

Торф и продукты его переработки

УДК 631.878:631.417

ГУМИНОВЫЕ ВЕЩЕСТВА ТОРФА. СВОЙСТВА И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ

© *О.В. Броварова*^{1*}, *Д.А. Броварова*²

¹ *Институт агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, ул. Ручейная, 27, Сыктывкар, 167023 (Россия), e-mail: olbrov@mail.ru*

² *Институт естественных наук Сыктывкарского государственного университета им. Питирима Сорокина, ул. Петрозаводская, 12, Сыктывкар, 167005 (Россия)*

Гуминовые вещества (ГВ) представляют собой специфическую группу высокомолекулярных биополимеров, которые образуются в процессе разложения растительной и животной ткани. Установлено, что гуминовые вещества обладают большим спектром биологических свойств, кроме этого, гуминовые вещества довольно быстро включаются в процессы метаболизма растений, что ускоряет развитие корневой системы, повышает устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды. Но на сегодняшний день природа данного явления изучена недостаточно. Для углубления наших представлений о биологической и ростостимулирующей активности гуминовых веществ рассмотрено влияние приготовленных растворов с различными концентрациями гуминовых веществ на прорастание семян. Показано, что растворы гуминовых веществ оказывают благоприятное воздействие на семена даже в небольших концентрациях.

Данная исследовательская работа посвящена изучению основных функциональных групп гуминовых веществ, такие как карбоксильные, фенольные, хиноидные. В работе были применены различные физико-химическими методами по определению функционального и элементного состава ГВ торфа.

Установлено, что ГВ торфа обладают стимулирующим эффектом и высокой физиологической активностью на рост и биометрических показателей растений, что в дальнейшем может определять повышение урожайности и качество сельскохозяйственных растений.

Ключевые слова: природные биополимеры, функциональные группы, гуминовые вещества, ИК-спектроскопия, элементный анализ, биологическая активность, фитотестирование.

Работа выполнена в рамках государственного задания Рег. № НИОКТР 1021051101608-8-4.4.1 FUUU-2022-0052

Введение

На сегодняшний день во всем мире повышается интерес к удобрениям гуматного типа. Гуминовые вещества представляют собой специфическую группу природных биополимеров, образующихся в торфах, углях, сапропелях в процессе разложения отмерших растительных и животных тканей. Данные биополимеры являются активными веществами, усиливают и регулируют обменные процессы, не токсичны, не обладают канцерогенными свойствами и при этом способны оказывать положительное влияние на адаптацию растений к неблагоприятным климатическим условиям. Кроме этого, природные биополимеры являются экологически безопасными, многофункциональными, снижают стрессовые воздействия окружающей среды на растения, что, безусловно, определяет высокую перспективность использования их в различных агротехнологиях.

Гуминовые вещества являются накопителем органического и неорганического вещества плодородного слоя почвы, в них сконцентрированы витамины, стерины, макроэлементы, такие как азот, фосфор, ка-

Броварова Ольга Владиславовна – кандидат химических наук, научный сотрудник, e-mail: olbrov@mail.ru

Броварова Дарья Алексеевна – студент, e-mail: russianfelix2003@gmail.com

лий, различные микроэлементы (бор, марганец, цинк, медь и др.), а также биологически активные вещества – каротиноиды [1, 2].

* Автор, с которым следует вести переписку.

Стимулирующее действие гумусовых веществ на рост и развитие растений, увеличение их устойчивости к неблагоприятным климатическим условиям, проявление ростостимулирующего действия на семена сельскохозяйственных растений изучается достаточно давно [3–6]. В научной литературе достаточно широко описывается положительное влияние гуминовых веществ (ГВ) на процессы развития как семян, так и на сами растения в период вегетации, укоренения черенков, корнеобразования. При этом во многих случаях снижают воздействие неблагоприятных факторов среды, в результате повышается урожайность и качество сельскохозяйственной продукции.

Удобрения на основе гуминовых веществ являются природными, экологически чистыми и перспективными препаратами, особенно на почвах, в которых высокие концентрации минеральных компонентов находятся в труднодоступных формах для растений.

При изучении механизма биологической активности ГВ выдвигаются различные гипотезы. Этот вопрос особенно тщательно изучается в отношении биологической активности и действия ГВ на метаболизм растений. Предполагается, что ГВ способны воздействовать на проницаемость клеточных мембран, увеличивать доступность в почвах элементов питания за счет их способности к образованию комплексов и повышению подвижности, на дыхательный метаболизм и фотосинтез, передачу растениям органических и минеральных элементов и т.д. Кроме этого обсуждаются вопросы о возможности применения ГВ в качестве матрицы микроэлементов для улучшения поглощения растениями удобрений и улучшения структуры почвы [6, 7].

