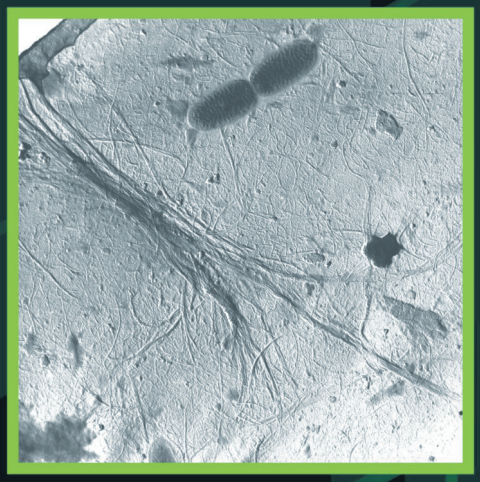
ISSN 2224-1523

Научный журнал
Восточно-Европейского института торфяного дела
Тверского государственного технического университета

ИНСТОРФ

№6 (59) 2012

ТРУДЫ ИНСТОРФА



Министерство образования и науки РФ

Восточно-Европейский институт торфяного дела
Тверского государственного технического университета

ТРУДЫ ИНСТОРФА

Научный журнал

Издается с апреля 1922 года
Выходит два раза в год

№ 6 (59)
Июль–декабрь 2012 г.

Тверь 2012

УДК 622.331(05)
ББК 26.343.4я5

Труды Инсторфа: научный журнал. № 6 (59) (июль–декабрь 2012 г.). Тверь: ТвГТУ, 2013. 50 с.

Учредитель и издатель: Тверской государственный технический университет

Главный редактор проф., д. т. н. Б.В. Палюх
Научный редактор акад., д. т. н. И.И. Лиштван

Редакционный совет:
проф., д. т. н. А.Е. Афанасьев; проф., д. т. н. А.Н. Васильев; проф., д. т. н. Н.И. Гамаюнов; проф., д. т. н. В.И. Горячев; проф., д. т. н. Н.В. Гревцев; чл.-корр. РАСХН, д. с-х. н. Л.И. Инишева; проф., д. т. н. Б.Ф. Зюзин (*зам. научного редактора)*; проф., д. т. н. Н.В. Кислов; проф., д. т. н. А.В. Кондратьев; проф., д. т. н. В.И. Косов; проф., д. т. н. В.П. Круглов; д. б. н. О.Л. Кузнецов; проф., д. б. н. Е.Д. Лапшина; проф., д. т. н. А.М. Лукьянчиков; проф., д. т. н. Б.И. Масленников; проф., д. т. н. А.В. Михайлов; проф., д. т. н. В.А. Миронов; проф., д. т. н. В.Г. Селеннов; проф., д. т. н. В.Ф. Синицин; д. б. н. А.А. Сирин; проф., д. х. н. Э.М. Сульман; проф., д. ф-м. н. А.В. Твардовский, д. б. н. Т.К. Юрковская

Редакционная коллегия:
проф., д. т. н. С.Н. Гамаюнов;
проф., д. т. н. Ю.Н. Женихов;
доц., д. т. н. О.С. Мисников;
доц., д. г. н. В.В. Панов (*зам. главного редактора*);
проф., д. т. н. В.И. Суворов;
доц., д. т. н. К.В. Фомин.

Секретарь редакционной коллегии
к. т. н. А.Е. Тимофеев
Технический редактор к. т. н. В.В. Кузовлев
Свидетельство о регистрации
Эл № ФС 77-41964 выдано 9.09.2010 г.
Федеральной службой Роскомнадзор

Редактор О.В. Чеховская
Корректор Т.С. Самборская
Технический редактор А.Ю. Соколова

Подписано в печать 27.06.12
Формат 60×84 1/8. Усл. печ. л. 7,25.
ООО «Издательство «Триада»
170034, г. Тверь, пр. Чайковского, д. 98, оф. 504

ISSN 2224-1523

© Тверской государственный технический университет, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

Панов В.В., Женихов Ю.Н.

Результаты предварительного обследования озерного сапропеля торфяных месторождений Переславского района Ярославской области 3

Марков В.И.

Периоды развития торфяной промышленности России 10

Гамаюнов Н.И., Гамаюнов С.Н.

Современные аспекты физики торфа..... 22

Суворов В.И.

Механохимия торфа..... 36

Торопчин М.А.

Определение гидротехнических условий проектирования очистных сооружений на болотах 41

Копенкина Л.В.

Первая электростанция на торфе (к 100-летию создания)..... 46

УДК 551.312

Панов В.В.

Панов Владимир Владимирович, д. г. н., доцент, зав. кафедрой геологии, переработки торфа и сапропеля ФГБОУ «Тверской государственный технический университет». Тверь, Академическая, 12.
vvpanov61@gmail.com

Женихов Ю.Н.

Женихов Юрий Николаевич, д. т. н., проф., зав. кафедрой природообустройства и экологии ФГБОУ «Тверской государственный технический университет». Тверь, Академическая, 12.
jenixov2@mail.ru

Panov V.V.

Panov Vladimir V., D. Sc., Associate Professor, Head. Department of Geology and processing of peat and sapropel FGBU VPO «Tver State Technical University». Tver, Academicheskaya, 12.

Jenichov Y.N.

Jenichov Yuri N. Prof., Head. Department of Environmental Engineering and Ecology FGBU VPO «Tver State Technical University». Tver, Academic, 12.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ОЗЕРНОГО САПРОПЕЛЯ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЕРЕСЛАВСКОГО РАЙОНА ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. Обследование озерного сапропеля показало разнообразие строения залежей озерного сапропеля торфяных месторождений в относительно однородных условиях. Парагенетические системы озер и болот имеют сложный характер развития на протяжении голоцена, который трудно диагностировать по озерам-аналогам. Основу залежей составляют органический и органоминеральный классы сапропеля. Озера имеют первичное происхождение. Предположительно, определяющее влияние на их развитие оказывает изменение гидрогеологических условий в голоцене.

Ключевые слова: сапропель, торф, месторождения, генезис

PRELIMINARY RESULTS SURVEY LAKE SAPROPEL PEAT DEPOSITS PERESLAVSKI REGION YAROSLAVL OBLAST

Abstract. The survey showed the diversity of lake sapropel structure of lake sapropel deposits of peat deposits in relatively similar conditions. Paragenetic system of lakes and wetlands are complex development throughout the holocene, and that is difficult to diagnose on the lakes counterparts. The basis of the deposits of organic and organo-classes sapropel. The lakes are of primary origin, presumably, that their development has a decisive influence change in the hydrogeological conditions of the holocene.

Keywords: sapropel, peat deposits, genesis

Месторождения озерного сапропеля в России активно и целенаправленно исследуются на протяжении последних 100 лет. В основном это касается отложений сапропеля в озерах, имеющих голоценовый возраст и залегающих в котловинах сложенных минеральными отложениями. В меньшей степени исследованы отложения сапропеля, имеющие вторичное происхождение на торфяных болотах, которые возникают в результате торфонакопления.

Особый интерес имеют отложения сапропеля, сформированные в результате развития парагенетических озерно-болотных комплексов. Отличием таких образований является наиболее сложный генезис сапропелевой залежи. В некоторых случаях наблюдается заболачивание озер, что отражается в смене озерного сапропеля торфяными отложениями. В другом случае торфяные и сапропелевые отложения формируются параллельно. Интересны комплексные месторождения торфа и сапропеля, в которых факторы, вызывающие изменения их эволюции, влияют на них неодинаково.

Наиболее важным фактором в этом случае являются гидрогеологические условия района. Их изменение на протяжении голоцена сказывается на форме озерной впадины, ионном и твердом стоках, интенсивности и направленности склоновых процессов, формировании системы поверхностного стока и др. Эти факторы в настоящее время слабо учитываются в анализе генезиса сапропелевых залежей. Преимущество в изучении генезиса отложений отдается химическому составу горных пород и не учитываются современные (голоценовые) динамические процессы изменения рельефа ландшафта.

Традиционно используемый при оценке сапропелевых отложений метод аналогов, когда по внешним признакам самого озера прогнозируются его отложения, имеет значительные ограничения. В настоящей работе сделана попытка на примере отдельных озерно-болотных комплексов в Переславском районе Ярославской области показать, насколько отлично может быть строение отложений сапропеля, формирующегося в относительно близких внешних условиях.

Выбраны три месторождения небольшой площади, расположенных в нескольких километрах друг от друга [1].

Торфяное месторождение Ямское-1 расположено в 5 км на Ю-З от г. Переславль-Залесский, в 9 км на Ю-З от ж.д. станции Переславль; в 1 км на В от с. Пожарское; в 0,5 км на С-В от с. Борисово; в 1,3 км на С от с. Потанино. На рис. 1 показано расположение месторождения.

