

Б.М. Александров, А.Г. Шампаров

ВЗАИМОСВЯЗЬ ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИХ И ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОРФА В УСЛОВИЯХ ЕСТЕСТВЕННОГО ЗАЛЕГАНИЯ

Проведено обобщение общетехнических и физических свойств торфа с учетом долевого содержания его компонентов. Получено комплексное уравнение, которое увязывает общетехнические свойства с плотностью твердой фазы в условиях естественного залегания торфа. Получены уравнения связи содержания твердой фазы и степени разложения торфа. Выполнен анализ влияния влажности на долевое содержание твердой фазы по объему для торфа в условиях естественного залегания при фиксированном значении степени разложения. На основании проведенных исследований рекомендуются к использованию уравнения связи относительной влажности с содержанием твердой фазы торфа в условиях естественного залегания.

Ключевые слова: торф, общетехнические и физические свойства.

Введение

Запасы торфа в России составляют около 235 млрд т, или 37,2% от мировых [2, 3], причем их изученность отличается существенной неоднородностью и в целом коррелируется со степенью хозяйственного освоения региона.

Торф представляет собой молодую горную породу класса каустобиолитов, содержащую не более 50% минеральных веществ, образовавшуюся в результате отмирания и неполного распада болотных растений в условиях повышенной влажности при недостатке кислорода. В естественном залегании (*in situ*) торф является полидисперсной системой, состоящей из трех фаз – твердой (минералы, остатки растений), жидкой (водные растворы) и газообразной.

Сложный фазовый и химический состав торфа определяет многообразие его свойств и параметров – физических, химических, реологических, ботанических и т.д., причем до сих пор окончательно не определена их единая классификация.

В настоящей статье общетехническими свойствами торфа принимаются степень разложения и зольность торфа, поскольку именно они определяют направление использования торфяного сырья при его последующем технологическом переделе. Из многообразия физических свойств торфа будем рассматривать плотность торфа в естественном залегании, плотность твердой фазы и влажность.

Расчетно-табличные способы определения физических свойств торфа *in situ*, основанные на использовании эмпирических таблиц С.А. Сидякина [1] и таблиц Гипроторфразведки [2], остаются неизменными с 30-х гг. прошлого века. В связи с внедрением геоинформационных систем встает вопрос о применении инструментальных методов дистанционного зондирования, формализованных алгоритмов и расчетных формул для количественного определения физических параметров торфа, как полезного ископаемого.

Таблица 1

Генетическая классификация видов торфа совмещенная с промышленной классификацией категорий торфяного сырья