Гуминовые вещества повышают биологическую активность всех клеток, в результате усиливается обмен веществ, фотосинтез, дыхание растений, интенсивно развивается корневая система растения, а также увеличивается биомасса растения [8–10].

Структурные особенности позволяют гуминовым веществам участвовать в разнообразных биохимических реакциях, образовывать комплексные соединения, влиять на фотохимические процессы и т.д. Кроме того, могут служить источником структурных фрагментов органических макромолекул при биосинтезе, происходящем в живых организмах [11]. Такие уникальные свойства гуминовых веществ могут определять их разнообразную биологическую активность. К сожалению, задачу осложняет то, чтобы выделить и определить в структуре макромолекулы гуминового вещества участок или функциональные группы, которые определяют определенный вид биологической активности. Помимо этого, разветвленное строение молекулы, наличие большого количества реакционноспособных функциональных групп и их пространственное расположение способствуют одновременному протеканию различных химических реакций, а значит и проявлению биологической активности [12].

При рассмотрении вопроса взаимосвязи биологической активности гуминовых веществ с их химической структурой отмечено, что присутствие в негидролизуемой части гетероциклического азота является одной из причин их высокой биологической активности [13]. Мнение некоторых авторов сводится на том, что активной частью молекулы является гидролизуемая часть с функциональными группами кислотного характера, и чем их больше, тем выше биологическая активность [14, 15]. Кроме этого, ГВ могут являться катализаторами окислительно-восстановительных реакций за счет наличия большого количества хиноидных групп, а также за счет атомов водорода фенольных гидроксильных групп [16, 17].

Гуминовые вещества – химически неоднородные соединения, содержащие в своем составе различные функциональные группы [18]. На сегодняшний день в химической структуре гуминовых веществ установлено более десятка различных типов групп, такие как карбоксильные, фенольные и спиртовые гидроксилы карбонильные, хиноидные, метоксильные, сложноэфирные, амино-, амидо- и имидогруппы, сульфо-, тиольные и дисульфидные группы [1, 19, 20]. Сложность химического строения гуминовых веществ при наличии большого количества различных функциональных групп, способность образовывать межмолекулярные и внутримолекулярные связи, дают возможность гуминовым веществам вступать в различные химические связи и проявлять биологическую активность.

Таким образом, огромный спектр действия гуминовых веществ создает некоторые сложности при изучении их природы и биологической активности. Целью данной работы является определение физико-химических характеристик, изучение биологической активности гуматов из торфа в качестве ростостимулирующих препаратов сельскохозяйственных культур.

Экспериментальная часть

Объектами исследования являлись соли гуминовых кислот, выделенные из низинного торфа, отобранного на торфяном месторождении Сыктывдинского района, г. Сыктывкара, Республики Коми.

Выделение гуминовых веществ (ГВ). Натриевую соль гуминовой кислоты получали путем обработки торфа гидроксидом натрия. Навеску образца торфа обрабатывали раствором гидроксида натрия с молярной концентрацией 0.1 моль/л в соотношении частей 5 : 1, при нагревании 75–80 °С в течение 2 ч при постоянном перемешивании и оставляли на сутки. Полученный раствор центрифугировали и отфильтровали под вакуумом. К фильтрату приливали 6 М соляную кислоту до pH=2 (кислотность раствора определяли с помощью потенциометра «Эксперт 001») и опять оставляли на сутки. Осадок (ГВ) отфильтровывали под вакуумом, отмывали и сушили. Очистку ГВ производили переосаждением.

Калиевую соль получали аналогичным способом, только в качестве экстрагирующего раствора использовали раствор гидроксида калия с молярной концентрацией 0.1 моль/л.

ИК-спектроскопия. Инфракрасные спектры снимали на ИК-Фурье-спектрометре Specord-M 80 (Германия) в области частот 4000–400 см⁻¹. Навески 2 мг запрессовывались в таблетки с содержанием 800 мг KBr [21].

Элементный анализ. Элементный состав – С, Н, N определяли с помощью анализатора Elementar EL (Германия). Метод позволяет определять содержание углерода, водорода и азота из одной навески 1.5–2 мг. Анализ заключается в разделении на три стадии: первый – окислительный пиролиз образца при 950–1100 °С, вторая – разделение продуктов пиролиза (СО₂, Н₂О и N₂), третья – детектирование. Кислород рассчитывали по разности между массой образца и суммы всех других элементов, которые входят в состав вещества: Например: O = 100% - (C + H + N + ..., %) [22].

Определение функциональных групп. Количественное определение функциональных групп определяли аналитическими методами анализа, применяемые в химии природных биополимеров.

