

Торф и продукты его переработки

УДК 662.73: 631.895

ВЛИЯНИЕ БОТАНИЧЕСКОГО СОСТАВА И СТЕПЕНИ РАЗЛОЖЕНИЯ ТОРФА НА СОСТАВ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕХАНОХИМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

© Д.В. Дудкин*, Е.А. Заров, А.С. Змановская

Югорский государственный университет, ул. Чехова, 16, Ханты-Мансийск,
628012 (Россия), e-mail: dvdudkin@rambler.ru

Предметом исследования являлись образцы торфа, наиболее типичные для зоны средней тайги Западно-Сибирской равнины. Цель исследования – выявление взаимосвязи между ботаническим составом торфа, степенью его разложения и химическим составом получаемых гуминовых кислот. Изучено влияние ботанического состава и степени разложения торфа на элементный состав и практический выход гуминовых кислот. Показано, что механохимический способ получения гуминовых кислот может быть применен ко всем видам торфов Западной Сибири, независимо от их ботанического состава и степени разложения. Выход гуминовых кислот из торфа напрямую соотносится со степенью разложения торфа. Использование кавитации торфа для получения гуминовых кислот нивелирует различия в элементном составе гуминовых кислот, полученных из разных ботанических видов торфяного сырья с различной степенью разложения. Для промышленного получения гуминовых кислот предложенный механохимический способ позволяет использовать торф, добытый любым способом, включая экскаваторный.

Ключевые слова: торф, гуминовые кислоты, ботанический состав, степень разложения.

Введение

Химическая переработка торфа, направленная на получение гуминовых препаратов, широко применяющихся в сельском хозяйстве [1], является одним из наиболее перспективных направлений использования данного вида сырья. Реализуемые на практике технологии получения гуминовых кислот (ГК) базируются на использовании в качестве сырья низинных типов торфов с высокой степенью разложения и низкой зольностью [2]. В то же время самым распространенным на территории России является верховой тип торфа моховой группы с низкой степенью разложения [3]. Наиболее ярко эта особенность прослеживается на территории Западно-Сибирской равнины, где сосредоточены основные его запасы [3].

В этой связи становятся актуальными работы, направленные на поиск возможности использования торфяных месторождений верхового и переходного типов в качестве сырья для получения гуминовых кислот. Новым подходом в решении этого вопроса может стать принцип искусственной трансформации компонентов клеточной стенки растений в вещества гуминовой природы. Наиболее эффективным с точки зрения рационального использования сырья является метод искусственной гумификации, основанный на механохимическом воздействии [4, 5]. Такой метод позволяет, применяя в качестве сырья верховые типы торфов, получать гуминовые кислоты с высоким количественным выходом и минимальными энергетическими затратами [6], подлинная гуминовая природа которых подтверждена в работах [7–9].

В рамках разработанного метода оставалось неизученным влияние ботанического состава торфа и степени его разложения на химический состав получаемых гуминовых кислот. Таким образом, целью данной работы стало выявление такой взаимосвязи.

Дудкин Денис Владимирович – кандидат химических наук, доцент, и.о. заведующего кафедрой экологии и природопользования, e-mail: dvdudkin@rambler.ru
Заров Евгений Андреевич – заведующий лабораторией экологической геоинформатики, e-mail: dvdudkin@rambler.ru
Змановская Анна Степановна – ведущий инженер отдела молодежной науки, e-mail: dvdudkin@rambler.ru

* Автор, с которым следует вести переписку.

Экспериментальная часть

Для получения гуминовых кислот были отобраны три стратиграфических колонки торфа, имеющего разные ботанический состав и степень разложения. Колонки выбраны как наиболее типичные для торфяных месторождений средней тайги Западной Сибири. Отбор проб был произведен в сентябре 2013 г. в районе полевого стационара Мухрино (Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск), который расположен в 25 км к юго-западу от Ханты-Мансийска.

Для территории ХМАО – Югры наиболее типичными видами торфа являются верховой сфагновый фускум-торф, отлагаемый сообществами рямов и гряд, сфагновый топяной и пушицево-сфагновый, характерные для мочажинных растительных сообществ, а также торфа древесной и древесно-травяной групп низинного типа, занимающие придонные слои залежи [3].

Образцы торфа были отобраны с помощью торфяного бура в типичных участках: на гряде, в мочажине (грядово-мочажинный комплекс верхового олиготрофного болота) и в ивово-кочкарно-осоковом сообществе (низинное эвтрофное болото). В лаборатории Югорского государственного университета исследован их ботанический состав по ГОСТ 28245-89. С использованием программного продукта «PeatGraph» на основе методических рекомендаций [10] построено описание стратиграфических колонок (рис. 1).

