

Книга издана при содействии:

- ◆ *ОАО «Завод Гидромеханизации», г. Рыбинск*
- ◆ *ООО «Рассвет-К», г. Курск*
- ◆ *ОАО «Ярославль-Гидромеханизация»*
- ◆ *ОАО «Курскгидромеханизация»*
- ◆ *Инвестиционного фонда поддержки
горного книгоиздания, проект ГК-2262-11*

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель
Л.А. ПУЧКОВ

Зам. председателя
Л.Х. ГИТИС

Члены редсовета
А.П. ДМИТРИЕВ
Б.А. КАРТОЗИЯ
А.В. КОРЧАК
М.В. КУРЛЕНЯ
В.Н. ОПАРИН

В.И. ОСИПОВ
В.Л. ПЕТРОВ
А.Д. РУБАН

Э.М. СОКОЛОВ
К.Н. ТРУБЕЦКОЙ
В.А. ЧАНТУРИЯ

президент МГГУ,
чл.-корр. РАН
директор
издательства «Горная книга»
академик РАЕН
академик РАЕН
ректор МГГУ, академик МАН ВШ
академик РАН
чл.-корр. РАН,
директор ИГД СО РАН
академик РАН
академик МАН ВШ
чл.-корр. РАН,
директор ИПКОН РАН
академик МАН ВШ
академик РАН
академик РАН

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ПО ПРОБЛЕМАМ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ

Председатель
И.М. ЯЛТАНЕЦ

Зам. председателя
С.М. ШТИН

Члены редколлегии:
Л.Х. ГИТИС

В.П. ДОКУКИН

В.П. ДРОБАДЕНКО

Н.И. ЛЕВАНОВ

М.И. ЩАДОВ

д-р техн. наук, профессор
Московского государственного
горного университета,
действительный член
Международной академии
информатизации
технический директор
ООО «НПО Гольфстрим»,
канд. техн. наук, действительный
член Академии транспорта
директор Издательства
«Горная книга»
д-р техн. наук, профессор
Санкт-Петербургского
государственного горного института
(Технического университета)
д-р техн. наук, профессор
Российского государственного
геологоразведочного университета,
действительный член Академии
горных наук
генеральный директор
ЗАО «Уренгойгидромеханизация»,
действительный член Академии
транспорта
президент Международного горного
конгресса, д-р техн. наук, профессор
Московского государственного
горного университета,
действительный член Академии
горных наук

С.М. ШТИН

**ГИДРО-
МЕХАНИЗИРОВАННАЯ
ДОБЫЧА ТОРФА
И ПРОИЗВОДСТВО
ТОРФЯНОЙ
ПРОДУКЦИИ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
НАЗНАЧЕНИЯ**

*Под редакцией д-ра техн. наук,
профессора И.М. Ялтаница*



МОСКВА

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ГОРНАЯ КНИГА»

2012

УДК 622.271.6(075.8)
ББК 33.22
Ш 91

Книга соответствует «Гигиеническим требованиям к изданиям книжным для взрослых» СанПиН 1.2.1253—03, утвержденным Главным государственным санитарным врачом России 30 марта 2003 г. (ОСТ 29.124—94). Санитарно-эпидемиологическое заключение Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека № 77.99.60.953.Д.014367.12.11

Рецензенты:

- д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Технология и комплексная механизация торфяного производства» *А.Е. Афанасьев* (Тверской государственной технической университет);
- кандидат техн. наук, доц. кафедры «ТМ и ТТК» *А.П. Гришко* (Московский государственный горный университет)

Штин С.М.

Ш 91

Гидромеханизованная добыча торфа и производство торфяной продукции энергетического назначения / Под ред. И.М. Ялтанца. — М.: Издательство «Горная книга», 2012. — 360 с.

ISBN 978-5-98672-251-1 (в пер.)

Изложены данные о торфяных горных породах, разрабатываемых плавучими землесосными снарядами. Рассмотрена структура комплексной механизации при разработке обводненных месторождений торфа. Приведены технологические схемы и методики расчета показателей основных технологических процессов добычи торфа и производства торфяной продукции энергетического назначения.

С.М. Штин — канд. техн. наук, доц. кафедры ТО МГТУ.

Для инженерно-технического персонала горно-добывающей промышленности. Может быть полезна для аспирантов и студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Открытые горные работы».

УДК 622.271.6(075.8)
ББК 33.22

ISBN 978-5-98672-251-1



9 785986 722511

- © С.М. Штин, 2012
- © Издательство «Горная книга», 2012
- © Дизайн книги. Издательство «Горная книга», 2012

ПРЕДИСЛОВИЕ

В разделах данной книги изложены вопросы физико-механических, тепловых и энерготехнических свойств торфов, технологии и структуры комплексной механизации основных производственных (технологических) процессов добычи торфяных грунтов.

В книге содержатся ценные сведения по производству торфяной продукции в современных условиях, а также перспективе развития торфяной промышленности России и дана экономическая оценка применяемых способов добычи торфяного полезного ископаемого.

Особое внимание в работе уделено технологическим процессам гидромеханизированного (плавучими земленосными снарядами) способа добычи торфа и влиянию этого способа на физико-механические характеристики торфа-сырца. В связи с этим автором данной работы произведена модернизация основных технических параметров узлов земленосного снаряда, в частности параметров фрезерно-шнекового грунтозабойного устройства, погружного грунтового насоса осевого типа на всасывающей линии земленосного снаряда и др.

Рассмотрен порядок и организация производства горно-подготовительных вскрышных и гидродобычных работ, обеспечивающих наиболее полную выемку полезного ископаемого (торфа), с выполнением требований по охране окружающей среды.

В последних разделах книги автором приводятся сведения по переработке торфа, с целью получения торфо-пеллетного топлива. Большой интерес представляет экономическое обоснование технологических па-

раметров топливно-энергетического комплекса для получения этого (торфяного) топлива и обеспечения теплом населенного пункта численностью до 15 000 жителей.

Данная книга является трудом, где автором обобщены некоторые результаты теоретических достижений ряда авторов и организаций и личных результатов научных исследований в области эксплуатации торфяных месторождений.

Книга призвана оказать помощь в решении и развитии технологических задач, выполняемых с использованием плавучих земленосных снарядов при разработке обводненных торфяных месторождений.

С учетом того, что обобщение некоторых результатов и структура содержания в представленном виде делается впервые, автор будет признателен всем приславшим свои замечания и пожелания по данной книге.

Председатель оргкомитета Съездов гидромеханизаторов России и редакционной коллегии издательства МГГУ, действительный член Международной академии информатизации, доктор технических наук, профессор, лауреат конкурса "Золотое перо горняка-2000".

И.М. Ялтанец

ВВЕДЕНИЕ

Запасы торфа в России составляют 37,2 % от мировых. Торф относится к возобновляемым природным ресурсам, ежегодный прирост которых составляет более 60 млн т (40 %-ной влажности) при скорости накопления 0,2—2,5 мм в год.

Актуальность использования торфа в РФ в топливном направлении среди других направлений (энергетическое, сельскохозяйственное, химико-технологическое, природоохранное, строительное, медицинское и др.) обуславливается его приоритетом по сравнению с дальнепривозными (уголь, нефть, мазут) видами топлива и уступает только газу. Торф относится к местным полезным, экологически безопасным, неравномерно распределенным в географическом плане ресурсам; при сжигании его в атмосферу выбрасывается диоксида серы в 50 раз меньше по сравнению с сжиганием мазута и угля. Практически отсутствуют канцерогенный бензапирен. Выбросы окиси углерода компенсируются его аккумуляцией торфяно-болотными и лесными экосистемами. Использование переработанного торфа на топливо экономически целесообразно.

Указом Президента Российской Федерации Д. Медведева: “О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической безопасности российской экономики” от 4.06.2008 г. №889, а также решением Совета Безопасности РФ от 30.01.2008 г. определена необходимость создания в стране индустрии переработки отходов и местного углеводородного сырья. Определена актуальность создания базовых проектов по организации топливно-энергетических комплексов для внедрения экологи-

чески чистых ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих высокую рентабельность производства, небольшие сроки строительства и окупаемости.

Добыча, производство и переработка торфа относятся к сложным физико-химическим и технологическим процессам, базирующихся на научных основах физико-химической механики дисперсных материалов, учитывающих особенности изменения структуры влажных материалов при сушке. Последние обусловлены огромным количеством воды ($\omega_n = 92 - 96\%$) в естественном состоянии и для получения торфяного продукта требуется удалить до 5—7 кг влаги. Причем удаление влаги связано с оптимизацией процессов сушки и структурообразования в технологии торфяного производства, активно изменяющих свойства твердой фазы (прочность R_i , плотность γ_i , крошимость, влагосодержание W , устойчивость к внешним воздействиям и др.). В процессе удаления влаги из торфа вследствие протекающих процессов тепломассопереноса и структурообразования происходит изменение его энергетических, физико-механических и технологических характеристик, определяющих качество производимой торфяной продукции.