Алифатические гидроксильные группы определяли методом описанном в книге Губена-Вейля «Методы органической химии» [23]. Навеску 100 мг гуминового вещества обрабатывали 5 мл ацилирующей смеси и 2 мл бензола. Нагревали 3 ч при T=80 °С, затем добавляли 30 мл дистиллированной воды, и вели нагрев еще 10 мин. Далее титровали гидроксидом калия с молярной концентрацией 0.2 моль/л по фенолфталеину.

Количество алифатических гидроксильных групп рассчитывали по формуле:

$$[OH_{\text{алиф}}] = \frac{(v_0 - v) \cdot f \cdot 50 \cdot 1.7}{V \cdot A} \cdot 100\%,$$

где v_0 – объем КОН, израсходованного на титрование в холостом опыте, мл; v – объем КОН, израсходованного на титрование в рабочем опыте, мл; f – поправка к титру; V – объем фильтрата, взятого для титрования, мл; A – навеска ГВ, мг.

Фенольные группы определяли методом, применяемом в химии лигнина [24]. Навеску 40–60 мг образца, обрабатывали гидроксидом натрия с молярной концентрацией 0.1 моль/л и 2 мл этанола. Затем нагревали на водяной бане в течение 3 мин. К раствору добавляли 10%-ный раствор ВаСl₂ и охлаждали. Затем полученную смесь доводили до метки Н₂О_{дис} и центрифугировали. Далее избыток кислоты титровали гидроксидом натрия с молярной концентрацией 0.1 моль/л.

Содержание фенольных групп рассчитывали по формуле:

$$[OH_{\text{фен}}] = \frac{(v - v_0) \cdot f \cdot 1.7 \cdot 1.25 \cdot 100}{A} \cdot 100\%,$$

где v – объем NaOH, израсходованного на титрование пробы, мл; v_0 – объем NaOH, израсходованного на титрование холостой пробы, мл; f – поправка к титру; 1.7 – количество OH-групп, соответствующее 1 мл 0.1 М NaOH, мг; 1.25 – коэффициент пересчета на полный объем; A – навеска ГВ, мг.

Карбоксильные группы так же определяли методикой, применяемой в химии лигнина [24]. К образцу прибавляли раствор ацетата кальция с молярной концентрацией 0.4 моль/л и нагревали на водяной бане в течение 30 мин, нагретой до 85 °С. Далее охлаждали, объем доводили до метки Н₂О_{дис}, фильтровали. Аликвоту титровали гидроксидом натрия с молярной концентрацией 0.05 моль/л в присутствии фенолфталеина.

Содержание сильноокислых гидроксильных групп рассчитывали по формуле:

$$[\text{OH}] = \frac{(v - v_0)' \cdot f' \cdot 1.25' \cdot 0.85' \cdot 100}{A} = \frac{(v - v_0)' \cdot f' \cdot 1.0625}{A} \cdot 100\%$$

где v – объем NaOH, израсходованного на титрование пробы, мл; v_0 – объем NaOH, израсходованного на титрование холостой пробы, мл; f – поправка к титру; 1.25 – коэффициент пересчета на полный объем; 0.85 – количество OH-групп, соответствующее 1 мл 0.05 М NaOH, мг; A – навеска ГВ, мг.

Затем ведем пересчет на карбоксильные группы (в %) по формуле:

$$[\text{COOH}] = \frac{[\text{OH}]' \cdot M[\text{COOH}]}{M[\text{OH}]},$$

где $[\text{OH}]$ – содержание гидроксильных групп, %; $M[\text{COOH}]$ – молярная масса карбоксильной группы, г/моль; $M[\text{OH}]$ – молярная масса гидроксильной группы, г/моль.

Хиноидные группы определяли, добавляя к навеске образца 5 мл 0.1 М раствора хлорида олова (II) в 10 М растворе гидроксида натрия и 10 мл 1 М раствор гидроксида натрия, который использовался в качестве среды. Смесь перемешивали и титровали 0.1 М раствором дихромата калия.

Биологическая активность. Биологическую активность определяли по ГОСТу 12038-84. Готовили рабочие растворы ГВ в концентрации 1%, 0.5%, 0.025%, 0.01% и обрабатывали семена овса и гороха. Контрольной группой служили семена, обработанные водой. Фитотестирование проводили на четвертый день, определяли энергию прорастания. Всхожесть семян определяли на седьмой день – для овса и на 8-й день – для гороха. Повторность опыта четырехкратная.

