

УДК 631.878+662.73.

А. А. Иванов, Н. В. Юдина

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ В ИСТИРАЮЩИХ И РЕЖУЩИХ МЕЛЬНИЦАХ НА СОСТАВ И СВОЙСТВА ТОРФОВ

Исследовано влияние механического диспергирования в истирающих и режущих мельницах на состав торфов, их физико-химические и структурно-механические свойства. Показано, что низинный торф обладает большим запасом элементов минерального питания, чем верховой. Диспергирование торфов увеличивает их насыпную плотность и приводит к незначительному увеличению влагоемкости. Кроме того, исследовано изменение размеров частиц торфов, их группового состава и реологических свойств.

Ключевые слова: торф, диспергирование, мельницы, состав, свойства.

Торф – уникальный органический материал, образующийся в результате биохимического превращения растительных остатков в переувлажненных условиях при ограниченном доступе кислорода [1]. Основу торфа – сложной многокомпонентной полидисперсной системы – составляют растительные остатки (лиственных и хвойных деревьев, кустарников, трав, мхов) высокополимеров целлюлозной природы и продукты их распада, находящиеся в равновесии с водным раствором низко- и высокомолекулярных веществ. В естественном состоянии торф представляет собой совокупность частиц различных размеров, распределенных в водном растворе и образующих микро- и макроструктуры.

Наличие в торфе значительного количества гуминовых веществ, обладающих ценными агрохимическими свойствами и физиологической активностью, определяют его применение в сельском хозяйстве. Как показывает отечественный и зарубежный опыт, торф незаменим при производстве различных видов органических удобрений и грунтов [2]. Его используют для изменения структуры почвы, увеличения ее пористости, влаго- и воздухопроницаемости, уменьшения плотности грунта. Для этого требуется оптимизация их физических свойств и химического состава. В песчаных почвах торф, вносимый из расчета 200–400 т/га, понижает водоупорные свойства и вододерживающую способность, благодаря чему возрастает продуктивная влага.

Для получения продукции из торфа необходимо предварительно подготовить его соответствующим образом: высушить, механически измельчить. В процессе переработки торфа благодаря увеличению удельной поверхности диспергируемого материала улучшаются свойства продукции.

Целью данной работы являлось исследование влияния механического диспергирования в истирающей и режущей мельницах на состав торфов, их физико-химические и структурно-механические свойства.

Экспериментальная часть

Объектами исследований являлись два вида торфа месторождения «Боровское» (Шимский район Новгородской области): верховой торф низкой степе-

ни разложения и низинный торф высокой степени разложения.

Определение общетехнических свойств торфов

При изучении общетехнических свойств торфов использовали стандартные методики. Ботанический состав анализировался микроскопическим методом [3]. Степень разложения (ГОСТ 10650-72) определялась методом центрифугирования, влажность – весовым методом [4], кислотность (обменная) – методом потенциометрического измерения величины pH [5]. Количество золы определяли по ГОСТ 11306-83 [6].

Элементный состав торфяных образцов исследовался на CHN-анализаторе «Carlo Erba Strumentazione» модель 1106 (Италия). Содержание минеральных макро- и микроэлементов анализировалось рентгеноспектральным методом [7].

Определение влагоемкости заключается в свободном намокании торфа в воде за определенное время [5, 8].

Диспергирование в истирающих и режущих мельницах

Для достижения цели работы – изучения влияния механического диспергирования в истирающих и режущих мельницах на состав торфов, их физико-химические и структурно-механические свойства – было проведено измельчение торфов в щековой дробилке и ножевой мельнице. Данные дробилки предназначены для измельчения материалов различной твердости с целью подготовки их к дальнейшей переработке в аппаратах более тонкого измельчения (планетарных, центробежно-эллиптических мельницах и т. д.).

Определение группового состава торфов

Выделение органических соединений из образцов проводили по комплексной схеме, описанной в работе Г. Л. Стадникова [9] для растительного сырья. Из образцов торфов последовательно методом экстракции выделяли водорастворимые (ВР) вещества ($t = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$), битумы (CH_3Cl) и ГК (0.1 н NaOH и 10 % HCl).

Определение размера частиц торфа

Для определения размера частиц торфа применяли микроскопический анализ на микроскопе МБИ при увеличении в 420 раз.

Исследование реологических характеристик торфа

Определение реологических параметров проводили на реовискозиметре Хеплера [10].

Модуль упругости (дин/см²) рассчитывается по формуле

$$E = \frac{3 \cdot 3F}{16h^{3/2}R^{1/2}},$$

где *h* – глубина внедрения сферического индикатора радиуса *R* в плоскую поверхность образца, см; *F* – сила вдавливания, дин.