Торфяное месторождение расположено в озерной котловине на месте заросшего озера (рис. 1). Частично ускорение зарастания озера произошло под влиянием осушения за последние десятилетия.

Болото имеет естественную гидравлическую связь с небольшими выработанными торфяными месторождениями в западном направлении. Северо-западная часть месторождения была осушена и представлена заросшими картами. Магистральный канал, построенный от центра месторождения к его окраине, впадает в осушительную сеть соседних выработанных болот.

Наличие осушительного и работающего в настоящее время канала привело к снижению уровня болотных вод и повышению прочности верхнего слоя болота (сплавины). В результате озеро и открытая поверхность воды в настоящее время не отмечены.

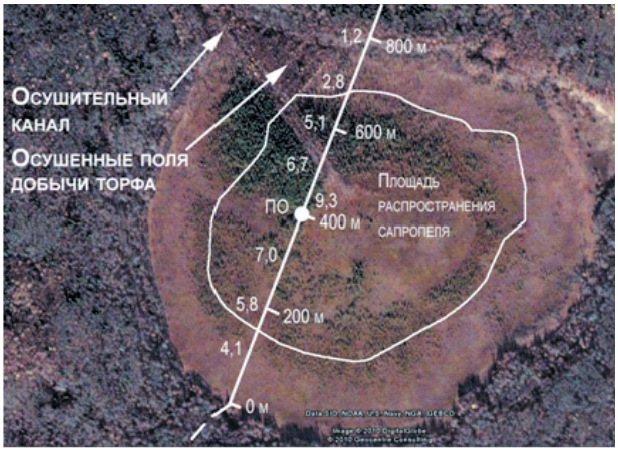


Рис. 1. Схема торфяного месторождения Ямское-1 с указанием мощности отложений и пунктом отбора проб (ПО)

Fig. 1. The scheme of the peat deposit Yamskoe-1 showing the thickness of deposits and point of sampling (ОП)

Гривистые минеральные склоны на десятки метров возвышаются над поверхностью торфяного месторождения. Поверхность месторождения в основном безлесная, лишь в северо-восточной части наблюдается небольшой подлесок из березы и сосны. Растительность мезотрофного питания, частично олиготрофного и евтрофного. Практически вся поверхность представлена покровом из сфагновых мхов.

Глубина торфяного месторождения в среднем составляет 5,1 м (включая отложения сапропеля). Максимальная глубина – 9,5 м (включая отложения сапропеля). Залежь подстилается суглинком.

Торфяная залежь отмечена вдоль края болота шириной до 200 м (рис. 2). Верхние слои тор-

фа преимущественно травяно-моховые, ниже древесно-моховые и древесно-травяные высокой степени разложения, плотные. Средняя мощность торфяной залежи – 3,1 м. Максимальная мощность сапропелевой залежи составила около 6 м.

Сапропелевая залежь находится под слоем воды до 3,0 м. В среднем слой воды со сплавиной составляет 2,2 м. Слой сплавины – 65 см. Верхний слой разжиженный, а нижний уплотнен и затрудняет отбор проб.

Отмечены водорослевый и торфянистый сапропели органического класса [2]. Содержание минеральной части – до 27%, влажность – до 96%, содержание окислов железа – не более 4%, а окислов кальция (за двумя исключениями – около 12%) – до 5% (таблица).

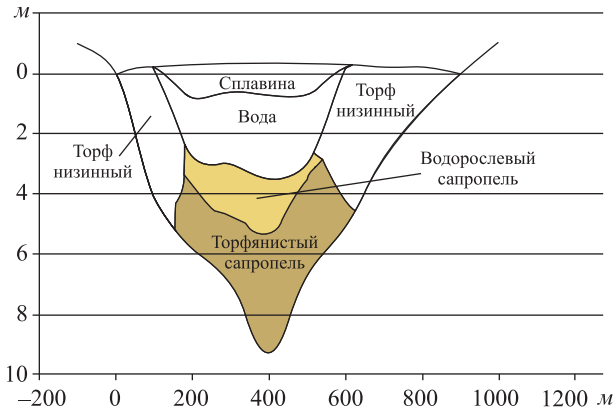


Рис. 2. Стратиграфический профиль торфяного месторождения Ямское-1

Fig. 2. Stratigraphic profile of the and sapropel deposit mires Yamskoe-1

Торфяное месторождение Марининское расположено в 5 км на Ю-З от г. Переславль-Залесский, в 10 км на Ю-З от ж.д. станции Переславль; в 0,5 и 0,7 км на С-В и В от с. Антуфьево; в 3 км на Ю от с. Дядькино; в 1,5 км на СВ от с. Семендяйка.

Торфяное месторождение расположено на правобережном склоне к р. Кубрь.

Торфяное месторождение имеет вытянутую форму с юго-востока на северо-запад. Расстояние с северо-востока на юго-запад – около 400 м (короткая сторона). Сапропелевая залежь находится в центральной части месторождения. В центре сапропелевого участка расположено зарастающее озеро с открытой водной поверхностью.

Поверхность торфяного месторождения в районе озера в основном безлесная. Растительность большей части месторождения представлена переходным торфяно-болотным фитоценозом. Ближе к озеру преобладают евтрофные сообщества со сфагновыми мхами, травянистыми сообществами и кустарниками.

Вдоль озера заложен профиль (рис. 3).

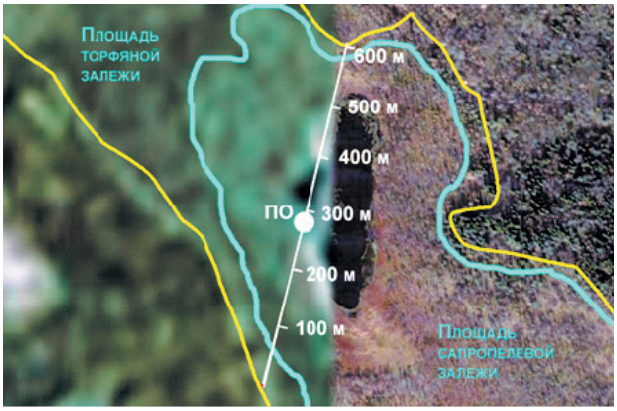


Рис. 3. Расположение профиля исследования на месторождении Марининское

Fig. 3. Profile location research in the mire Marininskoe

По результатам исследования выполнены лабораторные анализы сапропеля (таблица) и построен стратиграфический разрез (рис. 4).

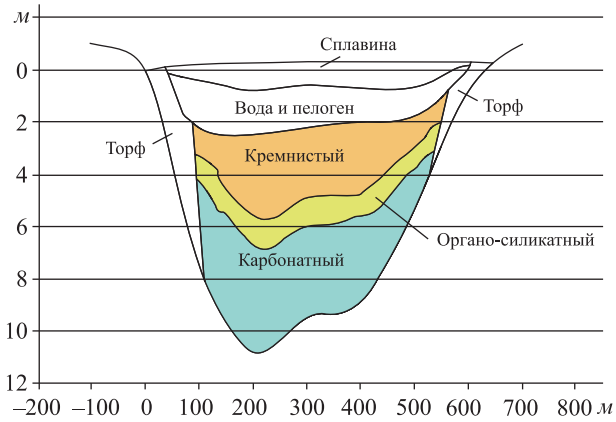


Рис. 4. Стратиграфический разрез торфяного месторождения Марининское

Fig. 4. Stratigraphic section of the peat and sapropel deposit mires Marininskoe

Торфяное месторождение залегает в слабопроточной (возможно, сточной) котловине, подстилаемой суглинком.

В месте расположения профиля торфяные отложения залегают в полосе шириной 40–60 м вдоль окраины. Торф низинный. Мощность отложений торфа – в среднем 4 м. Основная часть торфяной залежи предположительно расположена в северо-западной части месторождения.

Ведомость лабораторных анализов проб сапропеля на общетехнические

Глубина воды, м	Глубина взятия пробы от поверхности отложения, м	Номер пробы (жетона)	Микроскопический площадной анализ											
			Аморфный детрит	Биологические остатки, %										
				Водоросли						Высшие растения			Пыльца и споры	Животные
				Диатомовые	Сине-зеленые	Протококковые	Факотус	Золотистые	Десмидиевые	В сумме	Водные	Болотные		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3,5	4,0	1		20		60					10			10
	4,5	2		10	10	30		10		20				20
	5,0	3		10	10	30				35				15
	5,5	4				30					40			30
	6,0	5		10		5		5		60				20
	6,5	6		5	5	5		5		50				30
	7,0	7		10	10	10					50			20
	8,5	8		5	5	5		5		60				20
	9,0	9		5	5	10				60				20

Ведомость лабораторных анализов проб сапропеля на общетехнические

2,2	2,7	6102		40	30	10		5				5		10
	3,5	0050		45	40	10								5
	4,0	0045		40	45			10						5
	4,5	0002		30	35	5		10		10				10
	5,0	562		35	30	10		10						15
	5,5	2355		25	35	10		20						10
	6,0	0028		25	35	5		20				5		10
	6,5	0058		15	45	10		30						
	7,0	0005		50	5	5		35						5
	7,5	0173										5		5
	8,5	0065												
	9,5	0081												

Табл. 1.
Tab. 1.