Обсуждение результатов

Химические свойства гуминовых веществ весьма разнообразны благодаря их многофункциональности за счет карбоксильных, фенольных и спиртовых гидроксидов, метоксильных, хиноидных, лактонных, енольных, сложноэфирных, альдегидных, кетонных групп, мостикового и гетероциклического кислорода и т.д. [25]. Кроме этого, большой спектр функциональных групп в сообществе ароматических фрагментов может обуславливать способность гуминовых веществ образовывать водородные связи, вступать в ионные и донорно-акцепторные взаимодействия.

В образцах ГВ определяли количественное содержание функциональных групп используя методы, описанные выше. В данной работе для определения карбоксильных и фенольных функциональных групп ГВ, т.е. групп общей кислотности, использовали так называемый хемосорбционный или баритовый метод, который заключается в реакции ионного обмена [26]. Для определения карбоксильных групп применяли ацетатный метод. В основе метода лежит способность ГВ обмениваться ионы водорода кислых групп на ионы металлов из растворов солей.

Из таблицы 1 видно, что гуминовые вещества торфа содержат в своем составе достаточно большое количество кислородсодержащих функциональных групп. Как известно, фенольные и карбоксильные группы имеют наибольшее значение в различных химических реакциях ГВ, а также определяют кислотные и ионообменные свойства [3].

Содержащиеся в химическом составе гуминовых веществ хиноидные фрагменты дают возможность протеканию реакций по свободнорадикальному механизму и определяют способность ГВ вступать в окислительно-восстановительные реакции. Известно, что хиноидные группы, входящие в химический состав и определяют биологическую активность ГВ [27].

ИК-спектры ГВ торфа имеют характерный для природных биополимеров вид в области 4000–500 см⁻¹.

Результаты анализа ИК-спектров выделенных образцов приведен на рисунке и проводился на основе стандартных характеристических частот спектра.

Таблица 1. Содержание функциональных групп, %

Образец	ОН _{алиф.} , %	ОН _{фен.} , %	COOH, %	S (ОН _{фен.} , ОН _{карб.}), %	Хиноидные группы, ммоль/г
ГВ-На	6.1	4.3	3.2	7.5	6.3
ГВ-К	6.0	3.8	3.5	7.3	6.1

Широкая полоса поглощения в области 3500–3400 см⁻¹ соответствует валентным колебаниям гидроксильных групп -ОН, участвующих в образовании межмолекулярных водородных связей. Полосы в области 2900 см⁻¹ (2929 и 2931 см⁻¹) относятся к валентным колебаниям метильных (-СН₃) и метиленовых (-СН₂) групп. В нашем случае можно с уверенностью говорить о преобладании данных групп в образцах, так как полученные значения практически полностью совпадают со стандартными значениями (2929 и 2931 см⁻¹). Полосы 1700–1720 см⁻¹ дают сигналы -С=О в карбоксильной группе и сложных эфирах. Для препарата ГВ характерно наличие выраженной полосы поглощения в области 1637–1419 см⁻¹. В данной области дают сигналы валентные С=С колебания бензольного кольца. Именно ароматические фрагменты играют огромную роль в построении молекулы гуминовых веществ. Также в этой области происходит наложение валентных колебаний амидной группы. Область 1250–1225 см⁻¹ характеризуется колебаниями С-О в фенольных и карбоксильных группах. Полоса 920 см⁻¹ относится к внеплоскостным деформационным колебаниям С-Н связей ароматического кольца [28, 29].

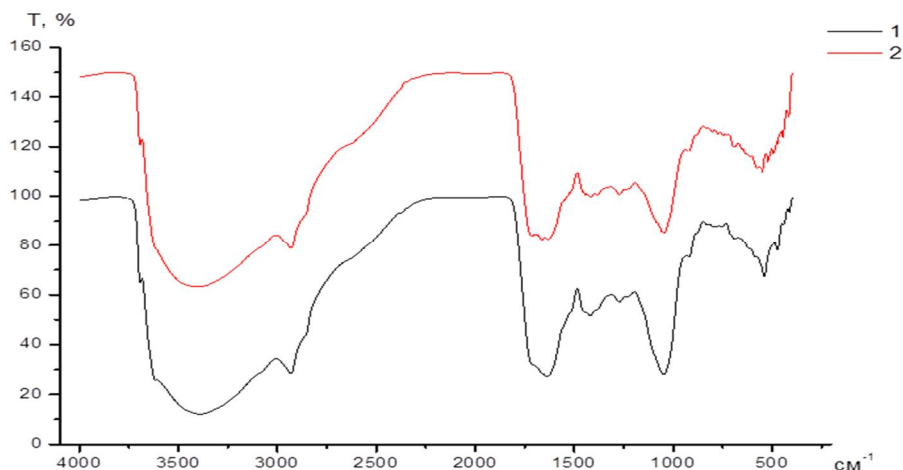
Важнейшей характеристикой данного класса природных биополимеров является элементный состав. Сведения об элементном составе дает возможность определить степень конденсированности макромолекулы ГВ. Элементный состав гуминовых веществ – это состав их органической части, которую образуют углерод, водород, кислород и азот. Кроме этого, обязательной составной частью ГВ являются микроэлементы и вода.