Подтип	Группа	Вид	Категория торфяного сырья	
Тип торфа низинный				
Лесной	Древесная	Ольховый	Н-3-(2-3)	
		Березовый	Н-3-(1-2)	
		Еловый	Н-(2-3)-3	
		Сосновый низинный	Н-(2-3)-4	
		Ивовый	Н-(2-3)-(5-6)	
Лесо-топяной	Древесно-травяная	Древесно-осоковый	Н-(2-3)-2	
		Древесно-тростниковый	Н-(2-3)-(2-3)	
		Древесно-хвошевый	Н-(2-3)-(2-3)	
	Древесно-моховая	Древесно- гипновый	Н-(2-3)-(2-3)	
		Древесно-сфагнофый низинный	Н-(2-3)-(2-3)	
Топяной	Травяная	Хвошевый	Н-(2-3)-2	
		Тростниковый	Н-(2-3)-2	
		Тростниково-осоковый	Н-(2-3)-2	
		Вахтовый	Н-(2-3)-2	
		Осоковый	Н-(2-3)-2	
		Шейхцериевый низ.	Н-(2-3)-2	
	Травяно-моховая	Осоково-гипновый	Н-(1-2)-(1-2)	
		Осоково-сфагновый	Н-(1-2)-(1-2)	
	Моховая	Гипновый низинный	Н-(1-2)-(1-2)	
		Сфагновый низинный	Н-(1-2)-(1-2)	
	Тип торфа переходный			
	Лесной	Древесная	Древесный переходный	П-3-(1-2)
Лесо-топяной	Древесно-травяная	Древесно-осоковый переходный	П-(2-3)-(1-2)	
	Древесно-моховая	Древесно-сфагновый переходный	П-(2-3)-(1-2)	
Топяной	Травяная	Шейхцериевый пер.	П-(2-3)-(1-2)	
		Осоковый переходный	П-(2-3)-(1-2)	
	Травяно-моховая	Осоково-сфагновый переходный	П-(1-2)-(1-2)	
	Моховая	Гипновый переходный	П-(1-2)-(1-2)	
		Сфагновый переходный	П-(1-2)-(1-2)	
Тип торфа верховой				
Лесной	Древесная	Сосново-кустарничковый	В-3-1	
Лесо-топяной	Древесно-травяная	Сосново-пушицевый	В-3-(1-2)	
	Древесно-моховая	Сосно-сфагновый	В-(2-3)-3	
Топяной	Травяная	Пушицевый	В-(2-3)-2	
		Шейхцериевый	В-(2-3)-1	
	Травяно-моховая	Пушицево-сфагновый	В-2-(1-2)	
		Шейхцериево-сфагнов.	В-2-(1-2)	
	Моховая	Фускум торф	В-2-(1-2)	
		Ангустифолиум торф	В-2-(1-2)	
		Магелланикум торф	В-1-(1-2)	
		Комплексный верховой	В-(0-1)-1	
		Сфагновый мочажинный	В-0-1	

Классификация и некоторые общетехнические и физические свойства торфа и торфяного сырья

В табл. 1 приведена генетическая классификация видов торфа, совмещенная с кодировкой категорий торфяного сырья. В качестве массива исходных данных для анализа общетехнических и физических свойств использовались справочники по торфяным месторождениям, материалы изучения торфяных месторождений института «Уралгипроторф», опубликованные данные [1–6], в том числе данные авторов настоящей статьи [5].

Усредненные показатели свойств генетических типов торфа приводятся в работе [5]. На рис. 1, 2 в графической форме представлены некоторые из этих свойств, которые возможно определять дистанционно физическими методами в условиях естественного залегания.