свойства т. м. Ямское-1 Переславского района Ярославской области

Минеральные образования, %				Вид сапропеля, торфа со степенью разложения	Зольность абс. сух. вещества, %	Влажность естественная, %	Кислотность, pH_{kcl}	В % абс. сух. вещества	
								Химический состав золы	
Песок	Сульфиды железа	Карбонаты	Глина					CaO	Fe_2O_3
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
				Органический протококковый	26	96	5,45	1	2
				Органический зоогеново-водорослевый	24	96	5,45	2	2
				Органический торфянистый	21	96	5,8	2	2
				Органический торфянистый	21	95	5,6	3	4
				Органический Торфянистый	21	94	5,7	11	3
				Органический Торфянистый	22	94	5,8	3	4
				Органический Торфянистый	15	90	5,7	5	2
				Органический Торфянистый	17	90	5,7	5	2
				Органический Торфянистый	27	89	6,3	12	2

свойства т. м. Марининское Переславского района Ярославской области

				Кремнистый диатомовый	42	93	6,85	2	2
				Кремнистый диатомовый	51	92		1	3
				Кремнистый диатомовый	53	92	6,45	2	3
				Кремнистый диатомовый					
				Кремнистый диатомовый	56	91	6,45	1	2
				Органо-силикатный органо-песчанистый	59	90		1	3
				Органо-силикатный органо-песчанистый	57	90	6,8	2	4
				Карбонатный органо-известковистый	55	90		8	4
				Железистый лимонитовый	58	83	6,7	23	42
				Карбонатный известковистый	57	81		28	6
				Карбонатный известковистый	55	72			
				Карбонатный известковистый	54	71			

Сапропелевые отложения имеют мощность до 9 м. Над сапропелевой залежью слой воды со сплавиной до 2,5 м. Мощность сплавины – 0,5 м. Сплавина непрочная.

Сапропелевая залежь представлена 3 классами [2]: кремнистым, органо-силикатным и карбонатным. Сапропель кремнистый имеет мощность в среднем 2,5 м, органо-силикатный – 1 м, карбонатный – 3,5 м. Максимальная мощность сапропеля – 8,3 м. На глубине 6,5–7,0 м мощностью 0,5 м установлена линза лимонитового сапропеля, не дающая самостоятельного класса при условии высокого содержания оксида кальция в пробе.

Торфяное месторождение Савельевское расположено от р/ц Переславль-Залесский на Ю-З в 18 км, от ж. д. ст. Александров Сев. ж. д. на С-З в 32 км, от с. Савельево на С-З в 0,2 км, от с. Воскресенское на ЮВ в 1,5 км.

Торфяное месторождение расположено вокруг озера Савельевское на склоне к р. Яхрома, являясь ее истоком, расположенным в северной части месторождения. При этом само озеро не имеет очевидной гидравлической связи с рекой.

Водное питание происходит за счет вод поверхности стока с окружающих суходолов, паводковых вод и атмосферных осадков.

Торфяник имеет вытянутую с юга на север и на восток форму при длине 2,5 км, ширина колеблется от 300 м до 1200 м.

Рельеф поверхности месторождения ровный с уклоном к р. Яхрома.

Паводковыми водами торфяное месторождение не заливается.

Рельеф дна спокойный, с глубоким понижением в южной части (район озера Савельевское). Южная озерная часть и северная, включающая пойму реки Яхрома, условно разделены повышением отметок минерального дна с выступающим над поверхностью торфяного месторождения суходолом.

Обводненность поверхности средняя. В южной части торфяного месторождения имеется озеро Савельевское площадью 42,26 га (рис. 5).

Наибольшая глубина торфа достигает 3,7 м. Наибольшая глубина месторождения – 21,2 м в центре озера Савельевское (рис. 6). Последнее, возможно, указывает, в том числе, на карстовое происхождение озерной котловины

Минеральный грунт, подстилающий торфяную залежь – суглинок, супесь, песок.

Сапропелевые отложения представлены тремя классами: органическим, органо-силикатным, карбонатным и силикатным.

В озере Савельевское отмечены следующие виды сапропеля с процентом встречаемости: водорослево-зоогеновый – 26%, органо-песчанистый – 5%, торфянистый – 50%, песчанистый – 5%, известковистый – 14%. Под торфяной залежью преобладает протококковый сапропель.

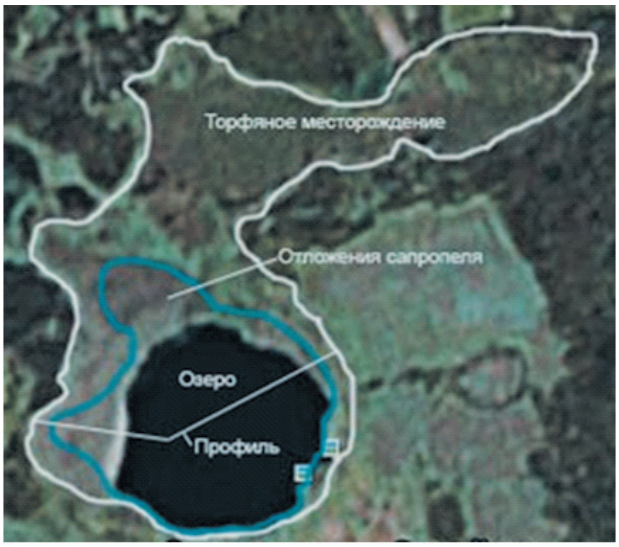


Рис. 5. Расположение профиля исследования на месторождении Савельевское

Fig. 5. Profile location research in the mire Savelyevskaya

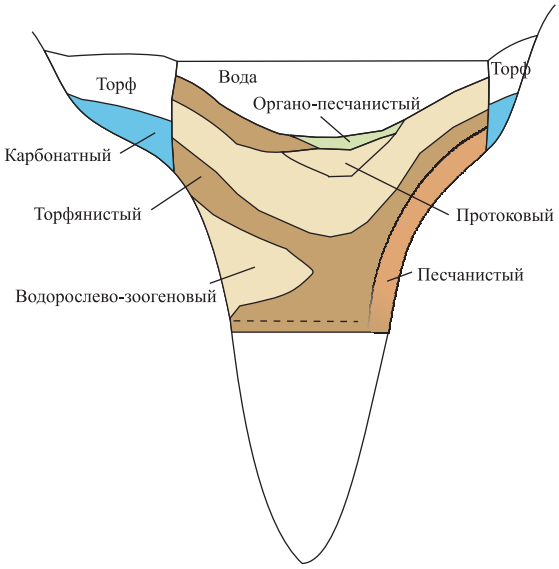


Рис. 6. Стратиграфический разрез торфяного месторождения Савельевское длинной 1,2 км и мощностью 21 м

Fig. 6. Stratigraphic section tons peat and sapropel deposit mires Savelyevskaya (length – 1.2 km, valley depth – 21 m)

Показатели свойств сапропеля имеют значительные расхождения для озерного и подзалежного сапропеля – в пределах класса. Это указывает на сложность генезиса озерных отложений. Вероятно, что известковистый сапропель под торфяной залежью имеет значительно больший возраст

(доголоценовый), чем отложения в озере. Наличие торфяных остатков в озере при наличии животных водных организмов, возможно, указывает на переотложение органических остатков в озере.

Объем торфяных остатков в отложениях озерного сапропеля при близкой влажности и близкой плотности труднообъясним, учитывая, что озеро имеет открытую водную поверхность без следов значительного зарастания болотными и водными растениями. Остается предположить, что озеро в своем развитии имело периоды зарастания.

В целом сапропелевая залежь имеет простую сложность строения (1-я категория) и относится к органическому классу [2]. Отбор ниже 12 м не производился из-за отсутствия специального оборудования.

Условно залежь отнесена к органическому классу. В правой части залежи внизу отмечены отложения песчанистого сапропеля (забалансового), но и здесь целесообразно считать залежь органического класса.

Колебания показателей в целом по сапропелевой залежи: зольность – 16,2 ÷ 91,2%, влажность – 52,5 ÷ 97,1%, кислотность обменная – 5,0 ÷ 7,8, оксид кальция – 0,8 ÷ 22,2%, оксид железа – 0,7 ÷ 2,2%.

Зольность сапропеля по слоям в среднем составляет 29,1%. Средняя влага сапропеля 90,1%, при колебании по слоям – от 54 до 95,8%. Среднее содержание оксида кальция в сапропеле – 1,9% при колебаниях 0,9–42, оксида железа –1,1% при колебаниях 1,0–2,0%.

В целом можно сделать следующие предварительные выводы.