Качество готовой продукции (удельная теплота сгорания и теплоплотность) определяется ее влагой $\omega(\%)$ или влагосодержанием W , зольностью, плотностью (насыпной плотностью) прочностью R_i , крошимостью, засоренностью торфяного сырья, водопоглощаемостью, однородностью торфяного сырья.

Гидромеханизованная технология обеспечивает возможность изменять технологические параметры торфа с целью повышения низшей удельной теплоты его сгорания в процессе добычи. Влиять на повышение теплоплотности (удельная теплота сгорания единицы объема топлива) торфяной продукции в процессе ее производства на основе изменения структуры торфа. Изменение структуры торфа направлено на понижение рейтинга исходного материала, а механическое обезвоживание торфяной пульпы, термическое воздействие на поверхностный (объемный) слой торфа в сочетании с механическим уплотнением обеспечивают получение торфяной продукции с однородной, тонкопористой структурой.

1. ТОРФ

1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Торф, горючее полезное ископаемое, образующееся в процессе естественного отмирания и неполного распада *болотных* растений в условиях избыточного увлажнения и затрудненного доступа воздуха. От почвенных образований торф принято отличать по содержанию в нем органических соединений (не менее 50 % по отношению к абсолютно сухой массе).

Органическое вещество торфа состоит из растительных остатков, претерпевших различную степень разложения. *Перегной* (гумус) придает торфу темную окраску. Относительное содержание в общей массе торфа продуктов распада растительных тканей, утративших клеточную структуру, называют степенью разложения торфа. Различают торф слаборазложившийся (до 20 %), среднеразложившийся (20—35 %) и сильноразложившийся (свыше 35 %). По условиям образования и свойствам торфа подразделяют на верховой, переходный и низинный.

Торф имеет сложный химический состав, который определяется условиями генезиса, химическим составом растений-торфообразователей и степенью разложения торфа. Элементный состав торфа: *углерод* 50—60 %, *водород* 5—6,5 %, *кислород* 30—40 %, *азот* 1—3 %, *сера* 0,1—1,5 % (иногда 2,5) на горючую массу. В компонентном составе органической массы содержание водорастворимых веществ 1—5 %, *битумов* 2—10 %, легкогидролизуемых соединений 20—40 %, *целлюлозы* 4—10 %, гуминовых кислот 15—50 %, *лигнина* 5—20 %.

Торф — сложная полидисперсная многокомпонентная система; его физические свойства зависят от свойств отдельных частей, соотношений между ними, степени разложения или дисперсности твердой части, оцениваемой удельной поверхностью или содержанием фракций размером менее 250 мкм. Для торфа характерны большое влагосодержание в естественном залегании (88—96 %), пористость до 96—97 % и высокий коэффициент сжимаемости при компрессионных испытаниях. Текстура торфа — однородная, иногда слоистая; структура обычно волокнистая или пластичная (сильноразложившийся торф). Цвет желтый или бурый до черного.

Слаборазложившийся торф в сухом состоянии имеет малую плотность (до 0,3 г/см³), низкий коэффициент теплопроводности и высокую газопоглотительную способность; торф высокой дисперсности (после механической переработки) образует при сушке плотные куски с большой механической прочностью и теплотворной способностью 2650—3120 ккал/кг (при 40 % влажности). Слаборазложившийся торф — отличный фильтрующий материал, а высокодисперсный используется как противофильтрационный материал. Т. поглощает и удерживает значительные количества влаги, аммиака, катионов (особенно тяжелых металлов). Коэффициент фильтрации Т. изменяется в пределах нескольких порядков.

1.2. ОБРАЗОВАНИЕ ТОРФА

Торф — предшественник генетического ряда *углей*. Место образования торфа — торфяные болота, встречающиеся как в долинах рек (поймы, террасы), так и на водоразделах (рис. 1).

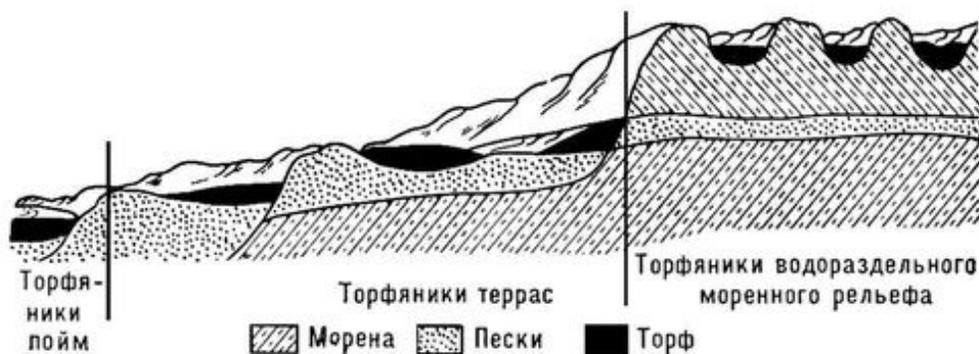


Рис. 1.1. Схема расположения торфяников по рельефу

Болота — скопления стоячей *воды* с разлагающимися растительными остатками и с продолжающимися развиваться *растениями*. Болота происходят путем зарастания *озер*, отчасти и *рек*, или путем заболачивания, появления собирающих воду растений на суходолах. На берегу готового водоема, в местах более или менее защищенных от разрушительного действия волнения, появляются растения с чрезвычайно длинными корневищами, которые, переплетаясь, образуют на поверхности воды прочную, но колеблющуюся при волнении *корку*. Таковы, напр., *Menyanthes* (болотный *трилистник*), *Comarum* (*сабельник*), *Cicuta* (*вех*), *Carices* (*осоки*), *Iris* (*касатик*). Ежегодно отмирающие части этих растений падают на дно, служа материалом для заполнения бассейна и превращения его в *торф*. Образовавшаяся на поверхности воды кора постепенно заселяется новыми растениями, все более крепнет, захватывая вместе с тем все большую и большую площадь, так что от бывшего озера остается иногда ничтожное по своим размерам, но достигающее значительной глубины окнище, которое в конце концов также исчезает (рис. 2). Болота, на которых не появляется белый мох, называются луговыми, травянистыми, поемными, речными, иногда кислыми лугами и пр. К этому типу принадлежит большинство болот черноземной полосы, болота в устьях рек и т.п.

Из числа растений, появляющихся на поверхности болот, особого внимания заслуживают мхи, а среди них прежде всего белый мох, *Sphagnum*, совершенно своеобразный по своему анатомическому строению (см. сл. *Sphagnum*) и до того жадно впитывающий в себя жидкость. Этот мох покрывает самые распространенные у нас моховые болота, клюквенники, мшавы, *мшары* или «мхи». Обыкновенным спутником *Sphagnum* являются *клюква* (*Oxycoccus palustris*) и низкорослая корявая сосна, а в более северных местностях, кроме того, *морюшка* (*Rubus Chamaemorus*), *голубика* (*Vaccinium uliginosum*), *пушица* (*Eriophorum*), карликовая береза (*Betula nana*) и др. Моховые болота чрезвычайно характерны для водораздела рек нашего севера.

Болота можно свести к двум типам: а) **низинные болота**, питаемые водой почвенной, более или менее богатой солями, и б) **торфяные болота**, или *торфяники*, питаемые водой атмосферной, бедной солями. Оба основных типа отличаются достаточно резко по своей растительности и характеру получаемых из них полусгнивших остатков растений (*торфа*), но связаны переходами.