Для проведения химических исследований каждая из стратиграфических колонок торфа была разделена на вертикальные фрагменты исходя из принципа наибольшей однородности ботанического состава в рамках одного фрагмента. Таким образом, получено 11 образцов торфа, каждый из которых был высушен до воздушно-сухого состояния и доведен до постоянной массы. Характеристика исследуемых образцов представлена в таблице 1. Из каждого образца торфа количественно выделены гуминовые кислоты по двум различным методикам.

Согласно первой методике навеску торфа обрабатывали в роторном кавитационном аппарате конструкции А.Д. Петракова [11] с частотой вращения ротора 3000 об./мин раствором гидроксида калия с концентрацией 0,1 моль/л в течение 4 мин с последующим разделением смеси центрифугированием.

Из жидкой фазы подкислением 10% серной кислотой до pH = 2 осаждали ГК. Дальнейшие действия по выделению ГК проводили согласно методике Д.С. Орлова [13]. Для сопоставления практических выходов ГК из различных типов торфа также выделяли ГК по другой методике, описанной Д.С. Орловым и ставшей общепринятой в почвоведении и агрохимии [12]. Практический выход гуминовых кислот определяли гравиметрическим способом. Получение и анализ электронных спектров были выполнены в соответствии с методикой [12] на приборе фирмы «Perkin Elmer Instruments», модель «Lambda 35 UV/VIS Spectrometer». Элементный состав изучали на CHN-анализаторе фирмы «EuroVector» (модель EA 3000) путем сжигания и последующего количественного анализа продуктов сжигания на содержание углерода, водорода и азота в навеске в соответствии с методикой [13]. Калориметрическое определение выполнено по элементному составу с использованием формулы С.А. Алиева [12].

Обсуждение результатов

Ботанический состав и степень разложения исследуемых образцов торфа (рис. 1) могут быть описаны следующим образом.

В колонке «Гряда» слои 10–100 и 230–330 см образованы фускум-торфом (*Sphagnum fuscum* – 90–100%, кустарнички и пушица – 5–10%), имеют низкую степень разложения (5%) и отложены сосново-кустарничково-сфагновым сообществом. Интервал 100–230 см имеет степень разложения 15% и соответствует топяным пушицево-сфагновым сообществам в мочажине, он сформирован пушицево-сфагновым (пушица – до 75%; *Sphagnum magellanicum*, *S. balticum*, *S. papillosum* – до 25%) и сфагновым мочажинным (*S. balticum*, *S. papillosum*, *S. jenseni*, *S. majusi* – 100%) видами торфа. Придонный слой с глубины 300 см до минерального ложа имеет высокую степень разложения (35%), сложен эвтрофными древесно-травяным (древесина и кора березы, ивы, сосны – 50–65%; папоротник – *Thelypteris palustris*, хвощ – *Equisetum fluviatile*, вахта – *Menyanthes trifoliata* – 35–40%) и травяным (папоротник – 60–65%; *C. vesicaria*, *C. cespitosa*, с единичной примесью мезотрофных сфагновых мхов – до 40%) видами торфа, что соответствует первичной стадии заболачивания.