Элементный состав исследуемых образцов ГВ представлен в таблице 2.

По полученным данным элементного анализа были рассчитаны атомные отношения Н/С и О/С. Как можно видеть, соотношение Н/С в обоих образцах меньше единицы, что говорит о преобладании ароматических структур, о разветвленности боковых цепей и степени замещения ароматических колец. Полученное отношение О/С указывает на количество кислородсодержащих групп и является важной характеристикой для описания молекулы гуминовых веществ. Полученные атомные отношения зависят от степени окисленности выделенных образцов и будут увеличиваться при возрастании числа гидроксильных, фенольных, карбоксильных, хиноидных и других кислородсодержащих функциональных групп, которые входят в структуру молекулы ГВ.

На основании полученных данных физико-химического анализа выделенных ГВ можно оценить влияние гуминового препарата на сельскохозяйственные растения.

В качестве стандартного раствора был взят препарат «Гумат Калия» в виде порошка, производства фирмы «БиоМастер». Как показали исследования, все препараты гуминовых веществ проявили биологическую активность в отношении к семенам овса и гороха. Полученные данные представлены в таблице 3.



ИК-спектры ГВ, выделенных из торфа: 1 – ГВ-На и 2 – ГВ-К

Таблица 2. Элементный состав образцов ГВ торфа

Образец	Элементный состав атомов, % на беззольную навеску				Атомные отношения		
	С	Н	О	Н	Н/С	О/С	Н/С
ГВ-На	32.3	3.4	62.1	2.0	0.10	1.92	0.06
ГВ-К	37.0	3.8	56.5	2.3	0.08	1.52	0.06

Таблица 3. Влияние препарата ГВ на процессы прорастания семян

Концентрация	Овес				Горох			
	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Длина корней, см	Высота проростков, см	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Длина корней, см	Высота проростков, см
Гумат Калия (БиоМастер)								
Контроль	26	31	7	9	30	59	8	10
1%	14	41	3	5	31	33	5	8
0.5%	17	86	5	9	32	38	7	9
0.025%	23	91	9	13	35	73	11	15
0.01%	45	91	10	10	40	91	12	14
ГВ-Na								
1%	14	35	3	5	31	43	5	8
0.5%	13	43	5	9	32	38	7	9
0.025%	25	84	9	13	35	80	10	13
0.01%	45	91	12	10	47	81	11	12
ГВ-K								
1%	16	33	4	6	31	33	6	10
0.5%	19	43	4	8	33	37	8	12
0.025%	23	88	10	12	38	75	12	15
0.01%	46	93	10	13	39	90	12	14

По приведенным в таблице 3 данным можно сделать вывод, что применение гуминовых веществ оказало различное действие на процесс прорастания семян овса и гороха. В частности, при концентрации 0.025 и 0.01% растворы стимулировали прорастание семян на 20–40% (энергия прорастания).

Как можно видеть, небольшие концентрации растворов гуминовых веществ проявляют биологическую активность. Всхожесть при концентрациях 0.025% и 0.01% растворов составила 80–90%, что в два раза выше контрольного варианта. Показатель длины корней и высоты проростков семян примерно в 1.5 раза выше, чем в контроле. Таким образом, можно сказать, что наиболее высоким ростостимулирующим действием обладают растворы с небольшими концентрациями и кроме этого их эффект в малых дозах (0.025 и 0.01%) обусловлен собственной физиологической активностью гуминовых веществ.

Интересно отметить, что все растворы при концентрации ГВ в растворе 0.5–1%, напротив, ингибировали процесс прорастания семян овса и гороха, всхожесть в данном случае составила не более 50%. Отмечено, что особенностью гуминовых веществ является широкий спектр концентрационных воздействий на растения. В диапазоне концентраций от 0.5–1% преимущественно проявляется ингибиторный эффект [30].

Обобщая полученные результаты по влиянию гуминовых веществ на ростостимулирующую активность, можно отметить, что положительное действие наиболее выражено при минимальных концентрациях ГВ, а именно, на увеличение роста и развития семян сельскохозяйственных растений.