1. В целом преобладает органический класс сапропеля. На торфяном месторождении Ямское-1 сапропель представлен органическим классом по всей толще сапропелевых отложений. На торфяном месторождении Марининское сапропель представлен от 3 до 6 м кремнистым классом. Ввиду преобладания диатомовых водорослей сапропель может быть отнесен по классификации Торфгеологии к смешанно-водорослевому классу, диатомовому виду. С глубины 6 до 7,5 м залегает сапропель органо-силикатного класса. Еще ниже до дна находится карбонатный сапропель. На торфяном месторождении Савельевское в озере сапропель органический с преобладанием торфянистого и водорослевого видов, под торфяной залежью сапропель карбонатный.

2. Исходя из строения залежей, можно предполагать, что водный объем озер имел нелинейные изменения во времени, и изменения его химического состава и минерализации также отличались от обычных для минеральных озер линейных трендов от дна к поверхности залежи.

3. Котловины озер имеют зауженный внизу профиль, что может указывать на связь с карстовыми процессами, продолжающимися на протяжении голоцена.

Библиографический список

1. Торфяные месторождения Ярославской области по состоянию на 1 января 2000 г. Территориальный центр государственного мониторинга геологической среды и водных объектов по Ярославской области, филиал ФГУП «Геоцентр-Москва». – 2002. – 481 с.
2. Инструкция по разведке озерных месторождений сапропеля РСФСР. – М.: 1988. – 96 с.

УДК 662.331

Марков В.И.

Марков Вадим Иванович, бывший зам. нач. Главторфа-Росторфа. 107014, Москва, Стромынка, 5, 32

ПЕРИОДЫ РАЗВИТИЯ ТОРФЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ

Аннотация. Рассматриваются этапы развития торфяной промышленности. Каждый этап развития обосновывается, выделяются политические и технологические факторы. Представлены перспективные тенденции развития отрасли.

Ключевые слова: торф, отрасль, этапы развития, перспективы развития

Markov V.I.

Markov Vadim I., a former deputy. early. Glavtorf-Rostorf. 107014, Moscow, Strawmynka, 5, 32.

PERIODS OF PEAT INDUSTRY OF RUSSIA

Abstract. The stages of development of the peat industry. Each stage of development is justified, distinguished political and technological factors. Presented promising trends in the industry.

Keywords: peat, the industry, the stages of development, prospects

Периоды

1. 1865–1918 гг. Начало строительства самостоятельных торфопредприятий
2. 1919–1945 гг. Период интенсивного развития торфяной отрасли. Великая Отечественная война.
3. 1946–1991 гг. Период дальнейшего развития, с 1965 г. – Минтоппром РСФСР.
4. 1992–2011 гг. Потеря потребителей, крах торфяной отрасли.
5. 2012–2100 гг. Перспективный период.

1865–1918 гг. Начало строительства самостоятельных специализированных торфопредприятий

Об этом периоде мы знаем очень мало, но он важен тем, что с него начинается развитие торфяной промышленности как специализированной отрасли, в том числе и как важной составляющей топливно-энергетического комплекса, опирающегося на местные топливные ресурсы, что для России, с ее расстояниями, чрезвычайно важно.

В этот период было введено 19 торфопредприятий. Введена Московская областная электростанция на торфе – «Электропередача».

Первое специализированное самостоятельное торфопредприятие «Ореховское» было введено в 1865 г. в Московской обл. Всего в Московской обл. в этот период было введено 7 торфопредприятий, в Ленинградской – 5 (4 из которых, находившиеся внутри кольца блокады, снабжали торфом две электростанции города, работавшие всю войну).

Первые торфопредприятия были введены в Ивановской (2), Тверской (2), Нижегородской (1), Костромской (1), Владимирской (1) (Названия областей приведены по современному делению).

Минимальный объем добычи торфа в России в XX веке был в 1918 г. –1093 тыс. тонн, в т. ч. простейшим ручным резным способом – 117 тыс. тонн (табл. 1).

1919–1945 гг. Период интенсивного развития торфяной отрасли. Великая Отечественная война

Этот период начинается с Декрета «О разработках торфяного топлива» от 20.04.1918 г., плана ГОЭЛРО, создания научных, учебных, проектных и других организаций, обеспечивших развитие торфяной промышленности (подробно о них написано в статьях различных специалистов в журнале «Торф и Бизнес» за 2005–2011 г.г.).

Табл. 1. Количество добытого торфа разными способами

Tab. 1. The number of extracted peat in different ways

Годы	Всего	Машиноформовочный	Гидроторф	Гидроэлеваторный	Багерный и скреперный	Резной	Фрезерный
1913	1688,0	1557,0	–	–	–	131,0	–
1914	1903,3	1725,0	–	–	–	178,	–
1915	1674,6	1508,0	–	–	–	66,6	–
1916	1619,0	1446,0	–	–	–	73,0	–
1917	1356,3	1198,0	–	–	–	158,3	–
1918	1093,9	975,6	–	–	–	117,4	–
1919	1225, 0	1064,0	2,2	–	–	59,3	–
1920	1390,0	1194,4	5,6	–	–	190,0	–
1921	2018,0	1484,2	18,1	–	–	515,7	–
1922	2158,0	1793,0	49,6	–	–	314,5	–
1923	2427,2	2081,9	126,3	–	–	219,0	–
1924	2857,6	2420,3	183,8	–	–	248,5	–
1925	2718,2	2240,6	216,0	–	–	261,6	–
1926	3554,1	2937,5	309,1	–	–	307,5	–
1927	4910,7	3998,9	514,0	–	–	397,8	–
1928	6319,9	3946,4	957,2	–	–	408,1	8,2
1929	6913,7	4066,2	1107,8	–	–	1712,6	27,1
1930	8076,1	4054,3	1797,0	90,0	–	1948,8	186,0
1931	12357,2	4737,1	2356,0	258,4	–	2791,7	2214,0
1932	13495,0	4440,0	2470,0	226,9	40,5	2889,9	3427,7
1933	13845,8	5805,1	3379,5	396,0	60,2	2393,4	1811,6
1934	18253,7	7038,3	3790,1	580,8	98,1	3220,1	3526,3
1935	18485,7	7634,6	4492,0	592,4	203,1	2531,9	3031,7
1936	22451,1	5365,8	5949,5	538,8	449,0	5864,8	4283,2
1937	23821,8	5669,6	6813,0	547,9	571,7	5907,9	4311,7
1938	26271,8	8091,7	7566,3	788,2	630,5	3861,9	5333,2
1939	29406,2	8851,3	8074,9	941,0	813,4	4109,2	6616,4
1940	32055,5	9648,7	9264,0	898,9	929,6	5993,1	5321,2
1941	27040,4	7273,9	9031,9	351,8	621,9	2947,0	6814,2
1942	14644,7	2694,6	5213,5	424,7	483,3	3221,8	2606,8
1943	21250,7	4022,7	7289,0	578,0	820,0	5185,0	3356,0
1944	22938,6	3991,3	7019,2	527,6	1147,0	6010,0	4243,5

По плану ГОЭЛРО упор был сделан на электростанции, работающие на местных видах топлива, важнейшим из которых во многих областях был торф.

В 1930 г. на электростанциях, работавших на торфе, было выработано около 40% электроэнергии, в 1940 г. – около 20%. Таким образом, примерно 30% индустриализации было осуществлено за счет электроэнергии на торфе.

В этот период было введено 40 наиболее крупных торфопредприятий, входивших в систему Главторфа наркомата электростанций, составивших основной костяк торфяной промышленности.

Для улучшения управления ими было создано 10 торфяных трестов в основных торфодобывающих областях.

Активно строились торфопредприятия в Нижегородской, Ярославской, Ивановской, Ленинградской областях.

Очень активно – по добыче кускового торфа в Свердловской области – для газогенераторных станций (ГГС), крупных машиностроительных заводов: Уралмаша, Уралвагонзавода, Первоуральского новотрубного завода. На искусственном газе поддерживались в горячем состоянии отлитые болванки перед прокаткой.

Во время войны вопрос стоял так: – «Нет торфа – нет танков». Государственный комитет обороны ежесуточно следил за отгрузкой торфа этим заводам.

В критические периоды резко возросла добыча торфа в ряде стран Европы. Так, в Дании в 1939 г. было добыто 425 тыс. тонн, в 1943 г. – 7600 тыс. т, в Ирландии, соответственно, 3339 и 7000, в Швеции – 23 и 1700 тыс. т.

В СССР торф добывали предприятия 21 наркомата (табл. 2).

Табл. 2. Добыча торфа в СССР по наркоматам в тыс. т.