Низинные болота образуются:

- 1) благодаря поднятию уровня грунтовых вод (подтоплению), застаиванию снеговых и дождевых вод (напр. на степях);
- 2) по плоским берегам рек, особенно в *дельтах*, около озер и других пресноводных бассейнов;

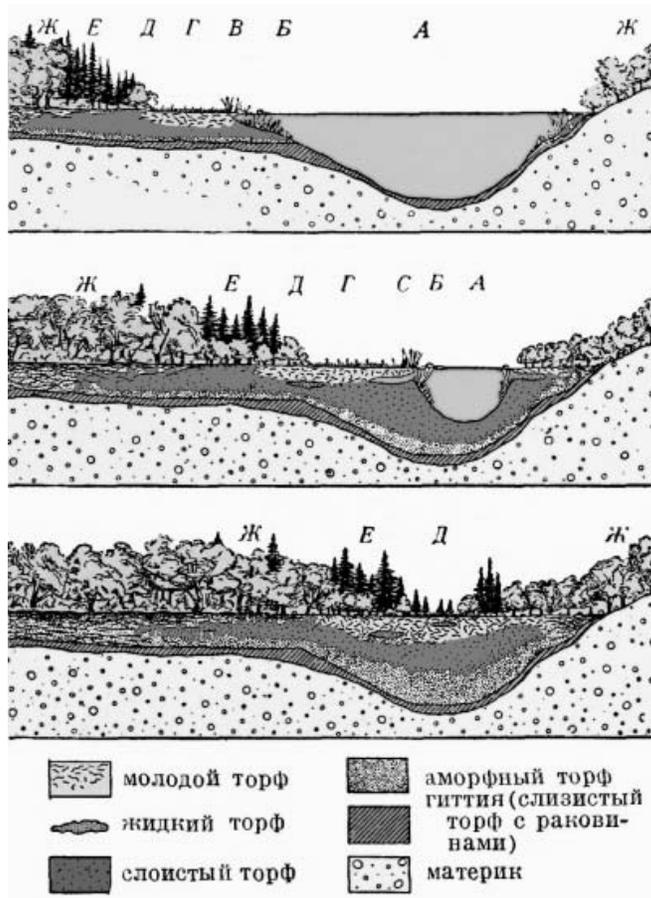


Рис. 1.2. Схема заболачивания озера:

А — открытое водное пространство; Б — прибрежная растительность; В — болото, Г — кустарники; Д — заболоченный лес; Е — хвойный лес; Ж — лиственный лес

3) по берегам соляных бассейнов (морей, океанов, где нет прилива), например плавни, мангровые болота, *лиманы*;

4) при зарастании медленно текущих рек, озер, прудов прибрежно-болотной и водной растительностью. При этом отмирающие остатки падают на дно и здесь медленно изменяются.

Второй тип, торфяные болота, возникают при зарастании бассейнов и рек, причем растения сперва плавают на воде и образуют зыбуны; далее на зыбунах развиваются торфяные *мхи*, и зыбун начинает нарастать сверху и одновременно опускаться вниз, заполняя бассейн; иногда торфяные мхи поселяются на твердой почве главным образом в лесах особенно сосновых, покрывая почву сплошным покровом. Леса гибнут и заменяются характерными торфяными кустарниками. Торфяные болота нарастают на

поверхности и потому возвышаются над почвой. Отсюда название — высокие болота. *Торф* их беден золой.

Торфяные болота встречаются как на равнинах, так и на горах. Вблизи *полярных кругов*, где леса уже нет, они занимают обширные пространства, образуя *тундры*. Болота всякого рода малоценны из-за малопитательной их растительности.

Происхождение торфа связано с накоплением остатков отмершей растительности, надземные органы которой гумифицируются и минерализуются в поверхностном аэрируемом слое болота, называемом торфогенным горизонтом, почвенными беспозвоночными животными, *бактериями* и *грибами*. Подземные органы, находящиеся в анаэробной среде, консервируются в ней и образуют структурную (волокнустую) часть торфа. Интенсивность распада растений-торфообразователей в торфогенном слое зависит от вида растения, обводненности, кислотности и температуры среды, от состава поступающих минеральных веществ. Несмотря на ежегодный прирост отмершей органической массы, торфогенный горизонт не прекращает своего существования, являясь природной «фабрикой» торфообразования. Поскольку на торфяных месторождениях произрастает много видов растений, образующих характерные сочетания (болотные фитоценозы), и условия среды их произрастания отличаются по минерализации, обводненности, реакции среды, сформировавшийся торф на разных участках торфяных болот обладает различными свойствами.

Известен так называемый погребенный торф, который отложился в периоды между оледенениями или оказался перекрытым рыхлыми отложениями разной мощности в результате изменения базиса эрозии. Возраст погребенного торфа исчисляется десятками тысячелетий; в отличие от современного, погребенный торф характеризуется меньшей влажностью.

В соответствии с составом исходного растительного материала, условиями образования торфа и его физико-химическими свойствами торф относят к одному из 3 типов: *верховому*, *переходному* и *низинному*.

Каждый тип по содержанию в торфе древесных остатков подразделяется на три подтипа: *лесной*, *лесотопяной* и *топяной*. Торф разных подтипов отличается по степени разложения. Торф лесного подтипа имеет высокую степень разложения (иногда до 80 %), у топяного торфа — минимальная степень разложения; лесотопяной торф занимает промежуточное положение. Подтипы торфа делятся на группы, состоящие из 4—8 видов (табл. 1.1). Вид — первичная таксономическая единица классификации торфа. Он отражает исходную растительную группировку и первичные условия образования торфа, характеризуется определенным соче-

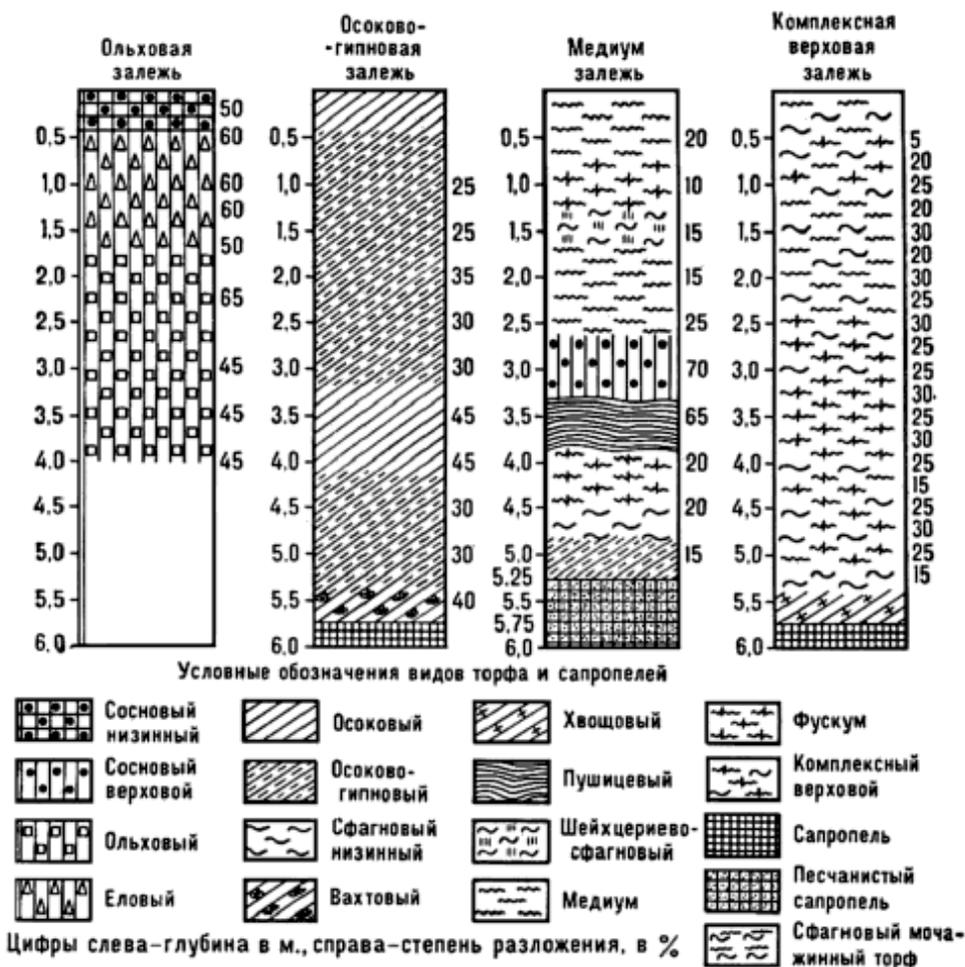


Рис. 1.3. Основные виды строения торфяной залежи

танием доминирующих остатков отдельных видов растений (а также характерных остатков). Пластообразующими видами торфа называют совокупность нескольких первичных видов торфа, мало отличающихся друг от друга по своим свойствам и образующих большие горизонтально залегающие однородные слои. Отложения пластообразующих видов той или иной протяженности и мощности (толщины), закономерно сменяющиеся в определенной последовательности, образуют торфяную залежь. На характер строения залежи определенной климатической зоны влияют геоморфологические, геологические, гидрогеологические, гидрологические условия каждого конкретного участка болота. В зависимости от сочетания отдельных видов торфов по глубине торфяной залежи последние подразделяются на типы.