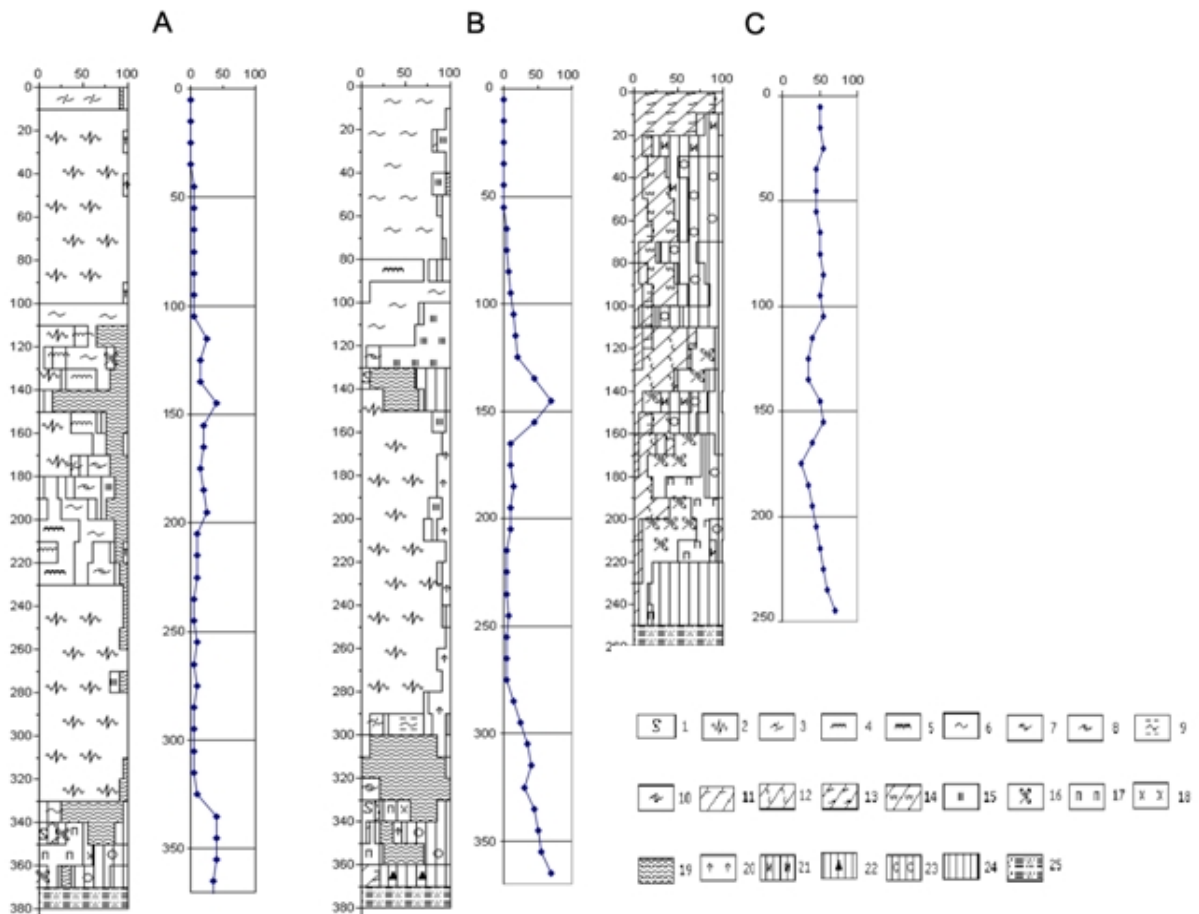


Рис. 1. Стратиграфические колонки исследуемых образцов торфа. Левый график – ботанический состав, правый график – степень разложения, %. По оси ординат – глубина, см. А – гряды; В – мочажина; С – пойма. 1. Сфагновые мхи; 2. *Sph. fuscum*; 3. *Sph. angustifolium*; 4. *Sph. magellanicum*; 5. *Sph. papillosum*; 6. *Sph. balticum*; 7. *Sph. majus*; 8. *Sph. jensenii*; 9. Сфагнум топяной олиготрофный; 10. *Sph. fallax*; 11. *C. rostrata*; 12. *C. lasiocarpa*; 13. *C. cespitosa*; 14. *C. juncella*; 15. *Scheuchzeria palustris*; 16. *Menyanthes trifoliata*; 17. *Thelypteris*; 18. *Equisetum*; 19. *Eriophorum vaginatum*; 20. Кустарнички; 21. *Salix*; 22. *Betula*; 23. *Picea*; 24. *Pinus*; 25. Минеральный грунт

В колонке «Мочажина» слой от поверхности до глубины 130 см сложен слаборазложившимся (5%) типичным сфагновым мочажинным балтикум-торфом (*Sphagnum balticum* – до 100% с примесью шейхцерии). На глубине 150–290 см в составе торфяной залежи доминирует фускум-торф (до 95%) с примесью корешков кустарничков, имеющий степень разложения 10%. Слой 300–340 см сложен переходным пушицевым торфом (пушица – до 70%). Ниже, до минерального ложа, торфяная залежь сложена травяной (пушица, хвощ – до 50%), древесно-травяной (пушица, хвощ – 45%, кора и древесина березы) и древесной (кора и древесина ели и кедра – 70%) группами со степенью разложения порядка 40%.

В колонке «Пойма» торфяная залежь от поверхности до глубины 100 см сложена осоковым (*Carex cespitosa* и *C. juncella* – до 100%) и древесно-осоковым (кора и древесина березы и ивы – 40–50%; осоки – *C. cespitosa*, *C. juncella*, *C. rostrata* – до 50%) видами торфа со степенью разложения 50%. На глубине 100–240 см степень разложения имеет значение 45%, торфяная залежь сформирована травяными (вахта, хвощ, папоротник, осока волосистоплодная – *Carex lasiocarpa* – до 75%) и древесно-травяным (кора и древесина ивы, березы, сосны – до 50%; вахта, хвощ, папоротник, *C. lasiocarpa*, *C. cespitosa*, *C. juncella* – до 50%) видами группами торфа.