Tab. 2. Peat extraction in the USSR People's Commissariat of thousands of tons

	1940 г.	1942 г.	1943 г.	1944 г.
Всего	32055,5	14644,7	21250,7	22938,6
НК электростанций	13445,0	7881,4	11221,8	1449,0
НК Текстильпром	4062,1	1768,7	2558,3	2619,1
НК Легпром	1146,4	259,2	410,8	332,9
НК Пищепром	1980,4	577,4	828,3	784,0
НК Рыбпром	—	69,2	108,8.	90,9
НК Чермет	174,8	46,4	131,2	186,3
НК Цветмет	371,5	178,7	255,8	240,5
НК Нефть	3,2	2,1	7,6	13,5
НК Средмаш	88,4	111,9	118,7	91,3
НК Тяжмаш	22,4	0,2	1,3	6,8
НК Электропром	40,5	7,8	19,8	66,0
НК вооружения	5,2	13,8	127,2	111,2
НК Танкопром	—	147,2	143,0	114,2
НК Авиапром	73,3	22,0	73,3	75,1
НК Минвооружения	7, 9	6,1	36,3	42,8
НК Судпром	108,5	7,8	24,2	23,4
НК боеприпасов	122,4	172,2	270,0	271,3
НК Месттоппромы	4553,8	1878,7	2340,2	3063,2
НК Местпромы	322,7	330,5	376,5	321,8
Промкооперация	3380,8	664,1	1096,6	1675,6
НК Промстрой-	729,3	251,9	268,4	287,7
материал	1416,4			
Прочие		247,4	832,6	1081,0

Так как промышленность не обеспечивала топливом потребности населения и соцкультбыта, то население в 30-е и 40-е годы в массовом порядке занималось самозаготовкой торфа простейшим резным ручным способом (с помощью лопат). В 1928 г. резным способом было добыто 408 тыс. тонн, в 1940 г. – 5993 тыс. тонн.

Торф добывался в 44 регионах страны. В годы войны, в связи с массовой эвакуацией, потребность в резном торфе сначала сократилась, а потом снова возросла. В 1944 г. этим способом было добыто 6010 тыс. тонн. В некоторых местах родителей даже предупреждали, что если они не будут принимать участия в заготовке торфа, то детей в школу не примут.

Максимальная добыча торфа в этот период была в 1940 г. – 32 млн. тонн, в т. ч. в РСФСР – 25 млн. тонн, в Белоруссии – 3,36 млн. тонн. В годы оккупации торф в этой республике практически не добывался.

Гитлеровские фашисты, хорошо понимая, что в республике кроме торфа, нет других видов топлива, и стремились максимально затруднить и задержать ее восстановление, практически уничтожили всю торфяную промышленность. Так на крупном торфопредприятий «Осинторф» немецкими факельщиками были сожжены все 10 поселков, на которых в сезон проживало 6–7 тыс. человек. Были заминированы и подожжены поля добычи торфа. Весь 1944 г. ушел на разминирование и тушение пожаров. Было снято 20,5 тыс. противопехотных, 6 тыс. противотанковых и 3 тыс. минсюрпризов.

Торфяную промышленность республика собирала буквально по крохам. По единицам считали восстановленное оборудование.

К сезону 1945 г. в землянках была подготовлена 1 тысяча мест для рабочих. В первую очередь был восстановлен техникум, готовивший специалистов для торфяной промышленности (журнал «Торфяная промышленность» № 1 за 1945 г.).

Разработка новых способов добычи торфа. Техническое перевооружение отрасли

До 1919 г. добывался только кусковой торфорезным или машиноформовочным (элеваторным) способами. Вывозка торфа зачастую осуществлялась гужевым транспортом.

Затем начинают применяться новые способы добычи торфа. С 1919 г. – гидравлический (гидроторф) – кусковой, с 1928 г. – фрезерный способ (добыча торфяной крошки), с 1932 г. – багерный (кусковой), в основном на Урале для газогенера-

торных станций машиностроительных заводов. Наращиваются мощности единичных агрегатов. На транспорте торфа начинает широко использоваться паровозная узкоколейная (ширина колес 750 мм) тяга. Проводятся работы по замене ручного труда на болотно-подготовительных работах и погрузке торфа из штабелей на полях добычи.

Сравнительные показатели агрегатов по добыче кускового торфа приведены ниже (в ед. и тыс. тонн) (табл. 3).

Табл. 3. Средняя выработка торфа на единицу техники разных способов добычи

Tab. 3. The average output per unit of peat techniques of different methods of mining

	1930 г. (ед.)	1944 г. (ед.)	Сред. добыча тыс. т на ед. техн.
Машиноформовочный (элеваторный) способ	1105	102	5,2
Багерный способ	10 (1932 г.)	49	14,1
Гидроторф: – новый стандарт – сверхстандарт	67	124 29	34,8 66,8

Однако гидроторф – опасный способ (особенно для женщин), т. к. при добыче приходится работать по грудь в холодной гидромассе.

Фрезерный способ добычи торфа (торфяной крошки). С 1928 г. начинает использоваться фрезерный способ добычи торфа, оказавшийся самым эффективным и дешевым. На одной технологической площадке (поле, карте) проводятся все технологические операции, включая хранение торфа в штабелях до момента вывозки его потребителям. При этом максимально используется солнечная энергия.

Фрезерный способ добычи торфа – пластичный, позволяющий его успешно модернизировать, увеличивая объем добычи с единицы площади полей и соответственно сокращая их количество и затраты на их подготовку и содержание.

Добыча фрезерного торфа в первоначальный («ручной») период.

К 1944 г. количество тракторов на добыче фрезерного торфа достигло 560 ед., а выработка на один трактор составила 5,4 тыс. тонн, т. е. шла интенсивная механизация (по т/пр. Главторфа.)

3-й период. 1946–1991 гг.
Период дальнейшего развития торфяной промышленности, с 1965 г. – создание Минтоппрома РСФСР

За годы Великой Отечественной войны подготовленные запасы торфа значительно сократились. Требовалось строительство новых предприятий-компенсаторов для обеспечения топливом действующих электростанций. В наркомате электростанций был создан специализированный строительный главк, которому и была поручена эта работа.

В Московской обл. были построены крупные торфопредприятия: Рязановское и Радовицкий Мох (для Шатурской ГРЭС). В Тверской обл.: Оршинское, Емельяновское и Вышневолоцкое. В Ярославской обл.: Мокеиха-Зыбинское и Батьковско-Ольховское. В Кировской обл.: Пищальское, Гороховское, Отворское и «Дымное». В Нижегородской обл.: Альцевское и Камское торфопредприятия. Все эти предприятия обеспечивали торфом местные электростанции. На действующих торфопредприятиях подбирались торфомассивы-компенсаторы, которые готовились или хозяйственным способом, или строительно-монтажными управлениями (СМУ), подчиненными непосредственно предприятиям. Эти же СМУ занимались развитием поселков, строительством жилья и социально-бытовых объектов. Переоборудование бараков бригадного типа в квартирные дома велось, как правило, хозспособом. Очень активно занимались модернизацией основного технологического оборудования на Урале. Вместо багеров, имевших сезонную производительность около 15 тыс. т, были внедрены ТЭМПы со стилочными машинами, имевшими производительность около 35 тыс. т. А отдельные агрегаты давали за сезон до 53 тыс. тонн (на 5-м участке Лосиного торфопредприятия). Были созданы комплекты машин на уборке кускового торфа (УКБ – СКС) и машины по сушке торфа.

Все эти работы проводились при активнейшем участии специалистов Всесоюзного научно-исследовательского института торфяной промышленности (сейчас Всероссийского ВНИИТП) в Санкт-Петербурге. Практически все технологические операции на добыче кускового торфа были механизированы, что позволяло отказаться от завоза сезонных рабочих.

С помощью ВНИИТП и при его активном участии к 60-м годам все основные технологические процессы на добыче фрезерного торфа были полностью механизированы, на предпри-

ятиях появились первые пневмокомбайны БПФ. На новых полях добычи их производительность составляла около 15 тыс. тонн. На полях, где ранее велась сушка кускового торфа, – до 25 тыс. тонн за сезон (г. Продан – Басьяновское торфопредприятие). Но основной уборочной машиной фрезторфа была машина УМПФ (МТФ-42 и оборудование, входившее в ее комплект). На погрузке использовались погрузочные краны ПК, на переукладке временных путей – путипереукладчики. На вывозке торфа – узкоколейные тепловозы колеи 750 мм (от ТУ-2 до ТУ-8).

На болотно-подготовительных работах была создана техника, позволившая отказаться от ручного труда на сводке леса, корчевке, сборе и вывозке пней и растительных остатков. Торфяная промышленность стала одной из самых механизированных среди добывающих отраслей. Практически на каждой полевой базе были созданы столовые и места для отдыха, где механизаторы могли отдохнуть в обеденный перерыв.

Чтобы отказаться от резного торфа, развернулось широкое строительство брикетных заводов мощностью 10–30–50 и даже 125 тыс. тонн в год. Для этого были подобраны и подготовлены торфяные топливные базы, максимально приближенные к потребителям.