Выводы

1. В составе гуминовых веществ, выделенных из торфа, количественно определено содержание основных функциональных групп, таких как карбоксильные, фенольные, хиноидные, которые непосредственно определяют биологическую активность природных биополимеров. По полученным данным ИК-спектроскопии и элементного анализа проведена количественная оценка содержания функциональных групп в образцах ГВ. Показано, что гуминовые вещества торфа содержат в своем составе достаточно большое количество кислородсодержащих функциональных групп, что обуславливает биологическую активность ГВ.

2. Наиболее лучший результат по определению биологической активности и стимулирующему действию показали растворы гуминовых веществ торфа с меньшими концентрациями (0.025 и 0.01%), которые способствовали увеличению в 1.5 раза всхожести, увеличению длине корней и высоте проростков.

Список литературы

1. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Суханова Н.И. Химия почв: учебник. М., 2005. 558 с.
2. Perminova I.V., Hatfield K. Remediation chemistry of humic substances: theory and implications for technology // Use of humic substances to remediate polluted environments: from theory to practice. Springer Netherlands, 2005. Pp. 3–36. DOI: 10.1007/1-4020-3252-8_1.
3. Орлов Д.С. Свойства и функции гуминовых веществ // Гуминовые вещества в биосфере. М., 1993. С. 16–27.

4. Соромотина Т.В. Практикум по овощеводству. Пермь: Прокрость, 2016. 305 с.
5. Федотов Г.Н., Шуба С.А., Федотова М.Ф., Степанов А.Л., Стрелецкий Р.А. Почвенные дрожжи и их роль в прорастании семян // Почвоведение. 2017. №5. С. 592–602.
6. Nardi S., Pizzeghello D., Muscolo A., Vianello A. Physiological effects of humic substances on higher plants // Soil Biology and Biochemistry. 2002. Vol. 34. N11. Pp. 1527–1536. DOI: 10.1016/S0038-0717(02)00174-8.
7. Безуглова О.С. Гуминовые вещества в биосфере: учеб. пособие. Ростов-на-Дону, 2009. 120 с.
8. Балабанова Н.Ф., Воронкова Н.А., Волкова В.А., Цыганова Н.А. Эффективность применения ростостимуляторов при возделывании яровой мягкой пшеницы в южной лесостепной зоне Западной Сибири // Агро-Наука-2020. Третья международная научная онлайн-конференция. 2020. С. 16–19. DOI: 10.20913/AGRO-2020-3.
9. Воронина Л.Н., Якименко О.С., Терехова В.А. Оценка биологической активности промышленных гуминовых препаратов // Агрохимия. 2012. №6. С. 42–52.
10. Шатохин К.А. Изучение биологической активности гуматов на проростках пшеницы // Научный журнал молодых ученых. 2021. №3(24). С. 9–14.
11. Якименко О.С., Терехова В.А. Гуминовые препараты и оценка их биологической активности для целей сертификации // Почвоведение. 2011. №11. С. 1334–1343.
12. Sherry L. et al. Investigating the biological properties of carbohydrate derived fulvic acid (CHD-FA) as a potential novel therapy for the management of oral biofilm infections // BMC Oral Health. 2013. Vol. 13. P. 47.
13. Савченко И.А. и др. Новый подход к решению проблемы стандартизации гуминовых кислот // Современные проблемы науки и образования. 2013. №3. URL: www.science-education.ru/10-9305.
14. Стом Д.И. и др. Возможные механизмы биологического действия гуминовых веществ // Сибирский медицинский журнал. 2008. №6. С. 76–79.
15. Altieri F. et al. DNA damage and repair: from molecular mechanisms to health implications // Antioxid Redox Signal. 2008. Vol. 10 (5). Pp. 891–937.
16. Зыкова М.В., Логвинова Л.А., Кривошеиных С.В. и др. Антиоксидантная активность высокомолекулярных соединений гуминовой природы // Химия растительного сырья. 2018. №3. С. 239–250. DOI: 10.14258/jcprm.2018033925.
17. Volikov A.B., Mareev N.V., Konstantinov A.I et al. Directed synthesis of humic and fulvic derivatives with enhanced antioxidant properties // Agronomy. 2021. Vol. 11. P. 2047. DOI: 10.3390/agronomy11102047.
18. Nebbioso A., Piccolo A. Basis of a humeomics science: chemical fractionation and molecular characterization of humic biosuprastructures // Biomacromolecules. 2011. Vol. 12. Pp. 1187–1199. DOI: 10.1021/bm101488e.
19. Попов А.И. Гуминовые вещества: свойства, строение, образование. СПб., 2004.
20. Чимитдоржиева Г.Д., Чимитдоржиева Э.О., Цыбенков Ю.Б. Особенности химической структуры гуминовых кислот мерзлотных черноземов юга Витимского плоскогорья // Успехи современного естествознания. 2020. №10. С. 50–54. DOI: 10.17513/use.37490.
21. Смит А. Прикладная ИК-спектроскопия. Основы, техника, аналитическое применение. М., 1982. 365 с.
22. Методы количественного органического элементного микроанализа / под ред. Н.Э. Гельман. М., 1987. 252 с.
23. Губен В. Методы органической химии. Методы анализа. М., 1967. Т. 2. 329 с.
24. Закис Г.Ф. Функциональный анализ лигнинов и их производных. Рига, 1987. 230 с.
25. Орлов Д.С. Химия почв. М., 2005. 259 с.
26. Глебко Л.И., Максимов О.Б. О функциональном анализе гуминовых кислот // Новые методы исследования гуминовых кислот. Владивосток, 1972. С. 8–32.
27. Lovley D.R. Humic substances as a mediator for microbially catalyzed metal reduction // Acta Hydrochim. Hydrobiol. 1998. Vol. 26. Pp. 152–157.
28. Броварова О.В. Получение и исследование свойств сорбционных материалов на основе растительных биополимеров: дис. ... канд. хим. наук. Сыктывкар, 2006. 156 с.
29. Рогова Т.В., Сяндюкова К.В., Переломов Л.В. и др. Физико-химические характеристики и сорбционные свойства гуминовых веществ бурых углей // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. 2013. Вып. 2-1. С. 243–280.
30. Комаров А.А. Некоторые рассуждения о действии гуминовых препаратов на растения // Агрохимический вестник. 2009. №6. С. 28–29.