Таблица 1.1

Классификация видов торфа

Тип	Подтип					
	Лесной	Лесостояной		Топяной		Моховая группа
	Древесная группа	Древесно-топяная группа	Древесно-моховая группа	Травяная группа	Травяно-моховая группа	
Низинный	Ольховый Березовый Еловый Сосновый Сосновый низинный Ивовый	Древесно-тростниковый Древесно-осоковый низинный	Древесно-гипновый Древесно-сфагновый низинный	Хвощевый Тростниковый Осоковый Вахтовый Шейхцериевый низинный	Осоково-гипновый Осоково-сфагновый низинный	Гипновый-низинный Сфагновый низинный
Переходный	Древесный переходный	Древесно-осоковый переходный	Древесно-сфагновый переходный	Осоковый переходный Шейхцериевый переходный	Осоково-сфагновый переходный	Гипновый переходный реходный Сфагновый переходный
Верхово	Сосновый верховой	Сосново-пушицевый	Сосново-сфагновый	Пушицевый Шейхцериевый верховой	Пушицево-сфагновый Шейхцериево-сфагновый	Медиум-торф Фускусм-торф Комплексный верховой Сфагново-мочажинный

Торфа каждого типа разделяются на три подтипа: лесной (при содержании древесных остатков более 40 %), лесотопяной (15—35 %) и топяной (менее 15 %). Торф разных подтипов отличается по степени разложения. Торф лесного подтипа имеет высокую степень разложения (иногда до 80 %), у топяного — минимальная степень разложения; лесотопяной торф занимает промежуточное положение. Подтипы торфа делятся на группы, состоящие из 4—8 видов. Вид — первичная таксономическая единица классификации торфа. Он отражает исходную растительную группировку и первичные условия образования, характеризуется определенным сочетанием доминирующих остатков отдельных видов растений (а также характерных остатков).

Элементный состав торфа: углерод 50—60 %, водород 5—6,5 %, кислород 30—40 %, азот 1—3 %, сера 0,1—1,5 % (иногда 2,5) на горючую массу.

В компонентном составе органической массы содержание: водорастворимых веществ 1—5 %, битумов 2—10 %, легкогидролизуемых соединений 20—40 %, целлюлозы 4—10 %, гуминовых кислот 15—50 %, лигнина 5—20 % (растительные волокна), продуктов разложения растительных остатков (темно-бурого бесструктурного вещества) — гумуса и минеральных веществ, воды.

Влажность торфа, в его естественном состоянии, очень высока и колеблется в процентах от 257 (72) до 2980 (96,7) (в скобках дана относительная влажность).

Основные показатели качества торфа следующие:

влажность

естественная71,3—87,9 %,

средняя82 %;

зольность2,8—14,3 %,

средняя5 %;

степень разложения торфа

в верхней части залежиот 20 до 35 % (средняя 25 %);

в нижней части —от 30 до 40 % (средняя 35 %);

кислотность (*pH*)изменяется от 3,6 до 5,7.

1.3. ТОРФЯНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Торфяные месторождения — промышленные скопления торфа, четко ограниченные территориально и не связанные с другими скоплениями. Размер площади, занимаемой торфяными месторождениями и болотами в мире, составляет около 350 млн га, из них около 100 млн га имеет промыш-

Таблица 1.2

Запасы торфа в России и за рубежом

Страна	Запасы торфа, млрд т (40 % влажности)
Россия	162,5
Финляндия	25,0
Канада	23,9
США	13,8
Швеция	9,0
Польша	6,0
Германия	6,0
Ирландия	5,0

Таблица 1.3

Распределение разведанных запасов торфа в России

Экономический район	Общая площадь торфяных месторождений	Запасы торфа, млрд т (40 % влажности)
Северо-Западный	8,9	19,8
Центральный	1,4	5,2
Центрально-черноземный	0,04	0,1
Волго-Вятский	0,5	2,0
Поволжский	0,1	0,3
Уральский	2,7	9,1
Западно-Сибирский	34,1	103,9
Восточно-Сибирский	3,1	4,0
Дальневосточный	5,7	5,2
Калининградская область	0,1	0,3

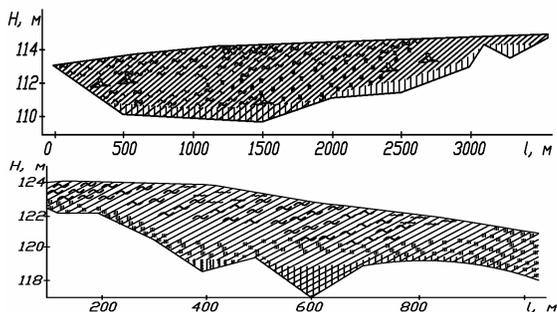
ленное значение. На территории Западной Европы расположен 51 млн га, Азии — свыше 100 млн га, Северной Америки — свыше 18 млн га. Данные о запасах торфа и его добыче в России и за рубежом приведены в табл. 1.2. Разведанные запасы торфа в России по районам приведены в табл. 1.3. Изученность торфяного фонда по экономическим районам страны неравномерна. Так, в Центральном районе РФ свыше 70 % фонда разведано детально, а в Западно-Сибирском детальная разведка составляет 0,6 % фонда района и 82,8 % — прогнозная оценка.

Поиск торфяных месторождений включает анализ картографических и аэрофотосъемочных материалов, поисково-разведочный этап дополняется полевыми работами. Предварительная разведка выполняется на месторождениях площадью свыше 1000 га для определения целесообразности их использования.

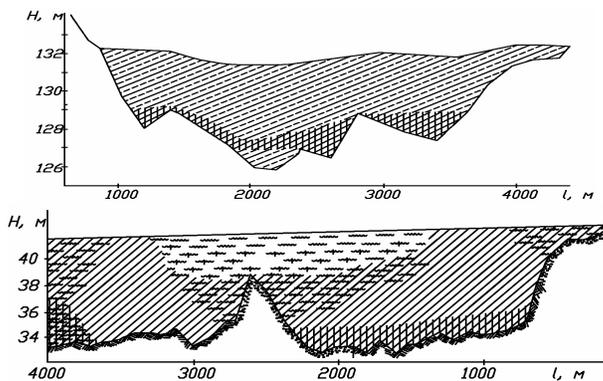
Детальная разведка производится с целью получения данных для составления проекта разработки и использования торфяного месторождения.

1.4. СТРОЕНИЕ ТОРФЯНОГО ПРОФИЛЯ

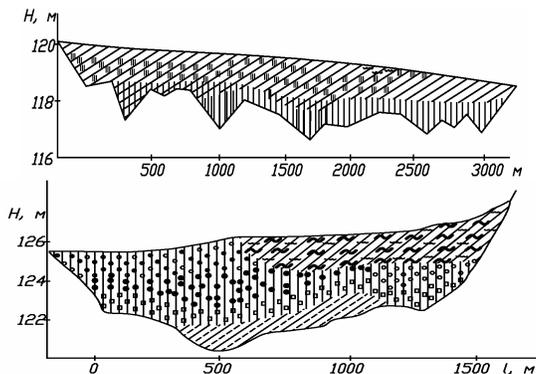
В торфах выделяют следующие горизонты: лесная подстилка (A0) или очес (A00), ниже залегает торфяной горизонт (Т) с подразделением на



Залежь переходного топяного вида Залежь осоко-сфагнового вида



Залежь осоково-гипнового вида Залежи переходного лесо-топяного вида



Залежь шейхцериевого вида Залежь переходного лесного вида

Рис. 1.4. Строение торфяных залежей

подгоризонты (Т1, Т2 и т. д.) в зависимости от степени разложения торфа и ботанического состава растений, составляющих торф. Торфяной горизонт (Т) может быть слаборазложившимся (торфяным) А0Т, среднеразложившимся (перегнойно-торфяным) А0ПТ или сильноразложившимся (перегнойным) А0П. Ниже торфяного горизонта лежит глеевый горизонт, а еще ниже залегает материнская порода.

Важной качественной характеристикой торфа является степень его разложения, которая определяется по относительному содержанию продуктов распада тканей, утративших клеточное строение (табл. 1.4).

Таблица 1.4

Признаки различной степени разложения торфа

Степень разложения, %	Название степени	Основные признаки состояния торфа
15	Неразложившийся	Торфяная масса не продавливается между пальцами. Поверхность сжатого торфа шероховатая от остатков растений, которые хорошо различимы. Вода выжимается струей, как из губки, прозрачная, светлая
15—20	Весьма слабо разложившийся	Вода выжимается частыми каплями, почти образуя струю, слабо-желтоватая
20—25	Слаборазложившийся	Вода отжимается в большом количестве, желтого цвета, растительные остатки заметны хуже
25—35	Среднеразложившийся	Масса торфа почти не продавливается в руке, остатки растительности заметны; вода отжимается частыми каплями светло-коричневого цвета, торф начинает слабо пачкать руку
35—45	Хорошо разложившийся	Масса торфа продавливается слабо. Вода выделяется редкими каплями коричневого цвета
45—55	Сильно разложившийся	Масса торфа продавливается между пальцами, пачкая руку. В торфе заметны лишь некоторые растительные остатки. Вода отжимается в малом количестве, темно-коричневого цвета
>55	Весьма сильно разложившийся	Торф продавливается между пальцами в виде грязеподобной черной массы. Вода не отжимается. Растительные остатки совершенно неразличимы

1.5. ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОРФА

Торф представляет собой полидисперсную систему, состоящую обычно из трех фаз — твердой (остатки растений с минеральными примесями), жидкой и газообразной и является сложной полидисперсной многокомпонентной неоднородной полукolloидно-высокомолекулярной системой.