В таблицах 1 и 2 представлены данные, которые иллюстрируют тесную взаимосвязь химического состава торфяного сырья с практическим выходом ГК и особенностями их строения. Так, известно, что основным «строительным материалом» для образования ГК является лигнин, составляющий основную долю негидролизующихся веществ растений-торфообразователей [14].

Таблица 1. Элементный состав полученных ГК

Образец	Глубина отбора, см	Вид торфа	Степень разложения (R), %	(ГК), %	C, %	H, %	N, %	O, %
<i>Торфяная залежь гряды</i>								
9	0,10–1,00	фускум-торф	<5	5,8	34,4	4,7	2,3	61,0
10*	0,10–1,00	фускум-торф	<5	12,6	45,7	6,1	2,4	49,5
1*	1,00–2,30	сфагновый	10	16,7	48,8	5,8	2,6	42,8
2	1,00–2,30	сфагновый	10	10,6	48,5	5,4	2,96	43,2
5	2,50–3,00	фускум-торф	10	12,3	34,4	4,7	2,3	61,0
6*	2,50–3,00	фускум-торф	10	20,8	44,6	6,5	3,2	49,0
7	3,00–3,50	пушицево-сфагновый	20	23,0	44,6	5,7	2,9	49,6
8*	3,00–3,50	пушицево-сфагновый	20	31,9	47,5	6,4	2,4	47,7
3	3,50–4,15	древесно-хвощовой	45	30,6	40,8	4,9	2,4	54,4
4*	3,50–4,15	древесно-хвощовой	45	40,2	49,5	4,9	2,3	43,2
<i>Торфяная залежь мочажины</i>								
11	0–1,30	сфагновый мочажинный	<5	3,5	35,4	4,8	2,7	57,1
12*	0–1,30	сфагновый мочажинный	<5	12,8	45,5	5,7	3,1	45,7
13	1,50–3,00	фускум-торф	10	14,9	44,7	5,3	2,8	47,2
14*	1,50–3,00	фускум-торф	10	25,2	50,7	6,1	3,6	39,6
15	2,80–3,50	пушицевый	35	12,7	52,0	4,6	2,7	40,7
17*	2,80–3,50	пушицевый	35	27,7	59,0	5,1	2,8	33,1
18	3,50–4,00	древесно-хвощовой	30	19,2	45,5	4,4	2,7	47,4
19*	3,50–4,00	древесно-хвощовой	30	32,6	50,8	4,3	2,6	42,3
<i>Торфяная залежь поймы</i>								
20	0–1,00	древесно-осоковый	50	20,2	46,3	4,5	3,0	46,2
21*	0–1,00	древесно-осоковый	50	29,0	44,1	4,4	3,1	48,4
22	1,00–2,00	древесно-осоковый	30	15,3	44,6	4,6	2,7	48,1
23*	1,00–2,00	древесно-осоковый	30	21,2	48,9	4,8	2,9	43,4

* – ГК, полученные по способу [4].

Также известно, что степень разложения описывает интенсивность микробиологического разрушения углеводной части растений-торфообразователей [15]. Известно, что степень разложения торфа и массовая доля лигнина в нем обусловлены ботаническим составом торфа [14]. Поэтому для «ботанически чистых» видов торфа состав образующихся ГК будет обусловлен в первую очередь видовой принадлежностью растения-торфообразователя. Другими словами, наибольший практический выход ГК можно получить из торфа древесной группы с высокой степенью разложения, наименьший – из торфов моховой группы. При этом структуры молекул ГК, полученных из низинных торфов древесной и древесно-травяной группы, будут иметь наиболее «зрелый» вид.

Под большей «зрелостью» ГК в данном контексте понимается увеличение доли «ядровых» частей молекул (построенных из ароматических структур) и гидролитическое разрушение «периферических» частей молекул ГК. Данные изменения могут быть косвенно оценены по изменениям элементного состава и коэффициента цветности (D_{465}/D_{650}) ГК. Так, в ряду ГК, выделенных из торфов моховой, травяной, древесно-травяной и древесной групп, прослеживается закономерное увеличение коэффициента цветности, содержания углерода, а также снижение содержания элементного кислорода.

Аналогичным образом происходит изменение элементного состава и коэффициента цветности для отдельных ботанических видов торфа при увеличении степени разложения торфа – R. При этом стоит подчеркнуть, что степень разложения напрямую связана с массовой долей негидролизуемой части молекулы, т.е. с массовой долей лигнина.