Заслуга коллектива ВНИИТП в становлении торфяной промышленности технически вооруженной отраслью очень велика. Сохранение ВНИИТП как мозгового центра отрасли – одна из важнейших задач. Тем более что в 1957 г. по решению г. Хрущева, Московский торфяной институт, готовящий ежегодно до 250 чел. инженеров-торфяников и обеспечивавший всю отрасль руководящими кадрами, был переведен из Москвы в Тверь, а затем превращен в политехнический институт, что немедленно сказалось на качестве подготовки выпускников не лучшим образом. В дальнейшем институт был переименован в Тверской государственный технический университет, от торфяного института остался один факультет, да и тот сориентирован на подготовку мелких чиновников для г. Твери, и уже никак не на подготовку руководителей крупных торфопредприятий и отрасли. Этот вопрос нужно немедленно исправлять. Без грамотных специалистов торфяная, как и другие отрасли, полноценно развиваться не может.

В 60-е годы на Урал пришел природный газ. Машиностроительные заводы постарались перейти с искусственного газа из торфа на природный газ. Торфяная промышленность Урала потеряла своего основного потребителя. Это был первый региональный «звоночек», который не был правильно осмыслен. Тем более, что тогдашний Госплан постарался, как мог, смягчить удар. На ТЭЦ Уралмаша был поставлен энергоагрегат мощностью 44 МВт, что позволило часть мощностей торфопредприятий перевести с добычи кускового на добычу фрезерного торфа. Для электростанции Качканарского ГОК также потребовался фрезерный торф, поставлявшийся с Басьяновского торфопредприятия. Исетско-Аятское торфопредприятие начало выпускать продукцию для машиностроительных заводов, расположенных в Кировской области. Была сделана попытка увеличения использования низинного фрезерного торфа с аммиачными добавками для сельского хозяйства в качестве удобрений. Но все это не могло полностью заменить полноценного потребителя. Стратегическое решение вопроса не было найдено.

В 1965 г. было создано Министерство топливной промышленности (Минтоппром) РСФСР, где были собраны все специализированные торфяные предприятия, к концу 80-х годов – 166 республиканского подчинения (154 торфопредприятия, 11 транспортных управлений и Монетный ремонтно-механический завод), где добывалось 90% всего торфа промышленным способом; 64 торфопредприятия (10% всей торфодобычи) – двойного подчинения (облисполкомам и министерству) – в основном в вопросах технического перевооружения.

В Минтоппром входил строительный главк – Ростопстрой, которому подчинялись строительные тресты: Кировский, Горьковский, Калининский, Смоленский и Псковский, им подчинялись СМУ, строившие торфопредприятия. Каждый трест имел свою строительную базу.

В Минтоппром входили топливоснабжающие организации – топливные склады (около 300 ед.).

Научные организации: ВНИИТП и его филиалы с опытным и экспериментальным заводами подчинялись техническому управлению.

Проектные организации: Гипроторф с Ленинградским и Уральским филиалами подчинялись Главному управлению капитального строительства, которое контролировало все строительные процессы в министерстве. Гикторф контролировал все качество добываемого и поставляемого торфа. В этот период проводится строительство ряда крупных торфяных баз для электростанций. На юге Тюменской области для расширяющейся Тюменской ТЭЦ строятся Тарманское-Центральное и Тарманское-Западное (мощностью по миллиону тонн) и проектируется Мирское торфопредприятие – их компикатов.

Строятся Череповецкая, Смоленская, Псковская ГРЭС и блок на Шатурской ГРЭС мощностью по 600 (3 × 200) МВт каждый и создаются топливные торфяные базы для них.

На ряд из них поставка торфа предусматривалась двухпутным узкоколейным железнодорожным транспортом.

Жизнь показала, что ни одна из этих станций работать с необходимыми объемами торфа (из-за его низкой калорийности и низкого насыпного веса), особенно в зимнее время, не смогли. Это была ошибка, которая обошлась торфяной промышленности очень дорого – потерей стабильного и надежного потребителя.

По-видимому, для электростанций, работающих на фрезерном торфе, существует предел по мощности – 100–150 МВт. Естественно, что эти электростанции искали любую возможность, чтобы перейти на другие виды топлива, т. к. не могли удержать необходимую нагрузку (частоту) на торфе. Строились небольшие торфопредприятия, где добывался торф для сельского хозяйства.

Если в 1944 г. было добыто 21,5 млн. тонн торфа, то в конце 80-х годов добыча достигла 50 млн. тонн. 50% добытого торфа использовалось для топливных целей, включая брикетное производство, и 50% – для сельского хозяйства.

Производственные объединения республиканского подчинения (Росторфу) были созданы в 16 областях.

Основой мощности торфяной промышленности являются поля добычи торфа. Мощности на начало 90-х годов по областям составляли (в млн. тонн):

Владимирская – 2,29,
Вологодская – 1,90,
Ивановская – 1,05,
Кировская – 3,77,
Костромская – 1,48,
Ленинградская – 4,71,
Московская – 3,85,
Нижегородская – 2,28,
Новгородская – 2,39,
Псковская – 1,50,
Свердловская – 2,00,
Смоленская – 2,66,
Тверская – 4,62,
Тюменская – 1,69,
Ярославская – 3,29,
Удмуртская респ. – 1,34.

Основной элемент полей добычи торфа – осушительная и противопожарные сети. Чтобы создать эти сети на неиспользуемых в настоящее время мощностях (а это примерно 100 тыс. полей), потребовалось вынуть около 300 млн. м^3 торфяного и земляного грунта, а это работа для 500 экскаваторов в течение 10 лет.

Две функции торфяной промышленности: добыча местного топлива – торфа и создание инфраструктуры территории.

Поселки торфяников строятся на краю болот – максимально приближенные к месту работы (как говорится – в шаговой доступности). Работают люди на болоте — в условиях повышенной влажности.

Чтобы удержать людей, поселки должны быть максимально благоустроенными, чтобы условиями жизни и зарплатой компенсировать условия труда.

На торфопредприятиях, входивших в состав Минтоппрома, проживало около 200 тыс. человек. На каждого жителя этих поселков приходилось по 15 кв. м жилья. Поселки имели больницы, детские дошкольные учреждения, школы, магазины, клубы и все другие необходимые объекты, включая механические мастерские и объекты транспорта и связи.

На крупных торфопредприятиях поселки насчитывали до нескольких тысяч жителей. Как правило, в поселках не было других производств – это были монопоселки, но большинство жителей имели свои подсобные хозяйства.

Рекультивация и возврат земель. Почти за 160 лет добычи торфа предприятиям было отведено 954,6 тыс. га, в т. ч. 86,5 тыс. га в постоянное пользование для строительства поселков, дорог и различных трасс. 868,1 тыс. га для полей добычи торфа, или 1,7% от тех 50,84 млн. га, занимаемых промышленными запасами торфа (на 01.01. 2001 г.).

Возвращено – 462,8 тыс. га, в т. ч.: – лесному хозяйству – 164,9 тыс. га, сельскому хозяйству – 93,3 тыс. га, рыбному хозяйству – 6,3 тыс. га. Всего передано другим землепользователям 302,3 тыс. га (данные на начало 90-х годов по кругу предприятий, входивших в Росторф).

Часть карьеров кускового торфа используется как водохранилища для противопожарного водоснабжения. В карьеры кускового торфа во время добычи сбрасывался пень, извлеченный из залежи. В некоторых случаях его объем доходил до 1000 м^3 на гектар.

На залежах глубиной более 4,5 м в донных слоях остались запасы, которые после донного осушения могут быть доработаны фрезерным способом, т.к. ковшевые рамы экскаваторов по добыче кускового торфа забирали торф только с 4,25 м.

В 70–80-х годах торфопредприятия начали заниматься выпуском товаров народного потребления в бумажной или полиэтиленовой упаковке на основе торфа (грунт «Фиалка», микропарники, садовая земля, торфяные горшочки, наборы садовода и др.) ВНИИТП создавали грунты улучшенного качества (плиты сухого прессования и др.). Проводились первые опыты по созданию топливных смесей – торфа с отходами других производств (проверялась возможность создания

брикетов различной формы из торфа и каменноугольной смеси).

Еще в 70-е годы на Бокситогорском торфопредприятий из торфа верхового типа с низкой степенью разложения вырабатывалось ежегодно по 50 декалитров чистого питьевого спирта и другая химическая продукция. Затем это предприятие было передано в микробиологическую промышленность (по их просьбе).

На Электростальском (Московская обл.) химико-механическом заводе много лет производили активированный уголь из торфа верхового типа со степенью разложения более 30% и зольностью до 6%.

ЭНИНом была разработана технология по производству активированного угля с объемами до 250 тонн в год, которая позволяла полностью покрывать потребности регионов. Однако была плохо поставлена информация, что делается в других странах, где добывается торф.