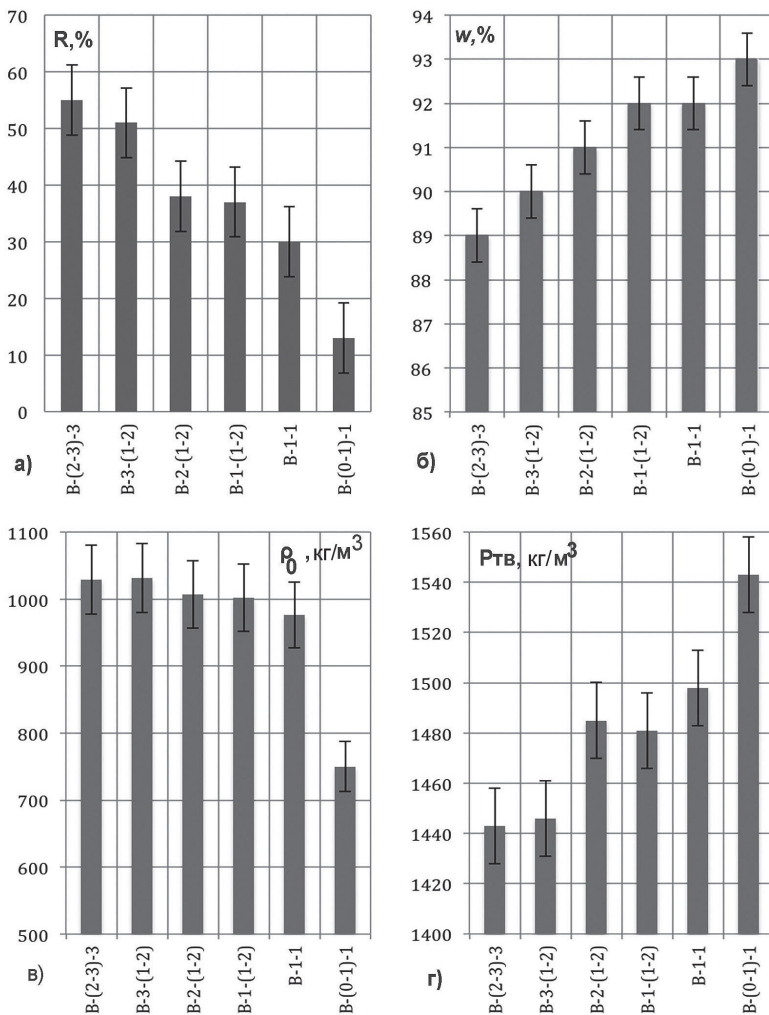


Рис. 1. Степень разложения R , % (а), влажность w , % (б), плотность ρ_0 , кг/м³ (в) и плотность твердой фазы $P_{тв}$, кг/м³ (г) для торфяного сырья различных категорий по табл. 1

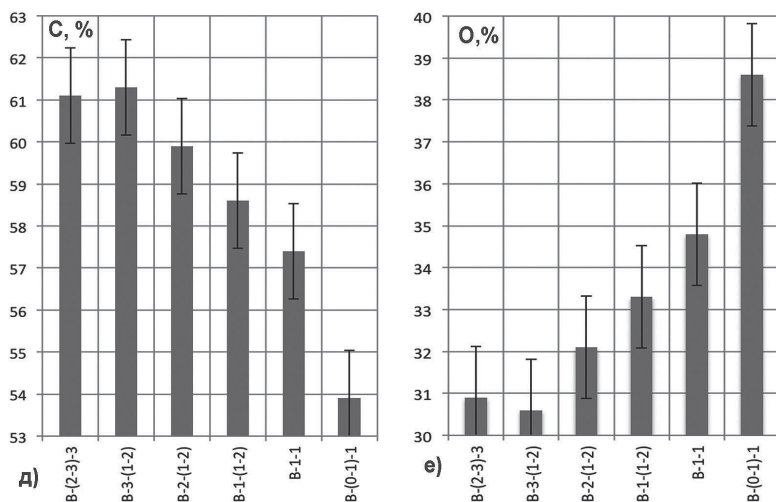


Рис. 2. Содержание углерода С, % (д) и кислорода О, % (е) для торфяного сырья различных категорий по табл. 1

Из представленных параметров информативными и в то же время поддающимися инструментальным измерениям общеизвестными ядернофизическими методами (селективный гамма-метод в двухзондовом варианте, нейтрон-нейтронный и нейтрон-гамма методы) являются влажность, плотность, зольность, содержание углерода и кислорода. Задача определения зольности и плотности применительно к ископаемым углям впервые решена В.И. Уткиным (1965). Близость химического состава углей и твердой фазы торфа создает предпосылки для решения данной задачи и для торфяной залежи.

На рис. 1 приведены зависимости общетехнических (степень разложения) и физических (влажность, плотность, плотность твердой фазы) торфа от его категории по табл. 1.

Рис. 2 демонстрирует поведение содержания углерода и кислорода в торфе в зависимости от его категории по табл. 1. Нейтронные методы определения содержания кислорода и углерода в горных породах в естественном залегании предложены Е.М. Кадисовым (1971) и далее развиты В.Г. Черменским (2007). Влажность торфяной залежи может быть определена как нейтронными так и электромагнитными методами.

Учитывая монотонный характер всех приведенных зависимостей от категории торфяного сырья, имеется возможность расчетным методом по данным инструментальных измерений определять такие параметры, как степень разложения и плотность твердой фазы торфяной залежи.