Результаты и обсуждение

Общетехническая характеристика торфов

По результатам анализа ботанического состава торфа относятся к комплексному верховому и древесному типу. Верховой торф на 90 % представлен сфагновыми мхами, а низинный – древесными березовыми остатками. В табл. 1 приведена общая характеристика исследуемых торфов.

Различия в степени разложения вызваны прежде всего разницей ботанического состава торфов. Целлюлоза является основным компонентом древесины и разрушается одна из первых и обычно полностью.

Таблица 1

Характеристика торфов

| Тип, вид торфа | Ботанический состав, % | Степень разложения, R, % | Кислотность, рН | Зольность, А ^с , % мас. | Влажность, W ^p , % мас. |
|----------------------|--|--------------------------|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Комплексный верховой | 1. Сфагнум балтийский – 45 2. Сфагнум бурый – 35 3. Сфагнум магелланский – 10 4. Пушица – 10 | 23 | 3.5 | 3.8 | 51.5 |
| Древесный низинный | 1. Древесные остатки (береза) – 80 2. Вахта – 10 3. Осока береговая – 10 4. Сфагнум Варнсторфа – следы 5. Осока волосистоплодная – следы | 48 | 5.6 | 25.0 | 66.1 |

Поэтому низинный древесный торф характеризуется высокой степенью разложения. Для сфагнового торфа также отмечены высокие значения R. Обычно при разработке питательных грунтов используют верховой, низинный или переходный торф степенью разложения выше 20 %.

Кислотность торфа – одна из основных физико- и агрохимических характеристик торфа и определяется наличием в нем свободных кислот [8]. В верховых торфах свободных кислот больше, чем в низинных. Повышенная кислотность отрицательно воздействует на сельскохозяйственные растения, культивируемые в присутствии торфа. Низинный торф имеет слабокислую реакцию среды, близкую к нейтральной. Поэтому низинный торф более благоприятен для применения в качестве органического удобрения с целью оптимизации почвенных условий произрастания растений и наиболее подходит для создания на его основе грунтов. В низинном торфе разложение органического вещества протекает более активно, чем в верховом, о чем свидетельствует его повышенная зольность. Верховой торф отличается среднекислой реакцией среды (рН = 3.5) довольно высокой степенью разложения и относится к малозольным торфам (А < 5 %).

Элементный состав торфов

Для полной химической оценки торфа необходимо иметь сведения об элементном составе его органической части. Как показал анализ элементного состава (табл. 2), верховой торф характеризуется высоким содержанием углерода, а низинный – повышенным содержанием водорода и азота. В органическом веществе торфа содержание азота колеблется от 0.5 до 4 %.

Почти весь азот торфа находится в форме органических веществ и недоступен для питания растений. В результате микробиологической деятельности (аммонифицирующих бактерий) происходит минерализация органических азотистых соединений и превращение в доступные для растений формы [11].

Для оценки состава органического вещества торфов использовались отношения Н/С и N/С (табл. 2). Высокие отношения Н/С и N/С для низинного торфа говорят о наименьшей степени конденсированности структур данного торфа и высоком содержании азотистых соединений в его составе.

Минеральный состав торфов

По результатам рентгеноспектрального анализа показано, что низинный торф является наиболее насы-

Таблица 2

Элементный состав исходных торфов

| Тип, вид торфа | Содержание, % мас. на органическое вещество | | | | | Атомное отношение | | |
|----------------|---|------|-----|-------|------|-------------------|------|------|
| | C | H | N | S | O | H/C | O/C | C/N |
| Верховой | 58.7 | 7.3 | 1.0 | Следы | 33.0 | 1.49 | 0.42 | 68.4 |
| Низинный | 42.7 | 10.6 | 2.8 | Следы | 43.9 | 2.97 | 0.77 | 17.8 |

ценным металлами и микроэлементами, в нем высокая доля ионов железа, кальция и кремния (табл. 3). При содержании железа больше 5 % торф не пригоден для приготовления органо-минеральных удобрений, так как фосфорная кислота, реагируя с железом, переходит в малодоступные или совсем неусвояемые для растений формы. При использовании торфа в качестве субстрата для закрытого грунта содержание подвижного железа не должно превышать 1 %.

Оценка плодородия почв невозможна без знания содержания микроэлементов. Изменение миллионных долей процента их содержания в почве влияет на жизненные процессы: стимулирует рост и развитие растений или угнетает их. Содержание марганца в низинном торфе в 10 раз выше, чем в верховом.