Выявленные закономерности прослеживаются независимо от используемого способа получения ГК. Тем не менее механохимическое воздействие позволяет получить существенно больший практический выход ГК для всех видов торфа. При этом увеличение выхода ГК напрямую зависит от степени разложения торфа, т.е. от массовой доли лигнина в торфе. Чем меньшую степень разложения имеет исходный торф, тем больший эффект оказывает механохимическое воздействие на практический выход ГК. Так, исследуемый механохимический способ получения ГК эффективнее традиционного в 1,7 раза для верхового торфяного месторождения и в 1,4 раза для низинного торфяного месторождения. Выход ГК при использовании этого способа увеличивается для «Гряды» в 1,5 раза, для мочажины – в 1,95 раза. Таким образом, механо-

химический метод получения ГК, в сравнении с экстракционным методом, нивелирует различия величины среднего практического выхода ГК из месторождения верхового торфа для гряды и мочажины. Так как средний практический выход ГК составил 24,5% для всей биомассы верховой торфяной залежи, то можно утверждать о применимости данного способа получения ГК для промышленного использования в переработке торфяных месторождений верхового типа. При этом в рамках механохимического метода допустимо использование торфа, добываемого экскаваторным методом на всю глубину залежи. (На территории ХМАО – Югры торф добывается исключительно экскаваторным методом в объемах порядка 25% от добычи торфа в РФ [14].)

Степень разложения торфа и химический состав получаемых ГК имеют более сложную взаимосвязь. Она обусловлена протеканием при кавитации торфа в растворе щелочи двух взаимопротивоположных процессов – окислительной деструкции и конденсации. Оба процесса генерируются свободно-радикальными состояниями, возникающими вследствие механоиницирования.

Таблица 2. Характеристика исследуемых образцов ГК

Образец	Глубина отбора, см	Вид торфа	Степень разложения (R), %	(ГК), %	D_{465}/D_{650}	Брутто формула	Негидролизующий остаток, %**	Теплота сгорания, кал/г
<i>Торфяная залежь гряды</i>								
9	0,10–1,00	фускум-торф	<5	5,8	2,31	$C_{69}H_{113}O_{91}N_4$	9,3	1177
10*	0,10–1,00	фускум-торф	<5	12,6	1,80	$C_{91}H_{146}O_{74}N_4$	9,3	2820
1*	1,00–2,30	сфагновый	10	16,7	2,82	$C_{45}H_{64}O_{28}N_2$	10,3	3250
2	1,00–2,30	сфагновый	10	10,6	2,76	$C_{38}H_{51}O_{26}N_2$	10,3	3291
5	2,50–3,00	фускум-торф	10	12,3	2,30	$C_{17}H_{28}O_{23}N$	9,3	1177
6*	2,50–3,00	фускум-торф	10	20,8	2,51	$C_{33}H_{58}O_{27}N_2$	9,3	2908
7	3,00–3,50	пушицево-сфагновый	20	23,0	2,93	$C_{74}H_{113}O_{58}N_4$	25,9	2761
8*	3,00–3,50	пушицево-сфагновый	20	31,9	2,65	$C_{79}H_{128}O_{55}N_3$	25,9	3061
3	3,50–4,15	древесно-хвощовой	45	30,6	3,01	$C_{41}H_{59}O_{36}N_2$	25,0	2077
4*	3,50–4,15	древесно-хвощовой	45	40,2	2,72	$C_{48}H_{58}O_{32}N_2$	25,0	3018
<i>Торфяная залежь мочажины</i>								
11	0–1,30	сфагновый мочажинный	<5	3,5	2,03	$C_{47}H_{77}O_{57}N_3$	10,3	1402
12*	0–1,30	сфагновый мочажинный	<5	12,8	2,07	$C_{38}H_{57}O_{28}N_2$	10,3	2932
13	1,50–3,00	фускум-торф	10	14,9	2,52	$C_{74}H_{106}O_{59}N_4$	9,3	2713
14*	1,50–3,00	фускум-торф	10	25,2	2,30	$C_{84}H_{122}O_{50}N_5$	9,3	3774
15	2,80–3,50	пушицевый	35	12,7	3,26	$C_{43}H_{46}O_{25}N_2$	25,9	3604
17*	2,80–3,50	пушицевый	35	27,7	2,86	$C_{49}H_{51}O_{20}N_2$	25,9	4608
18	3,50–4,00	древесно-хвощовой	30	19,2	2,80	$C_{41}H_{41}O_{27}N_2$	25,0	3236
19*	3,50–4,00	древесно-хвощовой	30	32,6	2,87	$C_{42}H_{43}O_{26}N_2$	25,0	3394
<i>Торфяная залежь поймы</i>								
20	0–1,00	осоково-сфагновый низинный	50	20,2	3,62	$C_{38}H_{45}O_{28}N_2$	19,4-23,0	2910
21*	0–1,00	древесно-осоковый	50	29,0	2,71	$C_{37}H_{44}O_{30}N_2$	19,4-23,0	2632
22	1,00–2,00	древесно-осоковый	30	15,3	2,54	$C_{37}H_{46}O_{30}N_2$	14,5	2623
23*	1,00–2,00	древесно-осоковый	30	21,2	2,89	$C_{41}H_{48}O_{27}N_2$	14,5	3276