Противопожарная безопасность. После пожаров 1972 г. были проведены мероприятия, позволившие резко поднять противопожарную безопасность. Были подобраны дополнительные водохранилища, в т. ч. и карьеры кускового торфа. Запасы воды были доведены до 82 млн. м^3, что позволяло иметь по 500 м^3 воды на каждый гектар полей. Были подобраны навесные насосы к тракторам, что позволило иметь по пожарному агрегату на 15 га в опасный период. Созданы опорные пункты, где хранилось до 10% пожарного оборудования (рукава, стволы, гайки), что позволило оперативно подать их на любое торфопредприятие области. Персонал, работавший на добыче торфа, был обучен действиям на пожаре и мог руководить придаваемыми на время пожара дополнительными людьми. Были созданы передвижные емкости для тушения отдельных очагов, насосные станции, трубопроводы. Велось постоянное наблюдение за полями добычи. В 2010 г. горели площади, брошенные «на произвол судьбы».

1992–2011 гг. Период потери основных потребителей и краха торфяной отрасли. Причины

В этот период по торфяной промышленности был нанесен ряд ударов (целенаправленно или по дилетантству), которые оказались смертельными для ряда предприятий или поставили их на грань выживания.

Массовый перевод ряда потребителей (главное – электростанции на природный газ, не задумываясь, что будет с торфяной отраслью). Это – безответственный подход к решению вопросов, касающихся сотен тысяч людей.

Отказ сельского хозяйств от торфа в связи с резким сокращением финансовой поддержки со стороны государства сельскохозяйственной отрасли.

Совершенно необоснованно Гостехнадзор отнес торфяные разработки к опасным производственным объектам (Приказ № 389 от 25.04.2006 г. «Об утверждении перечня типовых видов опасных производственных объектов для целей регистрации в Государственном реестре»). Таким образом, добыча торфа была поставлена под контроль маркшейдерских служб только потому, что они умеют работать с геодезическими инструментами, которые при добыче торфа абсолютно не нужны. В вопросах технологии добычи торфа и его учета маркшейдерские службы малокомпетентны. Все это больше похоже на коррупционную авантюру, чем на серьезное государственное решение в области контроля за отраслью.

Нестыковки в текстах Лесного кодекса, Водного кодекса, закона «О недрах» позволили местным властям резко поднять плату за землю. Так, по Шатурскому району плата поднялась в 900 (девятьсот!) раз. Местный торф стал неконкурентоспособным по сравнению с дальнепривозным углем, имеющим льготный тариф на перевозку. Это позволяло хозяевам Шатурской ГРЭС отказаться от торфа. Торфопредприятия потеряли потребителя и вынуждены были закрыться. Сотни человек остались без работы. Поля добычи торфа – без контроля со стороны производственного персонала, умеющего контролировать пожарную опасность. В условиях жаркого лета 2010 г. это привело к пожарам и смогу в Москве и повышенной смертности населения.

Длительное время не решаются вопросы, накопившиеся в 90-е годы, без чего торфяная промышленность не может быть восстановлена.

Таким образом основой мощностей торфяной промышленности являются поля добычи торфа с осушительной и противопожарной сетью. Таких полей к 90-м годам было около 100 тыс. га. После прекращения добычи торфа эти поля в противопожарных целях были подтоплены, т. е. теперь это сырые площади. На них нельзя выращивать культурные растения, нельзя ничего строить. Эти площади практически нельзя использовать кроме как для добычи торфа. Сейчас они заболачиваются и зарастают кустарником. В жаркое лето их нужно подтапливать из водохранилищ, которые также нужно обслуживать.

Чтобы задействовать эти мощности (топливную базу на 5000 МВт, что примерно соответствует 5 атомным энергоблокам по 1000 МВт каждый), нужны серьезные объемные потребители: энергетические или для сельского хозяйства (для нейтрализации отходов животноводства и

птицеводства, превращая их в эффективные органические удобрения). Одновременно решаются экологические вопросы загрязнения земель (более 2,5 млн. га), и обеспечения сельскохозяйственных земель органическими удобрениями (без химии) для 5–7 млн. га.

Подготовка к эксплуатации неиспользуемых полей добычи в десять раз дешевле подготовки новых мощностей и требует 1–2 лет (на объект), простейших осушительных и болотно-подготовительных работ.

Благоустроенные поселки для торфяников существуют. В ряде случаев имеющиеся на поселках котельные за счет пристройки к ним отделений генерации, как это сделано в Белоруссии, могут быть превращены в мини-ТЭЦ. Выпускаемые ими электроэнергия и тепло значительно дешевле получаемых со стороны.

На основе тепла мини-ТЭЦ может быть организован выпуск местного бытового топлива (пеллет и брикетов) с использованием торфа для постепенной замены дальнепривозного топлива (уголь, мазут). Все это будет способствовать наполнению местных бюджетов и улучшению демографии.

Создание малой распределенной энергетики на местных видах топлива (широкой сети мини-ТЭЦ) – важнейшее звено *возрождения и развития русской провинции.*

Есть еще ряд вопросов, актуальных для торфяной промышленности и требующих скорейшего решения.

1. Необходимо срочно отменить приказ № 389 от 25.04.2006 г. Гостехнадзора в части отнесения торфяных разработок к опасным производственным объектам и исключить их из Государственного реестра опасных производственных объектов.

2. Укрепить управление торфяной отраслью, создав в Департаменте по углю и торфу в Минэнерго РФ сначала подотдел, а затем и полноценный Департамент по торфу в этом министерстве. Создать и подчинить Департаменту по углю и торфу Государственную инспекцию по качеству торфа.

В качестве самостоятельной фирмы преобразовать Ростоппром в частно-государственную вертикально интегрированную компанию (ВПК «Ростоппром»).

В регионах, по-видимому, целесообразно создавать частно-государственные вертикально интегрированные компании, объединяющие все фирмы, занимающиеся торфом (например: ВИК «Владимирторф», ВИК «Калининградторф», ВИК «Ярторф» и др.), обеспечивающие проверенную техническую политику в регионе в области добычи и использования торфа.

3. Установить для компаний, добывающих торф, различные льготные формы кредитования, отвечающие специфике их деятельности (на предсезонные затраты, продленные сроки реализации готовой продукции до момента окончания ее вывозки, затраты на восстановление неиспользуемых мощностей (полей добычи) до начала их повторной эксплуатации и др.).

4. НП «Росторф» является национальным комитетом России, входящим в Международное торфяное общество (МТО – IPS). До 2008 г. представитель России всегда был одним из заместителей руководителя этого общества. В 2008 г. эта позиция была потеряна. Наверное, нужно попытаться вернуть ее России в 2012-м или в 2016 г. Это вопрос престижа России. Департамент по углю и торфу Минэнерго РФ, по-видимому, не должен упускать из виду этот вопрос.

Основой информационного обслуживания торфяной отрасли является журнал «Торф и Бизнес», но тяжелое финансовое положение не обеспечивает его регулярный выпуск. Наверное, Минэнерго РФ могло бы как-то решить этот вопрос.

Нормальное информационное обеспечение отрасли является одним из условий ее стабильной работы. Международное торфяное общество (МТО – IPS) дважды в год выпускает журнал «Peatlands International» и один раз в месяц – газету «Новости торфа» (оба издания на английском языке). Наверное было бы целесообразно привлечь к этой работе «Инсторф» (г. Тверь). Возможно, распространение этой информации помогло бы работникам отрасли.

7. Выделение «Торфяного промышленного фонда» с глубиной торфяной залежи 1,0 м и более в неосушенном состоянии позволило бы резко сократить объемы геолого-разведочных работ по торфу, сконцентрировав их на главных направлениях, хотя бы до тех пор, пока геолого-разведочные организации не наберут силу.

8. Сейчас различные организации и компании обращаются за экспертными оценками к различным специалистам, зачастую не имеющим специального образования и опыта работы в торфяной отрасли и своими зачастую ошибочными рекомендациями (подобными рекомендациям затопить торфяные месторождения за счет перекачки воды из р. Ока в Шатурском районе) приносящим скорее убытки, чем пользу.

9. Целесообразно на уровне Департамента угля и торфа Минэнерго РФ утвердить перечень официальных экспертов торфяников, чьи экспертные оценки были бы официальными, – начиная от Государственной думы и до всех компаний в России. Необходимость восстановления торфяной промышленности потребует резкого увеличения объектов подготовки инженерных кадров и изменения направлений подготовки с

экологического и природопользовательского на производственное.

10. Факультету природопользования и инженерной экологии Тверского государственного технического университета, по-видимому, следует возвратить его прежнее название «Механико-технологический». Количество принимаемых студентов, наверное, придется увеличить до 250 человек.