Экспериментально определяемыми физическими характеристиками являются:

1) *содержание влаги в торфе*, выражаемое влажностью ω , % влаго-содержанием W (кг/кг) и объемной влажностью $W_{об}$

$$\omega = \frac{M - M_T}{M} 100 = \frac{W}{1 + W} 100; \quad W = \frac{M - M_T}{M_T} = \frac{\omega}{100 - \omega}; \quad (1.1)$$

$$W_{об} = \frac{V_B}{V} = \frac{\gamma}{\Delta} \cdot \frac{W}{1 + W} = \frac{\gamma}{\Delta} \frac{\omega}{100}, \quad (1.2)$$

где M — масса торфа объемом V , кг; M_T — масса твердой фазы (сухого вещества), кг; V_B — объем воды, м³; γ — плотность торфа, кг/м³; Δ — плотность воды, равная 1000 кг/м³;

2) *плотность торфа*, кг/м³

$$\gamma = \frac{M}{V}; \quad (1.3)$$

3) *плотность твердой фазы торфа*, кг/м³

$$\rho = \frac{M_T}{V_T}, \quad (1.4)$$

где V_T — объем твердой фазы торфа.

Количественные соотношения между фазами определяются следующими расчетными характеристиками:

а) *пористостью*, % — соотношением объема всех пор в торфе к объему образца твердой фазы:

$$n = \frac{V - V_T}{V} 100 = \left(1 - \frac{\gamma}{\rho} \cdot \frac{1}{1 + W}\right) 100; \quad (1.5)$$

б) *коэффициентом пористости* — соотношением объема всех пор в торфе к объему твердой фазы

$$\varepsilon = \frac{V - V_T}{V_T} \frac{\rho}{\gamma} (1 + W) - 1; \quad (1.6)$$

в) *удельным объемом*, m^3/kg — объемом, занимаемым единицей массы скелета торфа при влагосодержании W ,

$$v = \frac{V}{M_T} = \frac{1+W}{\gamma}. \quad (1.7)$$

Классификация торфяных грунтов в зависимости от содержания органического вещества и по генетико-фациальным и петрографическим особенностям показана в табл. 1.5, а плотность твердой фазы торфа, которая зависит от степени разложения и зольности показана в табл. 1.6.

Приближенные значения плотности ρ_0 (kg/m^3) органической массы торфа можно вычислить по следующей формуле (В.Я. Великин):

$$\rho_0 = 1600 - 3.3R, \quad (1.8)$$

где R — степень разложения торфа, %. Плотность твердой фазы ρ в зависимости от зольности A (%) определяется по формулам:

$$\rho = \rho_0(1 + 0.005A); \quad \rho = \frac{345 \cdot 10^3}{230 - A}. \quad (1.9)$$

В приближенных расчетах можно принимать для нормально зольного торфа $\rho = 1500 \text{ кг}/m^3$.

Дисперсность твердой фазы. Твердая фаза торфа является конгломератом отдельных агрегатов, связанных между собой силами различной природы. Результаты агрегатного состава выражаются кривой распределения частиц по размерам их суммарной кривой.

Средневзвешенный диаметр частиц (m):

$$d_c = \frac{\sum d_i \Delta m_i}{\sum \Delta m_i}, \quad (1.10)$$

где d_i — среднеарифметический диаметр фракций, m ; Δm_i — масса фракции (или ее процентное содержание по массе).

Действующий диаметр d_D (m) — диаметр эквивалентный по удельной поверхности монодисперсной суспензии:

$$d_D = \frac{\sum \Delta m_i}{\sum \frac{\Delta m_i}{d_i}}. \quad (1.11)$$

Удельная площадь поверхности твердой фазы — площадь поверхности единицы массы твердой фазы (m^2/kg):

$$S = \frac{6}{\rho} \frac{\sum \frac{\Delta m_i}{d_i}}{\sum \Delta m_i}. \quad (1.12)$$

Классификация торфяных грунтов

Группа по содержанию органических веществ	Вид по генетико-фациальным и петрографическим особенностям		Подвид по составу		Разновидность по состоянию	
	Наименование	Определяющий признак	Наименование	Определяющий признак	Наименование	Определяющий признак
Органические (П > 60 %)	Торф малозольный	$P \geq 95 \%$	Волокнистый	$\Phi > 75 \%$	Сухой	$\omega_{\text{пр}} < 300 \%$
	Торф средней зольности	$95 \% > P \geq 80 \%$	Маловолокнистый	$75 \% \geq \Phi \geq 60 \%$	Маловлажный	300—600 %
	Торф высокозольный	$80 > P > 60 \%$	Не волокнистый	$\Phi < 60 \%$	Средней влажности	600—900 %
	Органо-сапрпель	$P > 60 \%$			Избыточно влажный	1200—2500 %
Органо-минеральные (10 ≤ П ≤ 60 %)	Органо-минеральный сапрпель	$60 \% \geq P > 10$	—	—	Маловлажный	$\omega_{\text{пр}} < 200 \%$
			—	—	Средней влажности	200—500 %
	Болотный мергель	$10 \% P \leq 60 \%$ $\text{CaCO}_3 > 25 \%$	—	—	Очень влажный	500—1000 %
Торфянистые грунты		$30 \% < P \leq 60 \%$	Супель	$1 \leq \omega_{\text{пл}} < 7$	Избыточно влажный	$\omega_{\text{пр}} > 1000 \%$
					Маловлажный	$\omega_{\text{пр}} < 150 \%$
					Средней влажности	150—400 %
					Очень влажный	400—900 %
					Избыточно влажный	$\omega_{\text{пр}} > 900 \%$
					Маловлажный	$\omega_{\text{пр}} < 100 \%$
					Средней влажности	100—300 %
					Очень влажный	$\omega_{\text{пр}} > 300 \%$
					A	$0,5 < B < 7,5$

Минеральные $P \leq 10\%$	Сильно загорфованные	$20\% < P \leq 30$	Суглинок	7—17	Б	0,75—1
	Загорфованный	$10\% < P \leq 20\%$	Тощая глина Жирная глина	17—27 > 27	В Г Д Е Ж	1—1,5 1,5—2 2—2,5 2,5—3 3—3,5
	Ил морской » озерный » аллювиальный	— — Комплекс фациально-генетических и петрографических характеристик $P < 10$	— — Супесь	— — $1 \leq \omega_{пл} < 7$	А Б В	$0,5 \leq B < 0,75$ 0,75—1 1—1,5
	Мокрый солончак	—	Суглинок	7—17	Г Д Е Ж	1,5—2 2—2,5 2,5—3 3—3,5
	Переувлажненный глинистый грунт	—	Глина	> 17	А Б В	$\omega_{отн} < 1$ $1 \leq \omega_{отн} < 1,5$ $1,5 \leq \omega_{отн} < 2,5$
	Иольдиевая глина	—	—	—		

Плотность твердой фазы торфа, кг/м³

Степень разложения, %	Зольность, %											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	
5	1570	1580										
10	1560	1570	1570	1580	1590	1600	1620	1640	1650	1670	1710	
15	1540	1560	1550	1560	1570	1590	1610	1620	1650	1660	1700	
20	1530	1540	1540	1550	1560	1580	1600	1610	1630	1650	1690	
25	1510	1530	1520	1530	1550	1560	1580	1590	1610	1630	1670	
30	1500	1510	1510	1520	1540	1550	1570	1590	1600	1620	1660	
35	1480	1500	1500	1510	1530	1540	1560	1560	1590	1610	1650	
40	1470	1480	1480	1490	1510	1520	1540	1560	1570	1590	1630	
45	1450	1470	1470	1480	1500	1510	1530	1550	1560	1580	1620	
50	1430	1450	1460	1470	1490	1500	1500	1540	1550	1570	1610	
55	1410	1430	1450	1460	1480	1500	1510	1530	1550	1570	1610	
60	1400	1410	1430	1450	1460	1480	1500	1510	1530	1550	1590	

Условная площадь удельной поверхности (по С.Г. Солопову) (м²/кг):

$$S_o = (1 + k_3 m_4 10^3), \quad (1.13)$$

где k_3 — эмпирический коэффициент, принимаемый равным 0,20 при $m_4=0,2—0,3$ кг; 0,15 при $m_4=0,3—0,5$ кг и 0,10 при m_4 больше 0,5 кг; m_4 — содержание фракции размером менее 4 мкм в 1 кг сухого вещества.