В обоих торфах присутствуют ионы фосфора, калия, марганца, относящиеся к основным элементам питания растений. Содержание этих элементов выше в низинном торфе.

Все микро- и макроэлементы закреплены, как правило, в структуре торфа, что позволяет в течение вегетационного периода выступать им в качестве питательных веществ. Этот принцип заложен в разработку гра-

нулированных органо-минеральных удобрений, снижающих вынос азота, фосфора и калия в водоемы.

Таким образом, элементный и рентгеноспектральный анализ показал, что низинный торф обладает большим запасом элементов минерального питания и способен обеспечивать растения азотом и необходимыми макро- и микроэлементами.

Влияние механического диспергирования на насыпную плотность торфов

В табл. 4 показано влияние содержания влаги, степени разложения и механического диспергирования на величину насыпной плотности. Плотность торфа зависит не только от содержания в нем влаги, но и от дисперсности. Плотность низинного торфа в 4 раза выше, чем верхового. При этом дисперсность мало изменяет плотность торфа во влажном состоянии. Чем выше степень разложения, тем выше дисперсность и тем выше плотность. Измельчение в ножевой мельнице приводит к более существенному увеличению насыпной плотности верхового торфа. Насыпная плотность низинного торфа незначительно увеличивается при диспергировании в ножевой мельнице и остается без изменения после обработки в щековой мельнице.

Таблица 3

Минеральный состав исходных торфов по данным рентгеноспектрального анализа

| Тип, вид торфа | Содержание элементов, % мас. на сухой торф | | | | | | |
|----------------|--|-------|-------|------|------|-----|------|
| | Fe | Mn | Ti | Ca | P | Si | K |
| Верховой | 0.68 | 0.021 | 0.036 | 1.72 | 0.03 | 7.9 | 0.08 |
| Низинный | 5.5 | 0.13 | 0.14 | 5.2 | 0.2 | 1.2 | 0.3 |

Таблица 4

Изменение насыпной плотности торфа при диспергировании

| Тип, вид торфа | Насыпная плотность, кг/м ³ | |
|---------------------------------|---------------------------------------|---------------|
| | на факт. влагу | на сухой торф |
| Верховой | | |
| Исходный | 147 | 127 |
| Измельченный в ножевой мельнице | — | 158 |
| Низинный | | |
| Исходный | 479 | 557 |
| Измельченный в ножевой мельнице | — | 567 |
| Измельченный в щековой дробилке | — | 557 |

За счет высокой степени разложения низинного торфа измельчение его в механических мельницах малоэффективно.

Влияние механического диспергирования на влагоемкость торфов

Способность торфа впитывать и удерживать определенное количество воды характеризует его влагоемкость. В состоянии полного влагонасыщения основная масса воды в торфе представлена категориями влаги слабой связи механического и осмотического удерживания. В табл. 5 представлены результаты определения влагоемкости исходных и измельченных торфов. Известно, что влагоемкость верховых торфов (особенно сфагновых) выше, чем низинных [5, 8]. Влагоемкость торфа определяется особенностями его пористой структуры (т. е. отношением неразложившейся части и продуктов распада), а также зави-

сит от состава, степени разложения, дисперсности, начальной влажности, температуры и времени пребывания его в воде и ряда других факторов. Наиболь-

Т а б л и ц а 5

Влагодность торфов

| Торф | Влагодность, % от объема |
|---|-----------------------------|
| Исходный верховой | 87.5 |
| Верховой, измельченный в ножевой мельнице | 88.3 |
| Исходный низинный | 56.5 |
| Низинный, измельченный в ножевой мельнице | 56.5 |
| Низинный, измельченный в щечковой дробилке | 62 |

шая влагодность отмечена для верхового торфа, измельченного в ножевой мельнице, в то время как влагодность низинного торфа после режущего измельчения не изменилась (табл. 5). Раздавляющее, истирающее действие щечковой дробилки на низинный торф оказало положительное влияние на его влагодность – она увеличилась на 5.5 %. В целом механическое диспергирование в мельницах практически не изменяет влагодность торфов.

Влияние механического диспергирования на размеры частиц торфов

В табл. 6 представлены размеры частиц торфов. Верховой торф состоит из слаборазложившихся растительных остатков. После измельчения в нем уже не встречаются частицы с размером более $200 \cdot 10^{-6}$ м, а преобладающей является фракция $20-80 \cdot 10^{-6}$ м. После измельчения верхового торфа в ножевой мельнице средний размер частиц изменяется с 60.8 до $50.9 \cdot 10^{-6}$ м (табл. 6).