* ГК, полученные по способу [4].

** содержание негидролизующего остатка в составе растения-торфообразователя [14].

Как известно, структуры, содержащие в своем составе фенольные группы, являются сильными антиоксидантами вследствие акцепторного поглощения свободно-радикальных состояний [16]. При этом фенольные фрагменты молекул подвергаются конденсационным превращениям, которые инициированы окислением фенольного аниона. Результатом подобных превращений лигнина в торфогенном слое торфяной залежи является процесс образования ГК. Аналогичные превращения имеют место в торфе, подвергнутом кавитации [7]. Молекулы ГК сохраняют устойчивость к окислительной деструкции до тех пор, пока не происходит полного окисления фенольных групп. При отсутствии фенольных групп в составе молекул ГК массовая доля гуминовых соединений в процессе механохимического воздействия начинает уменьшаться вследствие их окислительной деструкции.

Таким образом, для ГК торфов с низкой и средней степенью разложения, независимо от ботанического вида, кавитация приводит к протеканию конденсационных процессов, выражающихся в увеличении массовой доли углерода и уменьшении массовой доли кислорода в составе ГК. Для торфов с высокой степенью разложения (максимально возможной для конкретного ботанического вида торфа) наблюдается процесс окисления, характеризующийся увеличением массовой доли кислорода и уменьшением массовой доли углерода.

Подтверждением интенсивно протекающих при кавитации торфа конденсационных процессов служит характер изменений численных значений коэффициента цветности $-D_{465}/D_{650}$. Так, данная характеристика увеличивается для торфов с высокой степенью разложения и уменьшается для торфов со средней и низкой степенью разложения. Это объясняется тем, что в торфе сохраняются лигнуглеводные связи, пространственно затрудняющие образование полиядерных ароматических структур в составе молекул ГК. Подтверждением данного предположения является характер изменения коэффициента цветности: для одного вида торфа в мочажине изменяется в меньшей степени, чем в гряде. Причина этого заключается в том, что в мочажине лигнуглеводные связи подвержены более длительному гидролитическому воздействию кислых торфяных вод.

Более наглядно характер изменения химического состава молекул ГК, полученных с применением механохимического воздействия, прослеживается на диаграмме отношений $H : C - O : C$ (рис. 2). Так, если ГК, выделенные из верховых видов торфа с низкой степенью разложения, имеют элементный состав, близкий к фульвокислотам (ФК), то кавитационная обработка данных видов торфа приближает элементный состав выделяемых веществ к ГК почв. При этом имеют место процессы дегидрогенизации. Для переходных и низинных видов торфа кавитационная обработка также способствует окислению молекул ГК, делая их более гидрофильными. Таким образом, кавитация не только способствует увеличению практического выхода, но и улучшает качественные показатели получаемых ГК.