Поступила в редакцию 22 июля 2022 г.

После переработки 13 октября 2022 г.

Принята к публикации 8 декабря 2022 г.

Для цитирования: Броварова О.В., Броварова Д.А. Гуминовые вещества торфа. Свойства и биологическая активность // Химия растительного сырья. 2023. №2. С. 301–309. DOI: 10.14258/jcprm.20230211727.

Brovarova O.V.^{1*}, Brovarova D.A.² HUMIC SUBSTANCES OF PEAT. PROPERTIES AND BIOLOGICAL ACTIVITY

¹ Institute of Agrobiotechnologies of the Komi National Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Rucheynaya, 27, Syktyvkar, 167023 (Russia), e-mail: olbrov@mail.ru

² Institute of Natural Sciences of Syktyvkar State University named after Pitirim Sorokina, ul. Petrozavodskaya, 12, Syktyvkar, 167005 (Russia)

Humic substances (HS) are a specific group of high-molecular biopolymers that are formed during the decomposition of plant and animal tissue. It has been established that humic substances have a wide range of biological properties, in addition, humic substances are quickly included in the processes of plant metabolism, which accelerates the development of the root system, increases resistance to adverse environmental factors. But to date, the nature of this phenomenon has not been studied enough. To deepen our understanding of the biological and growth-stimulating activity of humic substances, the influence of prepared solutions with different concentrations of humic substances on seed germination is considered. It has been shown that solutions of humic substances have a beneficial effect on seeds even in small concentrations.

This research work is devoted to the study of the main functional groups of humic substances, such as carboxylic, phenolic, quinoid. Various physico-chemical methods were used in the work to determine the functional and elemental composition of peat HS.

It has been established that peat HS have a stimulating effect and high physiological activity on the growth and biometric indicators of plants, which in the future can determine the increase in yield and quality of agricultural plants.

Keywords: natural biopolymers, functional groups, humic substances, IR-spectroscopy, elemental analysis, biological activity, phytotesting.