С увеличением степени разложения $R(\%)$ увеличивается ρ_{250} . В.Д. Копенкин рекомендует зависимость:

$$R = \exp(0.5825\rho_{250}^{0.43}). \quad (1.14)$$

Близкие результаты можно получить по упрощенной формуле

$$R = 0.178\sqrt[4]{\rho_{250}^5}. \quad (1.15)$$

1.6. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОРФА

Механические свойства торфов зависят от их структурных особенностей, определяемых степенью волокнистости, плотностью, влажностью и составом торфообразователей, косвенно отражаемым величиной конституционной зольности торфа.

Таблица 1.7

Физико-механические характеристики торфов (ВСН385-77 ММСС) P — структурная прочность, R — степень разложения

Торф по степени разложения	Влажность W , отн. ед.	Коэффициент пористости, ϵ	Характеристика торфа при $P=0-0,5$ кгс/см ²		Соротивление сдвигу ненарушенной структуры τ , кгс/см ²	Визуальная характеристика торфа
			Коэф-фициент уплотнения, a , см ² /кгс	Модуль об-щей дефор-мации E , кгс/см ²		
Сильноразложившийся $R > 45\%$	< 6	6—10	4	3,0	$> 0,12$	Растительные остатки не различимы простым глазом, вода не отжимается
Среднеразложившийся $R = 25-45\%$	< 10	10—14	10	2,5	0,16—0,10	Растительные остатки заметны, при отжатии воды.
	> 10	14—16	16	1.1	0,10—0,06	Масса продавливается, отжатая вода коричневого цвета
Слаборазложившийся $R = 5-25\%$	< 10	18—18	10	2,0	0,12—0,09	Растительные остатки ясно различимы, при отжатии воды масса
	10—20	18—20	19	1,0	0,09—0,06	почти не продавливается, отжи-
	> 20	> 20	> 19	$< 1,0$	$< 0,07$	маемая вода желтого цвета

Таблица 1.8

Химический состав и физические свойства торфа

Показатели	Типы и виды болот		
	низинные	переходные	верховые
Степень разложения, в %	30—60	40—60	25—40
Зональность, в %	8—20	13—25	7—20
Азот общий, в %	2,8—3,8	3,0—3,7	2,0—4,0
P_2O_5 , в %	0,2—0,7	0,15—0,4	0,15—0,45
K_2O , в %	0,1—0,3	0,1—0,2	0,02—0,3
CaO , в %	3,5—4,0	4,0—4,5	2,0—3,9
pH водной вытяжки	—	5,9—6,2	5,5—6,0
Объемный вес	0,17—0,27	0,14—0,23	0,11—0,17
Влагоемкость, %	360—420	460—550	640—870
			пойменные
			20—45
			5—10
			1,7—4,2
			0,15—0,35
			0,05—0,2
			0,6—2,3
			3,5—5,3
			0,11—0,16
			550—950
			ольшаниковые
			5—50
			2—5
			1,0—2,0
			0,1—0,25
			0,04—0,08
			0,30—0,48
			3,2—4,2
			0,04—0,08
			600—1200

Сопротивление сдвигу в торфе складывается из сил трения, пропорциональных нормальному давлению, сил сцепления, пропорциональных площади среза, и сил вязкого сопротивления. Если одну часть образца торфа сдвигать с некоторой скоростью относительно другой, то сила сопротивления сдвигу будет возрастать до своего максимального значения. При максимальном значении сдвигающей силы происходит нарушение части сцепления по поверхности сдвига. При дальнейшем перемещении сдвигающая сила будет падать до некоторого постоянного значения, называемого *конечным сопротивлением сдвигу*.

Разность между максимальным и конечным сопротивлением, отнесенная к единице площади поверхности среза, обусловлена прочностью структуры торфа и называется *структурным сцеплением*. После преодоления структурного сцепления и нарушения структуры верхняя часть образца движется под действием силы, равной конечному сопротивлению сдвигу, по уже готовой поверхности скольжения. Это сопротивление зависит в основном от силы трения и так называемого восстанавливающего сцепления. Коэффициент сдвига $tg \varphi$ называется отношением максимального сдвигающего напряжения τ (Па) к нормальному давлению ρ :

$$tg \varphi = \frac{\tau}{\rho}, \quad (1.16)$$

где φ — угол сдвига.

Между сопротивлением сдвигу и нормальным давлением имеется зависимость близкая к прямолинейной:

$$\tau = c + f\rho, \quad (1.17)$$

где c — сцепление, Па; f — коэффициент трения, равный $tg \varphi$.

Подставив значение τ из приведенной выше формулы, получим

$$tg \varphi = f + \frac{c}{\rho}, \quad (1.18)$$

Таблица 1.9

Коэффициент трения (f) и сцепление (c) торфяной залежи ненарушенной структуры

Влагосодержание, кг/кг	Угол трения φ , градус	f	C , кПа
2—4	24—30	0,45—0,60	30—50
4—6	18—24	0,33—0,45	20—30
6—10	15—18	0,27—0,33	20—30
10—15	5—15	0,09—0,27	10—20
15	0—5	0—0,09	4—10

Таблица 1.10

Сцепление (c) кПа и коэффициент трения (f) торфа из залежи и кускового торфа по торфу и стальной поверхностям

Трущаяся поверхность	Влажность торфа ω , %	Скорость движения, м/с							
		0,001		0,03		0,25		3,0	
		c	f	c	f	c	f	c	f
Низинный торф-сталь	80	0	0,41	1,7	0,49	1,6	0,55	2,6	0,46
Низинный торф-сталь	40	0	0,30	0	0,40	1,4	0,35	—	—
Низинный торф-торф	80	0	0,69	1,4	0,43	2,1	0,42	1,5	0,52
Верховой торф-торф	87	1,4	0,47	2,4	0,35	1,7	0,53	—	—

Таблица 1.11

Коэффициенты сдвига и скольжения различных поверхностей по торфу естественного залегания при давлении 15—50 кПа

Материал поверхности	Влажность торфа, %	Сдвиг		Скольжение	
		C , кПа	f	C , кПа	f
Сталь	64—68	2,0	0,58	5,0	0,47
	72—76	3,2	0,55	3,5	0,43
	77—80	4,0	0,53	2,5	0,40
	81—85	5,0	0,51	1,0	0,38

т.е. коэффициент сдвига уменьшается с увеличением давления, причем это уменьшение особенно велико при малых нагрузках. Для торфяной залежи ненарушенной структуры, когда сдвиг происходит при давлении уплотнения (по ДорНИИ), коэффициенты приведены в табл. 1.9. В табл. 1.10 даны сцепление и коэффициент трения для торфа из залежи и стальной поверхности при различных скоростях движения. В табл. 1.11 даны коэффициенты сдвига и скольжения различных поверхностей по торфу естественного залегания при давлении 15—50 кПа. Механическая прочность торфа характеризуется пределом прочности, т.е. условным напряжением, отвечающим наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца.

Для определения напряжений в торфе при растяжении σ (Па) Н.А. Наседкин предлагает следующую зависимость:

$$\sigma = \sigma_p \left[1 - e^{-\frac{E}{\sigma_p} e} \right], \quad (1.19)$$

где σ_p — предел прочности при растяжении, Па; E — модуль деформации при растяжении, Па; e — относительное удлинение.

Для торфов высокой степени разложения и при небольших напряжениях можно принимать:

$$\sigma = E\varepsilon. \quad (1.20)$$

Порядок величин предела прочности и модуля деформации при растяжении торфа естественной структуры приведен в табл. 1.12.

Для торфа в залежи предел прочности при растяжении зависит от направления действия силы. Анизотропия A характеризуется отношением горизонтального к вертикальному пределу прочности.

Переработка торфа, т.е. изменение дисперсности или других свойств торфа, зависит от начальной величины этих свойств и перерабатывающей способности механизма. Перерабатывающая способность механизмов характеризуется условной энергией переработки Π , т.е. энергией переработки единицы объема торфа, имеющего сопротивление сдвигу $\tau = 1$ Па.