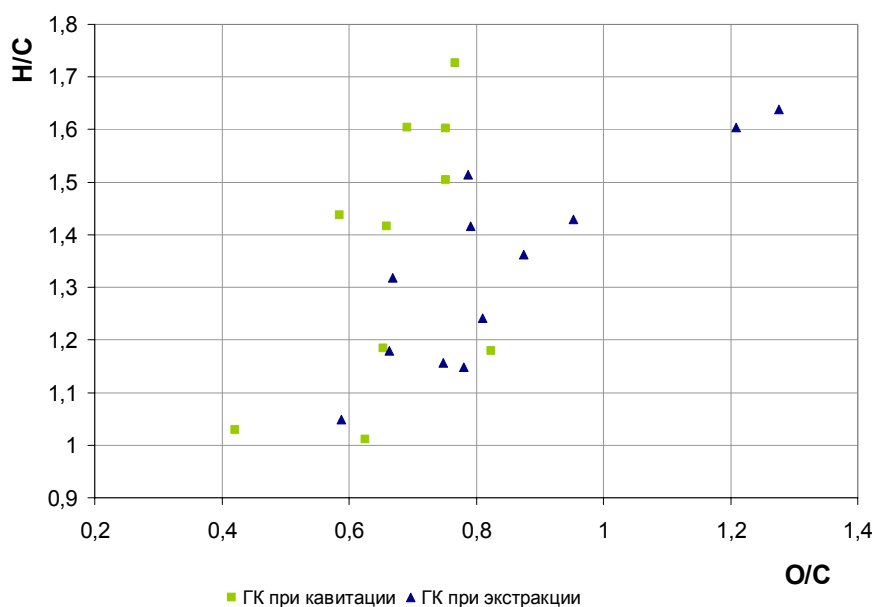


Рис. 2. Диаграмма атомных отношений $H : C - O : C$.

Расчетные величины теплоты сгорания ГК подтверждают ранее высказанное предположение о преобладании конденсационных процессов над окислительными при кавитации торфа. Исключением служит лишь древесно-хвощовый вид торфа, имеющий максимальную для ботанического вида степень разложения – 50%. В его составе практически не осталось органического вещества, способного конденсироваться, вследствие чего наблюдаются только окислительные процессы, которые способствуют повышению гидрофильности и биологической активности ГК.

Таким образом, кавитация торфа в водно-щелочных средах является уникальным способом получения ГК, позволяющим не только более рационально использовать торфяные ресурсы, но и вовлечь в хозяйственную деятельность основные для территории России верховые типы торфяных месторождений с низкой степенью разложения.

Выводы

1. Механохимический способ получения гуминовых кислот является универсальным для всех видов торфов Западной Сибири, независимо от ботанического состава и степени их разложения.
2. Практический выход гуминовых кислот при механохимическом способе получения пропорционален степени разложения торфа.
3. Использование кавитационной обработки торфа для получения гуминовых кислот нивелирует различия в элементном составе гуминовых кислот, полученных из разных ботанических видов торфяного сырья с различной степенью разложения.
4. Для промышленного получения гуминовых кислот предлагаемый механохимический способ позволяет использовать торф, добытый любым способом, включая экскаваторный.

Список литературы

1. Томсон А.Э., Наумова Г.В. Окислительно-гидролитическая деструкция торфа – эффективный метод его химической переработки // Природопользование. 2012. Вып. 22. С. 83–91.
2. Маслов С.Г., Инишева Л.И. Торф – как растительное сырье и направления его химической переработки // Химия растительного сырья. 1998. №4. С. 5–7.
3. Тюремнов С.Н. Торфяные месторождения. 3-е изд., перераб., доп. М., 1976. 488 с.
4. Патент №2429214 (РФ). Способ получения гуминовых кислот и гуматов из торфа / Д.В. Дудкин, А.С. Толстяк, Г.Ф. Фахретдинова. 2011.
5. Патент №2442763 (РФ). Способ гумификации растительных материалов / Д.В. Дудкин, Д.А. Евстратова. 2012.
6. Толстяк А.С., Дудкин Д.В., Фахретдинова Г.Ф. Механохимическая гумификация торфа // Вестник Югорского государственного университета. 2012. №3 (26). С. 50–56.
7. Дудкин Д.В., Змановская А.С. Образование гуминовых кислот при кавитационном воздействии на торф в водно-щелочных средах // Химия в интересах устойчивого развития. 2014. Т. 22, №2. С. 121–123.
8. Дудкин Д.В., Федяева И.М., Змановская А.С. ЯМР-спектроскопия гуминовых кислот, полученных при механохимической обработке растительного сырья в водно-щелочных средах // Химия в интересах устойчивого развития. 2015. Т. 23, №1. С. 33–37.
9. Дудкин Д.В., Федяева И.М., Змановская А.С. Особенности молекулярного строения гуминовых кислот, полученных в условиях санации растительного сырья в водно-щелочных средах // Химия растительного сырья. 2015. №1. С. 147–154.
10. Дюкарев Е.А. Программа для построения диаграмм распределения растительных остатков и типов торфа по глубине // Материалы пятого Сибирского совещания по климато-экологическому мониторингу. Томск, 2003. С. 171.
11. Патент №2159901 (РФ). Роторный насос-теплогенератор / А.Д. Петраков, С.Т. Санников, О.П. Яковлев. 2000.
12. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса. М., 1981. 267 с.
13. Баженова Л.Н. Количественный элементный анализ органических соединений : курс лекций. Екатеринбург, 2008. 356 с.
14. Раковский В.Е., Пигулевская Л.В. Химия и генезис торфа. М., 1978. 231 с.
15. Суворов В.И. Актуальные вопросы использования торфа и болот. Тверь, 2012. 152 с.
16. Рогинский В.А. Фенольные антиоксиданты. Реакционная способность и эффективность. М., 1988. 247 с.