Анализ взаимосвязи общетехнических и физических свойств торфа

Анализ данных физических свойств торфов различных видов привел к эмпирическому уравнению связи общетехнических свойств торфа – степени разложения R и зольности A с плотностью его твердой фазы $P_{\text{ТВ}}$ следующего вида:

$$P_{\text{ТВ}} = \frac{556 - R}{0,357 - 1,47 \cdot 10^{-3} \cdot A - 0,38 \cdot 10^{-5} A \cdot R} \quad \text{кг/м}^3, \quad (1)$$

где R – степень разложения, %; A – зольность, %.

Плотность торфа in situ ρ_0 рассчитывается по формуле:

$$\rho_0 = C_{\text{ТВ}} \cdot \frac{1}{100 - w} \cdot P_{\text{ТВ}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{ТВ}}$ – объемное содержание твердой фазы в торфе в %; w – естественная влажность торфа в залежи, %.

Эмпирическая зависимость долевого содержания твердой фазы торфа $C_{\text{ТВ}}$ от его влажности w в диапазоне ее изменения (5–60%) полученная с помощью программной среды Curve Expert [6] имеет вид:

$$C_{\text{ТВ}} = ae^{-bw^c}, \quad (3)$$

где a, b, c – коэффициенты, значения которых приведены в табл. 2.

Несмотря на высокое значение коэффициента детерминации ($D > 0,9$) по мере возрастания влажности торфа относительная ошибка S приближения возрастает. Этот факт объясняется тем, что при переходе из трехфазной системы (твердая фаза + вода + газ) в двухфазную систему (твердая фаза + вода), когда содержание газовой фазы стремится к нулю, меняется закономерность содержания твердой фазы торфа, т.к. меняется модель структуры торфа в условиях переувлажненного и водонасыщенного его состояния, что и подтверждается представленной на рис. 3 и в табл. 3 зависимостью плотности торфа ρ_0 от его влажности в диапазоне от 80% до 98% при фиксированных значениях степени разложения R в диапазоне от 5% до 60%.

Согласно рис. 3 на графике и в табл. 3 четко прослеживается граница фазового перехода торфяной системы из трехфазного состояния в двухфазное, т.к. меняется закономерность увеличения плотности торфа с увеличением

Таблица 2

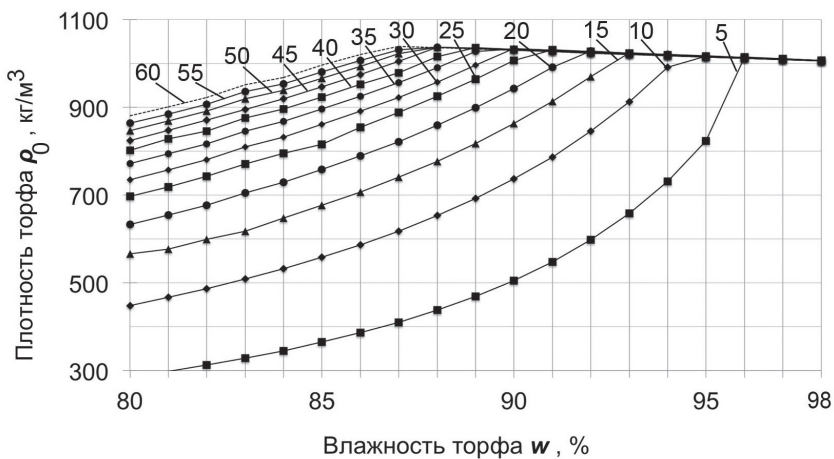
Значения коэффициентов a, b, c уравнения (3) для различной степени разложения торфа в естественном залегании

Степень разложения торфа, %	Коэффициенты уравнения			Коэффициент детерминации	Относительная ошибка
	a	b	c		
R				D	S
5	5,67922	0,052130	0,47727	0,98707	0,11351
10	7,75117	0,000110	1,79402	0,99919	0,06244
15	10,07996	0,000072	1,9024	0,99943	0,07555
20	12,07973	0,000078	1,90458	0,99936	0,10015
25	13,7479	0,000090	1,86917	0,99935	0,11944
30	15,2895	0,000140	1,7882	0,99927	0,14002
35	16,0824	0,000089	1,8704	0,99928	0,15321
40	34,95473	0,165220	0,41493	0,99906	0,18755
45	31,52278	0,142290	0,40379	0,99924	0,17947
50	36,00028	0,183330	0,3693	0,99930	0,18106
60	39,53567	0,212650	0,33421	0,99903	0,23489