Затраты энергии A (Дж) и мощность (Вт) в зависимости от объема переработанного торфа V (м³) и производительности Q (м³/с):

$$A = \Pi\tau V; N = \Pi\tau Q. \quad (1.21)$$

Таблица 1.12

Предел прочности σ_p и модуль деформации E при растяжении торфа

Торф	Степень разложения, %	Влажность, %	σ_p , кПа	E , кПа
Магелланикум торф	25	83—85	22—27	350—400
Низинный древесно-осоковый	40	75—80	6—100	250—400
Лесной	50	58	34	460
Пушицево-сфагновый	30	90—92	21—22	360
То же, нарушенной структуры	30	90—92	6	300—500
Пушицево-сфагновый	55	82	19	340

Таблица 1.13

Предел прочности σ_Γ (кПа) торфа при растяжении в горизонтальном направлении и анизотропия A

Глубина, м	Сфагновые топи		Грядово-мочажинный комплекс				Сосново-сфагновый фитоценоз	
	σ_Γ	A	мочажина		гряда		σ_Γ	A
			σ_Γ	A	σ_Γ	A		
0,15	5	3,7	9	3,6	6	1,7	4	1,0
0,35	5	2,1	12	2,3	8	1,1	13	0,4
0,55	9	2,0	10	2,0	6	0,9	11	0,4
0,75	—	—	—	—	6	1,0	8	0,4

Условная энергия переработки непосредственно связана с показателем главных деформаций торфа λ (по Ф.А. Опейко) соотношением:

$$P = \sqrt{2\lambda}. \quad (1.22)$$

При проектировании фрезы с угловой скоростью ω , радиусом r и производительностью Q :

$$P = \frac{\omega}{Q} rF = \frac{\omega}{Q} S, \quad (1.23)$$

где F — площадь соприкосновения с торфом; S — статический момент площади соприкосновения ротора с торфом.

Удельная (на единицу объема торфа) работа фрезерования A_{yd} (Дж/м³) равна давлению срезаемого торфа, отнесенного к площади сечения стружки. Удельная работа резания зависит от свойств материала, геометрии резца и толщины стружки. Для фрез справедлива эмпирическая зависимость:

$$A_{yd} = \frac{c}{\delta_{cp}^{0.4}}, \quad (1.24)$$

где c — эмпирический коэффициент (для шнековых ножей $c = 3,7 \cdot 10^4$); δ_{cp} — средняя толщина стружки, м.

Удельная работа на резание (Дж/м³) верхового пушицево-сфагнового торфа ($R = 25\%$, $\omega = 73\%$, $\gamma = 930$ кг/м³) шнек фрезой (К.М. Севостьянов) зависит от средней толщины стружки и скорости резания:

$$A_{yd} = \left(\frac{0.078}{\sqrt{\delta_{cp}}} + 0.2v \right) 10^5, \quad (1.25)$$

где δ_{cp} — средняя толщина стружки, м; v — скорость резания, м/с.

1.7. ТЕПЛОВЫЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОРФА

Удельная теплоемкость торфа зависит от содержания влаги и определяется по формуле:

$$c = \frac{c_T + c_B W}{1 + W} = c_T + (c_B - c_T) \frac{\omega}{100}, \quad (1.26)$$

где c_T — удельная теплоемкость сухого торфа, не зависящая от вида, степени разложения и переработки и равная $1,96 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К); c_B — удельная теплоемкость воды, равная $4,19 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К).

Коэффициент теплопроводности торфа λ , Вт/(м·К)

γ , кг/м ³	λ	γ , кг/м ³	λ
400	0,126	750	0,276
450	0,140	800	0,306
500	0,156	850	0,338
550	0,176	900	0,376
600	0,200	950	0,412
650	0,224	1000	0,451
700	0,233	1050	0,494

Коэффициент теплопроводности торфа λ , или количество теплоты, проходящей в единицу времени через единицу площади поперечного сечения торфа при единичном градиенте температуры. Для больших влажностей ($\omega > 70\%$) коэффициент λ почти не зависит от влажности и его можно определять по таблице (табл. 1.13). Или по формуле:

$$\lambda = 0.058 + 0.395 \cdot 10^{-6} \gamma^2, \text{ Вт/(м·К)}. \quad (1.27)$$

Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К), торфа при любой влажности можно определить по формуле:

$$\lambda = 0.025 + 0.395 \cdot 10^{-4} \omega + 0.395 \cdot 10^{-6} \gamma^2. \quad (1.28)$$

Коэффициент температуропроводности (м²/с) характеризует скорость выравнивания температуры в торфе. Он необходим при расчетах нестационарного движения тепла и может быть вычислен по формуле:

$$\alpha = \frac{\lambda}{c\gamma}. \quad (1.29)$$

1.8. ТЕПЛОТВОРНАЯ СПОСОБНОСТЬ, ТЕПЛОПЛОТНОСТЬ ТОРФЯНОГО ТОПЛИВА И ИХ СВЯЗЬ С ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ТОРФА

Для оценки топлива различают его рабочую (p), сухую (c), горючую (g) и органическую (o) массу. Топливо, поступающее потребителю для сжигания, называется рабочим, а масса и ее элементный состав — собственно рабочей массой и рабочим составом.

Негорючая часть топлива составляет его балласт. Кислород и азот относятся к внутреннему балласту, а зола A^p и влага ω^p — к внешнему, зависящих от топлива и вида торфа, технологии добычи и условий хранения.

Горючий состав топлива не содержит влаги и золы (балласта). Органическая масса топлива включает негорючие компоненты элементного состава (O, S).

Технологические расчеты ведутся на рабочую массу, которая рассчитывается через элементный состав топлива на горючую массу (C^G, O^G, H^G, N^G, S^G), по зольности на сухую массу A^c и влаги на рабочую массу ω^p :

- зола $A^p = A^c(100 - \omega^p)/100$
- углерод $C^p = C^G(100 - \omega^p - A^p)/100$
- водород $H^p = H^G(100 - \omega^p - A^p)/100$ (1.30)
- азот $N^p = N^G(100 - \omega^p - A^p)/100$
- кислород $O^p = O^G(100 - \omega^p - A^p)/100$
- сера $S^p = S^G(100 - \omega^p - A^p)/100$

При этом $A^p + C^p + H^p + O^p + N^p + S^p + \omega^p = 100\%$. Элементный состав топлива позволяет рассчитать теплотворную способность (теплоту сгорания) Q торфа, то есть вычислить количество тепловой энергии при полном сгорании единицы массы топлива $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$. Технологическая характеристика топлива определяется теплоплотностью Q_γ и вычисляется из уравнения:

$$Q_\gamma = Q \cdot \gamma_i, \quad (1.32)$$

где γ_i — насыпная плотность топлива, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; Q_γ измеряется в $\left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}\right)$.

Различают высшую Q_g и низшую Q_n теплоту сгорания. Под высшей теплотой сгорания на рабочее топливо Q_g^p понимается количество теплоты, выделяемое при полном сгорании единицы массы, включая теплоту водяных паров, содержащихся в продуктах сгорания. Если теплоту сгорания определяют по калориметрической бомбе, то под Q_g понимается теплота сгорания в бомбе за вычетом теплоты кислотообразования.

Зависимость теплоты сгорания от элементного состава определяется по формуле Д.И. Менделеева. Так для высшей Q_g она имеет вид:

$$Q_g^p = 339C^p + 125H^p - 109(O^p - S^p). \quad (1.33)$$

Содержание элементов берется в процентах.

В зависимости от степени разложения R_T и зольности $A^c \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right)$ теплоты сгорания будет:

$$Q_e^c = 20400 + 89.5R_T \text{ (верховой торф, } r = 0,86),$$

где r — коэффициент корреляции;

$$Q_e^c = 23000 - 230A^c \text{ (низинный торф),} \quad (1.34)$$

$$Q_e^c = 19500 - 260A^c + 65R_T \text{ (верховой торф).}$$

Среднее значение для типов торфа теплоты сгорания $\left(\frac{\text{МДж}}{\text{кг}} \right)$ составляет: низинный и переходный — 23,3; верховой — 22,5.

Торф, содержащий большое количество битумов, гуминовых кислот и негидролизованного остатка, имеет более высокую теплоту сгорания. Следовательно, Q_e зависит от элементного состава торфа, степени разложения, зольности, содержания битумов, гуминовых кислот и негидролизованного остатка, то есть от генетических свойств, не поддающихся регулированию при добыче и переработке торфа. Причем углерод является основным горючим элементом и составляет 50—60 % от органической массы торфа с теплотой сгорания $Q_c = 34\,000 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$; водород, входящий в состав углеводородов топлива, второй по значению горючий элемент, составляет 4,5—6,5 % от органической массы при $Q_H = 27\,800 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$; сера — вредный компонент топлива. В торфе ее содержание 0,1—0,5 % на органическую массу (в пределе ≤ 1 %) при $Q_S = 9300 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$; кислород и азот топлива в горении не участвуют. За счет связывания кислородом частиц водорода уменьшается теплота сгорания топлива. Азот выделяется в газообразном состоянии.

Управлять тепловыми свойствами торфа можно только низшей теплотой сгорания Q_n и теплоплотностью $Q\gamma$.