Поступило в редакцию 29 декабря 2015 г.

После переработки 27 марта 2016 г.

Dudkin D.V.*, Zarov E.A., Zmanovskaya A.S. THE INFLUENCE OF BOTANICAL SPECIES AND THE DEGREE OF PEAT DECOMPOSITION ON THE STRUCTURE OF HUMIC ACIDS, OBTAINED BY THE MECHANOCHEMICAL METHOD

Ugra State University, ul. Chekhova, 16, Khanty-Mansiysk, 628012 (Russia), e-mail: dvdudkin@rambler.ru

The subject of the study was the samples of peat are most typical for the middle taiga zone of the West Siberian plain. The purpose of the study is to identify the relationship between the botanical species of the peat, degree of decomposition and chemical composition of the resulting humic acids. The influence of botanical species and decomposition degree of peat on the elemental composition and the practical yield of humic acids were studied. It is shown that the mechanochemical method of obtaining of humic acids can be applied to all kinds of peats of Western Siberia, regardless of botanical species and degree of decomposition. The yield of humic acids from peat directly correlated with the degree of peat decomposition. The use of cavitation of peat for preparation of humic acids eliminates differences in the elemental composition of humic acids obtained from various species of peat raw materials with different degree of decomposition. For the industrial production of humic acids proposed mechanochemical method allows the use of peat, produced by any method, including excavation.

Keywords: peat, humic acid, botanical species, degree of decomposition.

References

1. Tomson A.E., Naumova G.V. *Prirodopol'zovanie*. 2012, no. 22, pp. 83–91. (in Russ.).
2. Maslov S.G., Inisheva L.I. *Khimiia rastitel'nogo syr'ia*, 1998, no. 4, pp. 5–7. (in Russ.).
3. Tiuremnov S.N. *Torfanye mestorozhdeniia*. [Peat deposits]. Moscow, 1976, 488 p. (in Russ.).
4. Patent 2429214 (RU). 2011. (in Russ.).
5. Patent 2442763 (RU). 2012. (in Russ.).
6. Tolstiaik A.S., Dudkin D.V., Fakhretdinova G.F. *Vestnik Iugorskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2012, no. 3 (26), pp. 50–56. (in Russ.).
7. Dudkin D.V., Zmanovskaia A.S. *Khimiia v interesakh ustoichivogo razvitiia*, 2014, vol. 22, no. 2, pp. 121–123. (in Russ.).
8. Dudkin D.V., Fediaeva I.M., Zmanovskaia A.S. *Khimiia v interesakh ustoichivogo razvitiia*, 2015, vol. 23, no. 1, pp. 33–37. (in Russ.).
9. Dudkin D.V., Fediaeva I.M., Zmanovskaia A.S. *Khimiia rastitel'nogo syr'ia*, 2015, no. 1, pp. 147–154. (in Russ.).
10. Diukarev E.A. *Materialy piatogo Sibirskogo soveshchaniia po klimato-ekologicheskomu monitoringu*. [Proceedings of the fifth meeting of the Siberian climate and environmental monitoring]. Tomsk, 2003, p. 171. (in Russ.).
11. Patent 2159901 (RU). 2000. (in Russ.).
12. Orlov D.S., Grishina L.A. *Praktikum po khimii gumusa*. [Workshop on humus chemistry]. Moscow, 1981, 267 p. (in Russ.).
13. Bazhenova L.N. *Kolichestvennyi elementnyi analiz organicheskikh soedinenii. Kurs lektsii*. [Quantitative elemental analysis of the organic compounds. Lecture course]. Ekaterinburg, 2008, 356 p. (in Russ.).
14. Rakovskii V.E., Pigulevskaia L.V. *Khimiia i genezis torfa*. [Chemistry and genesis of peat]. Moscow, 1978, 231 p. (in Russ.).
15. Suvorov V.I. *Aktual'nye voprosy ispol'zovaniia torfa i bolot*. [Topical issues of the use of peat and bogs]. Tver', 2012, 152 p. (in Russ.).
16. Roginskii V.A. *Fenol'nye antioksidanty. Reaktsionnaia sposobnost' i effektivnost'*. [Phenolic antioxidants. Reactivity and efficiency]. Moscow, 1988, 247 p. (in Russ.).

Received December 29, 2015

Revised March 27, 2016

* Corresponding author.