Низинный торф имеет более высокую степень разложения, и поэтому его частицы неоднородны по своей структуре и склонны к агрегации друг с другом. Из табл. 6 видно, что измельчение низинного торфа в щечковой дробилке является наиболее эффективным

Т а б л и ц а 6

Изменение размеров частиц в зависимости от условий диспергирования

| Торф | Средний размер частиц, 10^{-6} м |
|---|---------------------------------------|
| Верховой исходный | 60.8 |
| Верховой, измельченный в ножевой мельнице | 50.9 |
| Низинный исходный | 59.1 |
| Низинный, измельченный в ножевой мельнице | 27.8 |
| Низинный, измельченный в щечковой дробилке | 16.3 |

по отношению к снижению размеров частиц – максимальный размер частиц снижается с 210 до $60 \cdot 10^{-6}$ м.

Влияние механического диспергирования на групповой состав торфов

В табл. 7 приведены данные о химическом групповом составе исходных и диспергированных торфов. Верховой торф характеризуется более высоким содержанием ВР веществ – полисахаридов (ПС) и полифенолов (ПФ), а также битумов, а в низинном торфе повышается содержание ГК. Данное обстоятельство может говорить о возможности использования низинного торфа в качестве источника гуминовых веществ, которые являются стимуляторами роста растений, активными сорбентами различных классов органических экотоксикантов, почвомодификаторами и др. и определяют биологическую ценность низинного торфа, который может использоваться в качестве исходного сырья для создания почвенных грунтов.

Измельчение верхового торфа в ножевой мельнице привело к значительному увеличению выхода ГК – в 3 раза (табл. 7). В случае низинного торфа более эффективным оказалось измельчение в щечковой мельнице – выход ГК повысился почти в 2 раза.

Влияние механического диспергирования на реологические свойства торфов

Между идеально упругими телами и истинно вязкими жидкостями существует огромное многообразие реальных дисперсных структурированных систем промежуточного типа. Существенное влияние на реологические свойства торфа оказывает его влажность, однородность торфа по фракционному составу, размеры частиц. С уменьшением размера частиц растет их концентрация в единице объема, что приводит к увеличению энергии взаимодействия между частицами. Вместе с тем значения реологических характеристик торфа уменьшаются за счет разрушения структур переплетения и высвобождения иммобилизованной воды. В результате повышается подвижность элементов структур торфа, и он переходит из нормально-пластичной консистенции в ползучепластическую, что существенно изменяет упругокинетические характеристики и физико-механические свойства.

В табл. 8 приведены результаты определения реологических характеристик исходных и диспергированных торфов. Водные суспензии готовились одной концентрации. Для верхового торфа концентрация сухого вещества составляла 12 %, а для низинного – 50 %. Верховой торф в исходном и измельченном состоянии характеризуется большей величиной сопротивляемости нагрузке, чем низинный. В низинном торфе наибольшее разрушение структур переплетения, повышение подвижности ее элементов отмечено для образца, измельченного в щечковой мельнице.

Таким образом, результаты данной работы показали, что низинный торф обладает большим запасом элементов минерального питания и в большей степе-

Групповой состав торфов

| Торф | Содержание, % мас. | | | | | Остаток (ΣФК, ЛГ, ТГ, лигнина)* |
|---------------------------------------|--------------------|-----------------|---------------|-----|-----|------------------------------------|
| | Битумы | Σ ВР веществ | ВР компоненты | | ГК | |
| | | | ПС | ПФ | | |
| Верховой | | | | | | |
| Исходный | 1.1 | 1.3 | 1.2 | 0.2 | 2.4 | 93.8 |
| Измельченный в ножевой мельнице | 1.2 | 1.1 | 0.8 | 0.4 | 7.8 | 88.7 |
| Низинный | | | | | | |
| Исходный | 0.6 | 1.2 | 0.6 | 0.6 | 3.6 | 93.4 |
| Измельченный в ножевой мельнице | 0.6 | 1.1 | 0.7 | 0.4 | 5.9 | 91.3 |
| Измельченный в щековой дробилке | 0.7 | 1.0 | 0.6 | 0.4 | 6.7 | 90.7 |

* ΣФК, ЛГ, ТГ, лигнина – сумма фульвокислот, легкогидролизуемых и трудногидролизуемых соединений и лигнина.