Таблица 3

Зависимость плотности низинного торфа от влажности и степени разложения

Влаж- ность w , %	Степень разложения R , %											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
80	285	448	566	633	697	735	772	802	824	847	864	881
81	298	467	577	654	719	757	794	828	848	869	885	901
82	312	486	599	677	743	781	817	846	871	891	907	923
83	328	509	618	705	771	810	846	876	895	920	936	952
84	345	532	648	729	795	832	868	896	920	939	954	968
85	365	558	677	758	816	861	896	924	947	966	981	996
86	386	586	707	789	855	891	925	953	975	993	1007	1021
87	410	618	741	822	889	923	957	979	1005	1023	1031	1039
88	438	653	777	859	925	958	991	1016	1037	1037	1037	1036
89	469	692	818	899	964	996	1027	1036	1035	1034	1034	1033
90	505	737	863	943	1007	1034	1033	1032	1032	1031	1030	1030
91	548	787	914	992	1031	1030	1030	1029	1028	1028	1027	1027
92	598	846	970	1028	1027	1027	1026	1026	1025	1025	1024	1024
93	658	913	1025	1024	1024	1023	1023	1023	1022	1022	1021	1021
94	731	992	1021	1021	1020	1020	1020	1019	1019	1018	1018	1018
95	823	1017	1018	1017	1017	1017	1016	1016	1016	1015	1015	1015
96	1015	1014	1014	1014	1014	1013	1013	1013	1012	1012	1012	1012
97	1011	1011	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1009	1009	1009	1009
98	1007	1007	1007	1007	1007	1007	1006	1006	1006	1006	1006	1006

**Рис. 3. Графики зависимости плотности торфа ρ_0 в естественном залегании. Шифр кривых – степень разложения торфа R в процентах**

влажности для трехфазного состояния до границы фазового перехода. с которой зависимость становится обратной, при которой с увеличением влажности плотность торфа уменьшается до предела, когда влажность стремится к 100% плотность системы стремится к плотности воды.

Заключение

Выполненные исследования общетехнических и физических свойств торфа позволяют создать алгоритм формализованной обработки материалов детальной разведки торфяных месторождений и в дальнейшем вести селективную добычу торфа с учетом стратиграфического строения торфяной залежи для его многоцелевого использования. При этом отпадает необходимость использования таблиц определения плотности торфа в залежи С.А. Сидякина и громоздких таблиц Гипроторфразведки для определения выхода воздушно-сухого торфа 40% условной влажности, без которых нельзя было обойтись по ранее существовавшей традиционной методике подсчета запасов торфа на месторождении.

Уравнения (1) и (2) позволяют рассчитывать плотность торфа в условиях естественного залегания без использования вышеперечисленных таблиц и создать алгоритм подсчета запасов, отвечающий современным требованиям стандартов CRIRSCO.