Низшая теплота сгорания Q_n — теплота сгорания, получаемая в топке при сжигании рабочего топлива, которое меньше Q на величину тепловыделения при конденсации паров воды. Так, при сгорании одной части водорода образуется девять частей воды, которые складываются из количества воды, находящейся в топливе $\frac{\omega}{100}$, и той воды, которая образуется при сжигании водородного топлива. Удельную теплоту конденсации водяного

пара принимают равной $2500 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ или в расчете на 1 % образовавшейся воды $25 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$. Тогда $Q_n \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right)$ на рабочее топливо находится из уравнения:

$$Q_n^p = Q_g^p - 25(9H^p + \omega^p), \quad (1.35)$$

где H^p — содержание водорода в навеске рабочего топлива. Разновидности воды рассчитываются по известному содержанию водорода в горючей навеске (H^f). Низшая теплота сгорания сухой навески Q_n^c и горючего Q_n^f вещества определяются из уравнений:

$$\begin{aligned} Q_n^c &= Q_g^c - 255H^f, \\ Q_n^f &= Q_g^f - 255H^f. \end{aligned} \quad (1.36)$$

Подставим в формулу (1.5) в (1.2) и получим, что:

$$Q_\gamma^p = Q_n^p \cdot \gamma_i = [Q_g^p - 25(9H^p + \omega^p)] \gamma_i \quad (1.37)$$

зависит от Q_n^p и насыпной плотности γ_i торфа, которая связана с плотностью его сухой части γ_c и влагосодержанием W_i рабочего топлива. Причем

$$\gamma_i = \gamma_c (1 + W_i), \quad (1.38)$$

$$W = \frac{\omega}{100 - \omega}, \quad \omega = \frac{W}{1 + W} 100\%. \quad (1.39)$$

Поставим формулы (1.9) в (1.8), а затем в (1.7) и покажем, что

$$Q_\gamma^p = Q_n^p \cdot \gamma_c \cdot \left(1 + \frac{\omega}{100 - \omega} \right) \quad (1.40)$$

зависит от основных структурообразующих $\gamma_c \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)$, $\omega(\%)$, $W \left(\frac{\text{кг}}{\text{кг}} \right)$ [20]

и тепловых Q_n^p факторов.

Приближенная зависимость (по Коваленко Ф.Н.) между $A^c(\%)$ и $R_T(\%)$:

- для залежи верхового типа

$$A^c = 1.5 + 0.07 R_T, \quad (1.41)$$

- для залежи низинного типа

$$A^c = 3.0 + 0.2 R_T, \quad (1.42)$$

2. СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ КОЛЛОИДНЫХ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ ТОРФЯНЫХ ТЕЛ ПРИ СУШКЕ

2.1. ИЕРАРХИЯ СТРУКТУРЫ ТОРФЯНЫХ СИСТЕМ В ГЕОТЕХНОЛОГИИ

Торф представляет собой сложную переувлажненную полидисперсную систему с различными формами и энергией связи влаги с твердой фазой, отражающими его природные свойства. Это приводит к тому, что торф может вести себя при обезвоживании как гетерогенная коллоидно-дисперсная система и одновременно проявлять реологические качества, свойственные высокомолекулярным соединениям. Структурной единицей таких систем принято считать, проницаемые для молекул воды, ионов агрегаты-ассоциаты макромолекул сосуществующих компонентов.

При сушке торфа влагосодержание меняется от максимального 82—89 % до практически равновесного 12—20 %, когда подвижность молекул из-за высокой энергии связи влаги с твердой фазой резко уменьшается. Перенос влаги меняется от капиллярно-пленочного к диффузии пара. При этом система переходит в зависимости от влагосодержания W (кг влаги/кг сухого вещества) или влажности ω (кг влаги/кг торфа) из текучего состояния (состояние гидромассы, область «а») в пластичное (торф-сырец, область «в»), полутвердое (область «с») и твердое (область «д») с соответствующими параметрами структуры, определяющими реологические (η_0 — пластическая вязкость; Θ — предельное напряжение сдвига) и прочностные R характеристики материала (η_0 , Θ , $Rf(W)$), или в зависимости

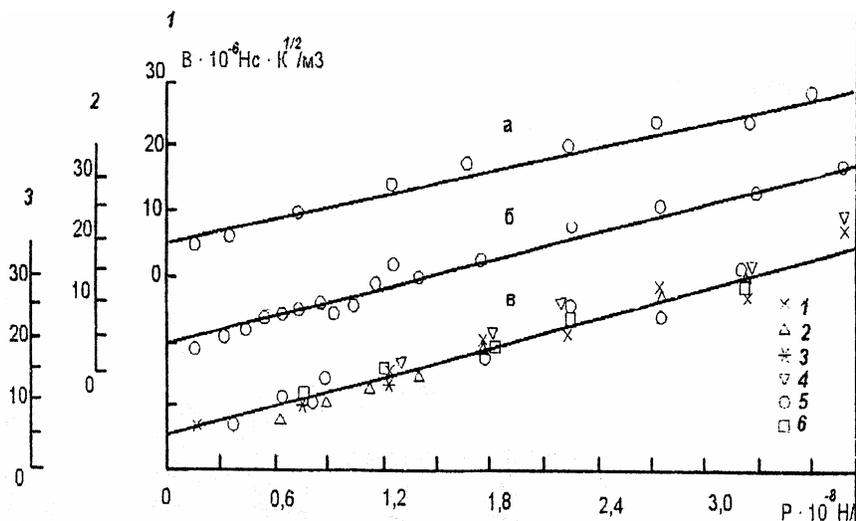


Рис. 2.1. Зависимость предельного напряжения сдвига $\ln\Theta$ от влагосодержания W , кг/кг (Θ в Г/см^2) торфа:

a — эксперимент: 1 — комплексный верховой ($R_T=10\%$); 2 — медиум-торф ($R_T=20\%$); 3 — шейхцериевый верховой ($R_T=40\%$); 4 — сосново-пушицевый ($R_T=60\%$); 5 — сосново-пушицевый ($R_T=75\%$); *в* — схема зависимости $\ln\Theta_i=f(W)$: *a, в, с, d* — области состояния структуры торфа

от содержания сухого вещества q (кг сухого вещества/кг торфа) ($\eta_0, \Theta, Rf(q)$). Значения W и q связаны соотношениями: $q=1-\omega$, $W=\frac{\omega}{1-\omega}$,

$\omega=\frac{W}{1+W}$, $W=\frac{1-q}{q}$, где ω, W, q в долях единицы или процентах (рис. 2.1).

Рассмотренные обстоятельства позволяют сделать вывод о возможной прогнозной оценке физико-механических свойств материалов и продуктов их переработки на основе первичной частицы.

2.2. ОЦЕНКА ПЕРВИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СТРУКТУРЫ С ПОЗИЦИИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ ТОРФЯНЫХ ТЕЛ

На сегодняшний день насчитывается уже более 10 млн синтезированных абиотических органических соединений, что дает возможность конструировать неограниченное число надмолекулярных наноразмерных структур и различных функциональных систем на их основе.

Для органических наноструктур при одном и том же составе возможно построение материала с различной пространственной архитектурой и соответствующими характерными свойствами. Стратегия построения наноразмерных систем из органических молекул и создания на их основе материалов имеет ряд достоинств по сравнению со стратегией построения систем из неорганических материалов.

Торф представляет собой сложную переувлаженную гетерогенную, полидисперсную систему с различными формами и энергией связи влаги с твердой фазой. Торф при обезвоживании представляет собой гетерогенную коллоидно-дисперсную систему и одновременно проявляет реологические качества, свойственные высокомолекулярным соединениям. При этом в зависимости от влагосодержания система переходит из текучего состояния в пластичное, полутвердое и твердое.

Каждому из периодов структурообразования соответствуют соответствующие характеристики структуры, различающиеся видом взаимодействия, количеством взаимодействий и дефектами в организации структуры, проявляющимися с тем большей вероятностью, чем больше размер элементов структуры. Определение первичного размера таких частиц, отражающих разновидности торфяных систем, непроницаемых для молекул воды, газа, ионов раствора. Задавая характеристику структуры с учетом вероятности взаимодействия между частицами или наличия дефектов структуры макротела, можно оценить возможное значение предельного напряжения сдвига или прочности, которые будут тем больше, чем меньше размер частиц и выше их однородность. Это обстоятельство имеет большое значение при управлении качеством продукции и соответствующей иерархии структуры, определяющей рейтинг материала: чем ниже последний, тем выше будут физико-механические характеристики продукции из торфа. Под рейтингом понимается способ достижения обобщающих характеристик макротела и отражающие его физико-механические и химические свойства.

Для изготовления плотной, прочной и устойчивой к внешним воздействиям продукции необходимо получить однородную по своим характеристикам структуру, то есть понизить рейтинг материала и перевести его из полидисперсного состояния в однородное за счет механического, физико-химического или других способов воздействия. Оценка эффективного размера d_i первичной структуры выполняется из условия плотной ρ упаковки твердой фазы торфа:

$$d = \sqrt[3]{\frac{v_{\mu}}{N_A}} = \sqrt[3]{\frac{\mu}{\rho N_A}} = \sqrt[3]{\frac{\omega \mu}{N_A}}, \quad (2.1)$$