional-group composition of organic matter of virgin and reclaimed peat soils] / N.N. Bambalov // Himija tverdogo topliva [Chemistry of Solid Fuels]. — 2012. — № 5. — P. 6–12. [in Russian]
2. Naumova L.B. Obmennye kationy i ih vlijanie na gidrofil'nost' torfa [Exchangeable cations and their effect on peat hydrophilicity] / L.B. Naumova, N.P. Gorlenko, A.I. Kazarin // Himija rastitel'nogo syr'ja [Chemistry of Plant Raw Materials]. — 2003. — № 3. — P. 51–56. [in Russian]
3. Perminova I.V. Guminovyе veshhestva v kontekste zelenoj himii [Humic substances in the context of green chemistry] / I.V. Perminova, D.M. Zhilin // Zelenaja himija v Rossii [Green Chemistry in Russia] : collection of articles. — Moscow : Moscow State University, 2004. — P. 146–162. [in Russian]
4. Lishtvan I.I. Fizika i himija torfa [Physics and Chemistry of Peat] / I.I. Lishtvan, E.T. Bazin, N.I. Gamayunov [et al.]. — Moscow : Nedra, 1989. — 304 p. [in Russian]
5. de Melo B.A. Humic acids: structural properties and multiple functionalities for novel technological developments / B.A. de Melo, F.L. Motta, M.H. Santana // Mater Sci Eng C Mater Biol Appl. — 2016. — Vol. 62. — P. 967–972.
6. Moskalenko T.V. Syr'evaja baza Respubliki Saha (Jakutija) dlja poluchenija guminovyh preparatov [Resource base of the Republic of Sakha (Yakutia) for the production of humic preparations] / T.V. Moskalenko, V.A. Mikheev, O.S. Danilov // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta [Bulletin of the Irkutsk State Technical University]. — 2010. — № 3(43). — P. 42–45. [in Russian]
7. Bambalov N.N. Vydelenie komponentov pri grupповом анализе органического veshhestva torfa (obzor) [Component separation in the group analysis of peat organic matter (review)] / N.N. Bambalov // Himija tverdogo topliva [Chemistry of Solid Fuels]. — 2012. — № 5. — P. 6–12. [in Russian]
8. Sivakova L.G. Fiziko-himicheskie svoystva guminovyh veshhestv torfa i burogo uglja [Physicochemical properties of humic substances from peat and lignite] / L.G. Sivakova, N.P. Lesnikova, N.M. Kim // Himija tverdogo topliva [Chemistry of Solid Fuels]. — 2011. — № 1. — P. 3–8. [in Russian]
9. Bambalov N.N. Poluchenie i svoystva kolloidnogo rastvora guminovyh veshhestv torfa [Production and properties of colloidal solution of humic substances from peat] / N.N. Bambalov, V.V. Smirnova, M.S. Milevich // Prirodopol'zovanie [Environmental Management]. — 2014. — Iss. 25. — P. 172–178. [in Russian]
10. Tarhan I. Chemical and spectroscopic characterization of humic acid isolated from Ilgin Lignite, Turkey / I. Tarhan, H.F. Ayyildiz, F. Arslan [et al.] // International Journal of Scientific and Technological Research. — 2015. — Vol. 1. — № 1. — P. 176–183.
11. Singh S. Humic Acids: Overview and prospective with especial emphasis on lignite derived / S. Singh, A. Dubey, S. Kumar [et al.] // International Journal of Statistics and Applied Mathematics. — 2023. — № 8(4). — P. 249–256.