References

1. Orlov D.S., Sadovnikova L.K., Sukhanova N.I. *Khimiya pochv: uchebnik*. [Soil chemistry: textbook]. Moscow, 2005, 558 p. (in Russ.).
2. Perminova I.V., Hatfield K. *Use of humic substances to remediate polluted environments: from theory to practice*. Springer Netherlands, 2005, pp. 3–36. DOI: 10.1007/1-4020-3252-8_1.
3. Orlov D.S. *Guminovyye veshchestva v biosfere*. [Humic substances in the biosphere]. Moscow, 1993, pp. 16–27. (in Russ.).
4. Soromotina T.V. *Praktikum po ovoshchevodstvu*. [Workshop on vegetable growing]. Perm', 2016, 305 p. (in Russ.).
5. Fedotov G.N., Shuba S.A., Fedotova M.F., Stepanov A.L., Streletskiy R.A. *Pochvovedeniye*, 2017, no. 5, pp. 592–602. (in Russ.).
6. Nardi S., Pizzeghello D., Muscolo A., Vianello A. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, vol. 34, no. 11, pp. 1527–1536. DOI: 10.1016/S0038-0717(02)00174-8.
7. Bezuglova O.S. *Guminovyye veshchestva v biosfere: ucheb. posobiye*. [Humic substances in the biosphere: textbook. allowance]. Rostov-on-Don, 2009, 120 p. (in Russ.).
8. Balabanova N.F., Voronkova N.A., Volkova V.A., Tsyganova N.A. *Agro-Nauka-2020. Tretiyaya mezhdunarodnaya nauchnaya onlayn-konferentsiya*. [Agro-Science-2020. Third international scientific online conference]. 2020, pp. 16–19. DOI: 10.20913/AGRO-2020-3. (in Russ.).
9. Voronina L.N., Yakimenko O.S., Terekhova V.A. *Agrokhimiya*, 2012, no. 6, pp. 42–52. (in Russ.).
10. Shatokhin K.A. *Nauchnyy zhurnal molodykh uchenykh*, 2021, no. 3(24), pp. 9–14. (in Russ.).
11. Yakimenko O.S., Terekhova V.A. *Pochvovedeniye*, 2011, no. 11, pp. 1334–1343. (in Russ.).
12. Sherry L. et al. *BMC Oral Health*, 2013, vol. 13, p. 47.
13. Savchenko I.A. i dr. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, 2013, no. 3. URL: www.science-education.ru/10-9305. (in Russ.).
14. Stom D.I. i dr. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal*, 2008, no. 6, pp. 76–79. (in Russ.).
15. Altieri F. et al. *Antioxid Redox Signal*, 2008, vol. 10 (5), pp. 891–937.
16. Zykova M.V., Logvinova L.A., Krivoshchenkov S.V. i dr. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2018, no. 3, pp. 239–250. DOI: 10.14258/jcprm.2018033925. (in Russ.).
17. Volikov A.B., Mareev N.V., Konstantinov A.I et al. *Agronomy*, 2021, vol. 11, p. 2047. DOI: 10.3390/agronomy11102047.
18. Nebbioso A., Piccolo A. *Biomacromolecules*, 2011, vol. 12, pp. 1187–1199. DOI: 10.1021/bm101488e.
19. Popov A.I. *Guminovyye veshchestva: svoystva, stroeniye, obrazovaniye*. [Humic substances: properties, structure, formation]. St. Petersburg, 2004. (in Russ.).
20. Chimitdorzhiev G.D., Chimitdorzhiev E.O., Tsybenov Yu.B. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya*, 2020, no. 10, pp. 50–54. DOI: 10.17513/use.37490. (in Russ.).
21. Smit A. *Prikladnaya IK-spektroskopiya. Osnovy, tekhnika, analiticheskoye primeneniye*. [Applied IR spectroscopy. Fundamentals, technique, analytical application]. Moscow, 1982, 365 p. (in Russ.).
22. *Metody kolichestvennogo organicheskogo elementnogo mikroanaliza* [Methods of quantitative organic elemental microanalysis], ed. N.E. Gel'man. Moscow, 1987, 252 p. (in Russ.).
23. Guben V. *Metody organicheskoy khimii. Metody analiza*. [Methods of organic chemistry. Analysis methods]. Moscow, 1967, vol. 2, 329 p. (in Russ.).

* Corresponding author.

24. Zakis G.F. *Funktsional'nyy analiz ligninov i ikh proizvodnykh*. [Functional analysis of lignins and their derivatives]. Riga, 1987, 230 p. (in Russ.).
25. Orlov D.S. *Khimiya pochv*. [Soil chemistry]. Moscow, 2005, 259 p. (in Russ.).
26. Glebko L.I., Maksimov O.B. *Novyye metody issledovaniya guminovykh kislot*. [New methods for the study of humic acids]. Vladivostok, 1972, pp. 8–32. (in Russ.).
27. Lovley D.R. *Acta Hydrochim. Hydrobiol.*, 1998, vol. 26, pp. 152–157.
28. Brovarova O.V. *Polucheniye i issledovaniye svoystv sorbtionnykh materialov na osnove rastitel'nykh biopo-limerov: dis. ... kand. khim. nauk*. [Obtaining and studying the properties of sorption materials based on plant biopolymers: dis. ... cand. chem. Sciences]. Syktyvkar, 2006, 156 p. (in Russ.).
29. Rogova T.V., Syundyukova K.V., Perelomov L.V. i dr. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Yestestvennyye nauki*, 2013, no. 2-1, pp. 243–280. (in Russ.).
30. Komarov A.A. *Agrokhimicheskiy vestnik*, 2009, no. 6, pp. 28–29. (in Russ.).

Received July 22, 2022

Revised October 13, 2022

Accepted December 8, 2022

For citing: Brovarova O.V., Brovarova D.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2023, no. 2, pp. 301–309. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20230211727.