Таблица 8

Упруго-пластичные свойства водных дисперсий торфа

| Торф | Концентрация сухого вещества, % | Модуль упругости, дин/см ² |
|---------------------------------------|---------------------------------------|---|
| Верховой | | |
| Исходный | 12 | 403 |
| Измельченный в ножевой мельнице | 12 | 67 |
| Низинный | | |
| Исходный | 50 | 123 |
| Измельченный в ножевой мельнице | 50 | 19 |
| Измельченный в щековой дробилке | 50 | 7 |

ни способен обеспечивать растения азотом и необходимыми макро- и микроэлементами.

Предварительная переработка верхового торфа в щековой дробилке оказалась неэффективной, так как данный торф содержит значительное количество неразложившихся растительных остатков, которые не могут быть раздавлены между щеками дробилки. Эффективность измельчения низинного торфа в щековой дробилке объясняется тем, что данный торф имеет высокую степень разложения и содержит частицы малого размера. В ножевой мельнице мелкие частицы практически не измельчаются. Диспергирование по-разному сказывается на изменении состава и свойств торфов; в частности, увеличивается их насыпная плотность и незначительно повышается влагоемкость. Кроме того, показано снижение размера частиц обоих типов торфов и увеличение выходов гуминовых кислот – в 3 раза для верхового торфа и в 2 раза для низинного. Также отмечено изменение реологических свойств торфов – после их диспергирования уменьшается модуль упругости, характеризующий подвижность элементов структур торфов.

Работа выполнена при поддержке Лаврентьевского конкурса молодежных проектов СО РАН.

Список литературы

1. Лиштван И. И., Базин Е. Т., Гамаюнов Н. И., Терентьев А. А. Физика и химия торфа. М.: Недра, 1989. 304 с.
2. Торф в народном хозяйстве / под ред. Б. Н. Соколова. М.: Недра, 1988. 268 с.
3. ГОСТ 28245.2-89. Методы определения ботанического состава и степени разложения. Введен 01.07.90 М.: Изд-во стандартов, 1989 г.
4. Король Н. Т., Лиштван И. И. Основные свойства торфа и методы их определения. Минск: Наука и техника, 1975. 319 с.
5. Базин Е. Т. и др. Технический анализ торфа. М.: Недра, 1992. 431 с.
6. ГОСТ 11306-83. Методы определения зольности. Введен 01.01.85. Взамен ГОСТ 7302-73. М.: Изд-во стандартов, 1984.
7. Лосев Н. Х., Смагунова А. Н. Основы рентгеноспектрального флуоресцентного анализа. М.: Химия, 1982. 208 с.
8. Лиштван И. И. и др. Физические свойства торфа и торфяных залежей. Минск: Наука и техника, 1985. 204 с.
9. Стадников Г. Л. Химия торфа. 2-е изд. М.: АН СССР, 1932. 68 с.
10. Баранова В. И. и др. Практикум по коллоидной химии. М.: Высш. шк., 1983. 213 с.
11. Раковский В. Е., Пикулевская Л. В. Химия и генезис торфа. М.: Недра, 1978. 231 с.

Иванов А. А., кандидат химических наук.

Институт химии нефти СО РАН.

Пр. Академический, 4, г. Томск, Томская область, Россия, 634021.

E-mail: ivanov@ipc.tsc.ru

Юдина Н. В., кандидат технических наук, доцент, зав. лабораторией.

Институт химии нефти СО РАН.

Пр. Академический, 4, г. Томск, Томская область, Россия, 634021.

E-mail: natal@ipc.tsc.ru

Материал поступил в редакцию 17.02.2010

A. A. Ivanov, N. V. Yudina

THE INFLUENCE OF MECHANICAL GRINDING IN ABRADING AND CUTTING MILLS ON THE COMPOSITION AND PROPERTIES OF PEATS

The influence of mechanical grinding in abrading and cutting mills on the structure of peats, their physical, chemical and structurally-mechanical properties has been investigated. It was shown, that lowland peat has a big stock of elements of a mineral food, than high-moor peat. The grinding of high-moor peat increases its bulk density and leads to insignificant increase in a moisture capacity of both types of peat. Besides, the change of sizes of peat particles, group composition and rheological properties of peats has been investigated.

Key words: *peat, grinding, mills, composition, properties.*

Ivanov A. A.

Institute of Petroleum Chemistry SB RAS.

Pr. Akademichesky, 4, Tomsk, Tomskaya oblast, Russia, 634021.

E-mail: ivanov@ipc.tsc.ru

Yudina N. V.

Institute of Petroleum Chemistry SB RAS.

Pr. Akademichesky, 4, Tomsk, Tomskaya oblast, Russia, 634021.

E-mail: natal@ipc.tsc.ru