Дополнительно отметим, что уравнения (1) – (3) открывают возможность дистанционного экспрессного определения степени разложения торфа в залежи физическими методами путем измерения его плотности и влажности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сидякин С.А. Организация учета кускового торфа. – М.-Л.: ГОНТИ. Ред. горно-топл. лит., 1935. – 168 с.
2. Смирнов В.И., Васильев А.Н., Афанасьев А.Е., Болтушкин А.Н. Практическое руководство по организации добычи фрезерного торфа: учебное пособие / Под ред. В.И. Смирнова. 1-е изд. – Тверь: ТГТУ, 2002. – 392 с.
3. Справочник по торфу / Под ред. А.В. Лазарева, С.С. Корчунова. – М.: Недра, 1982. – 760 с.
4. Александров Б.М. Торф как сырье для комплексной переработки // Горный журнал. – 1992. – № 9. – С. 35–44.
5. Александров Б.М., Вашакидзе Д.Г., Шампаров А.Г. Новый методический подход при подсчете запасов разрабатываемых торфяных месторождений // Горный журнал. – 2012. – № 3. – С. 19–255.
6. Лиштвак И.И., Король Н.Т. Основные свойства торфа и методы их определения. – Минск: Наука и техника. – 1975. – 320 с.
7. CurveExpert Professional software. <http://www.curveexpert.net>. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Александров Борис Михайлович – доктор технических наук, профессор, Уральский государственный горный университет, e-mail: office@ursmu.ru,
Шампаров Аркадий Геннадьевич – кандидат геолого-минералогических наук, ООО «Институт местных видов топлива – Уралгипроторф», e-mail: giprotorf@mail.ru.

THE RELATIONSHIP OF GENERAL TECHNICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF PEAT IN NATURAL CONDITIONS

Alexandrov B.M., Doctor of Technical Sciences, Professor, Ural State Mining University, e-mail: office@ursmu.ru

Shamparov A.G., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Institute of Local Fuel Types – Uralgiprotorf, e-mail: giprotorf@mail.ru.

Summarizes the general technical and physical properties of peat, taking into account the equity content of its components. Received a complex equation that links general technical properties with a density of the solid phase in terms of natural occurrence of peat. Also analyzed the effect of humidity on equity solids content by volume of peat in a natural occurrence for a fixed degree of decomposition. On the basis of studies are recommended to use the constraint equation relative humidity c solids content of peat in terms of natural occurrence.

Key words: peat, general technical and physical properties.

REFERENCES

1. Sidjakin S.A. *Organizacija ucheta kuskovogo torfa* (Lump peat stock-taking), Moscow-Leningrad, GONTI. Red. gorno-topl. lit., 1935, 168 p.
2. Smirnov V.I., Vasil'ev A.N., Afanas'ev A.E., Boltushkin A.N. *Prakticheskoe rukovodstvo po organizacii dobychi frezernogo torfa: uchebnoe posobie*, Pod red. V.I. Smirnova (Practical guide on milled peat production: Educational aid, Smirnov V.I. (Ed.), 1st edition, Tver, TGTU, 2002, 392 p.
3. *Spravochnik po torfu*, Pod red. A.V. Lazareva, S.S. Korchunova (Peat reference book, Lazarev A.V., Korchunov S.S. (Eds.), Moscow, Nedra, 1982, 760 p.
4. Aleksandrov B.M. *Gornyj zhurnal*, 1992, no 9, pp. 35–44.
5. Aleksandrov B.M., Vashakidze D.G., Shamparov A.G. *Gornyj zhurnal*, 2012, no 3, pp. 19–255.
6. Lishtvan I.I., Korol' N.T. *Osnovnye svojstva torfa i metody ih opredelenija* (Basic peat properties and their estimation methods), Minsk, Nauka i tehnika, 1975, 320 p.
7. CurveExpert Professional software. <http://www.curveexpert.net>.



РУКОПИСИ,
ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

ПЕРСПЕКТИВЫ КЛАСТЕРНОЙ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ ТОРФЯНОЙ ОТРАСЛИ: РЕГИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ

(1010/06-14 от 17.02.14, 3 с.)

Яконовская Т.Б. – кандидат экономических наук, e-mail: tby81@yandex.ru,

Жигульская А.И. – кандидат технических наук, e-mail: 9051963@gmail.com,

Романова Л.В. – кандидат экономических наук, e-mail: 348164@mail.ru,

Оганесян А.С.,

Тверской государственный технический университет.

PROSPECTS OF THE CLUSTER MODEL OF DEVELOPMENT OF PEAT INDUSTRY: REGIONAL ASPECT

Yakonovskaya T.B., Zhigulskaya A.I., Romanova L.V., Oganessian A.S.