11. НП «Росторф» должен быть сориентирован не только на добычу торфа, но и на использование отходов производств, где *торф выступает как стабилизирующее топливо в смеси с отходами, таких как:*

- торф – нефть (Борский торфобрикетный завод в Нижегородской обл. с 2004 г. выпускает 200 тонн в год бытовых брикетов из смеси торфа с отходами нефти);
- торф – каменноугольная мелочь (брикетированное бытовое топливо с размерами диаметром 40–50 мм, которое может использоваться не только в печах, но и в котельных и даже для отопления железнодорожных пассажирских вагонов, что для России с ее расстояниями ненадежно);
- торф – треста (отходы льняного производства);
- торф – лузга (отходы производства подсолнечного масла);
- торф – шелуха (отходы рисового производства и других зерновых);
- торф – лигнин (отходы водочного производства) и др.

Все это требует серьезных научных проработок. Выявление наилучших процентных соотношений, соответствующих производственных регламентов. Использование этих отходов производства сократит объем отходов и увеличит производство местных видов топлива, улучшит экологическую обстановку.

Одновременно можно производить опыты по газификации этих видов топлива.

Наверное, нужно провести и представить серьезные обоснования, чтобы под эти работы было выделено государственное финансирование. ВНИИТП и ТГТУ («Инсторф») в этом обязательно должны участвовать как специалисты по торфу. ЭНИН – как специалисты по использованию различных видов топлива.

Регионы и компании, заинтересованные в решении этих вопросов, должны обеспечить финансирование этих работ.

12. НП «Росторф», ВНИИТП, ТГТУ («Инсторф») являются мозговыми центрами торфяной промышленности. Они призваны следить за направлениями развития отрасли в России и в других странах. Выявлять допущенные у себя ошибки и вырабатывать эффективные решения по направлению развития.

Поддержание их в рабочем состоянии – одно из главнейших условий успешного развития торфяной отрасли, ее успешного восстановления.

13. О машиностроительной и ремонтной базе торфяной промышленности.

На начало 90-х годов все предприятия торфяной промышленности имели свою ремонтную базу – механические мастерские (цеха) с необходимым станочным оборудованием. Некоторые цеха имели пролеты по 18 м, где были установлены мостовые подъемные краны. Так, цех на торфопредприятии «Дымное» имел 5 таких пролетов длиною по 108 м, цех на Уломском – 4 пролета, – на Свитском – 3 пролета, несколько цехов имели по 2 таких пролета.

Многие цеха имели 12-метровые пролеты. Все это обеспечивало нормальный ремонт оборудования в зимний период.

Наличие такой ремонтной базы и эффективное использование с выдачей собственникам продуманных заказов позволяет создать машиностроительную базу для восстанавливаемой торфяной промышленности.

Необходимо также использовать машиностроительную базу Белоруссии (в первую очередь по выпуску колесных тракторов).

Перевод отрасли на использование колесной техники – одно из условий ее успешной модернизации.

Выше приведены 12 главных вопросов, без решения которых, по моему мнению, восстановление нормальной работы торфяной промышленности невозможно.

Восстановить систему управления на региональном уровне – одна из важнейших задач, стоящих перед торфяной отраслью.

Перспективный период. 2012–2100 годы

Не найдя или не создав потребителей, торфяная промышленность не может быть восстановлена. А ее ранее созданные мощности, примерно равные 5 атомным блокам по 1000 МВт каждый, не могут быть использованы.

Торф – второе по запасам (после угля) топливо России – 61,3 млрд тонн условного топлива (т у. т.). Больше чем запасы нефти – 31 и газа – 22 млрд т у. т. (на 01.01.2005 г.)

Торф – возобновляемое топливо. Его ежегодный прирост – 88 млн т у. т.

Идет медленное, но неуклонное заболачивание территории 63 регионов страны.

Торф – отличный сорбент, который может широко использоваться в экологических целях.

Но торф – типичное местное топливо с низкой калорийностью и низким насыпным объемным весом, и должен использоваться как местное топливо.

Период до 2030 г. Начало восстановления используемых мощностей. Мини-ТЭЦ.

В период работы Государственной думы очередного созыва попытаться решить вопросы, перечисленные в 4-м периоде, т. е. снять те петли, которые душат торфяную отрасль, в первую очередь, по вине дилетантов из предыдущих созывов ГД.

Возможные варианты развития.

Вариант I. С поставкой торфа на действующие ГРЭС.

Частичное использование торфа на действующих электростанциях, возможно с применением директивных методов, позволит включить в работу торфопредприятия крупных торфяных топливных баз.

1. Смоленская ГРЭС – до 500 тыс. т – поставка со Свитского торфопредприятия.

2. Псковская ГРЭС – до 500 тыс. т – поставка с Полистовского торфопредприятия с его соответствующим развитием.

3. Череповецкая ГРЭС – 500 тыс. т – поставка с Уломского торфопредприятия.

4. Шатурская ГРЭС – 500 тыс. т – поставка с торфопредприятий Московской, Владимирской и Рязанской областей.

Все эти электростанции имели разгрузсараи, способные даже в зимнее время принимать до 1 млн. тонн торфа в год. В критических ситуациях поставка торфа на 1–3 месяца может быть увеличена до объемов, обеспечивающих выработку электроэнергии в 100 МВт.

Перегрузочные пункты должны быть рассчитаны на поставку торфа в увеличенных объемах.

Соответственно должны быть рассчитаны и резервные топливные склады этих ГРЭС.

В настоящее время в большой энергетике есть электростанции, частично работающие на торфе. Наиболее крупные из них: Кировская ТЭЦ-4 и Тверская ТЭЦ-4. Наверное, интересно было бы получить анализ эффективности использования на этих станциях торфа в сравнении с другими видами топлив (непосредственно по поставленным гигакалориям, отбросив льготы).

Вариант II. Для создания современных потребителей местного торфяного топлива целесообразно начать создавать мини-ТЭЦ как элементы сети милой распределенной энергетики. Одновременно восстанавливая неиспользуемые в настоящее время мощности торфяной промышленности.

Список таких мини-ТЭЦ и торфопредприятий должен быть согласован с регионами.

Для восстановления торфяной промышленности только по II варианту – за счет создания сети мини-ТЭЦ – приводим сводный ориентировочный перечень возможных мини-ТЭЦ (табл. 4).

Табл. 4. Перспективные регионы для строительства и использования мини-ТЭЦ

Tab. 4. Promising region for the construction and use of CHP

№ п/п	Наименование региона	Мини-ТЭЦ, возможные к созданию до 2030 года				
		Всего ед. мощн. МВт		В т. ч. с мощн. > 8 МВт		Примечание: необходимый объем добычи торфа, тыс. т
				един.	мощн.	
	Всего по 17 регионам	71	565	20	321	5650
1	Владимирская область	5	46	2	32	460
2	Вологодская	3	48	3	48	480
3	Ивановская	6	48	1	24	480
4	Костромская	3	18	1		180
5	Кировская	5	58	3	48	580
6	Ленинградская	4	30	1	16	300
7	Нижегородская	7	40	2	16	400
8	Новгородская	5	54	2	40	540
9	Московская	3	14	–	–	140
10	Рязанская	2	10	–	–	100
11	Псковская	5	54	2	40	540
12	Свердловская	5	59	3	49	590
13	Смоленская	2	10	–	–	100
14	Тверская	6	29	–	–	290
15	Тюменская (юг)	3	14	–	–	140
16	Ярославская	3	14	–	–	140
17	Удмуртская респ.	4	19	–	–	190

Период 2030–2050 гг. Продолжение восстановления неиспользуемых мощностей.

Кроме 69 торфопредприятий (71 мини-ТЭЦ), указанных в ориентировочном перечне, есть еще 146 торфопредприятий, где имелись мощности по добыче торфа. Выявление и включение их в использование – дальнейшая задача.

Для этих предприятий очень важно уточнение оставшихся запасов торфа (работа для геологоразведки) и подбор возможных потребителей (как топлива, так и для сельского хозяйства), т. к. это в основном небольшие торфопредприятия.

Будут расширяться мощности, работающие сейчас, и создаваемые после 2012 года.

По-видимому, будет проводиться разработка схем размещения предприятий торфяной промышленности в Сибири и на Дальнем Востоке.

В Томской области запасы торфа составляют 31 млрд. тонн (в 40% условной влажности) и около 80% населенных пунктов есть крупные торфомассивы, которые могут стать топливными базами их теплоэнергоснабжения. Например, в Верхнекетском районе (центр – пос. Белый Яр) запасы торфа оцениваются в 3 млрд тонн.

Наверное, в этот период придет время создавать «Томскгипроторф» с геологоразведочными и научно-исследовательскими подразделениями, что позволит более приближенно к местным условиям решать вопросы торфяной промышленности в Сибири и на Дальнем Востоке (филиал в Хабаровске).

В Ханты-Мансийском АО (ХМАО), где в ближайшие десятилетия будет заканчиваться добыча нефти, для живущих там людей потребуются рабочие места. Запасы торфа в этом регионе оцениваются в 40 млрд. тонн (в 40% условной влажности). Есть несколько тысяч гектар торфомассивов залитых разлившейся нефтью. Наверное следует рассматривать эти площади не как загрязненные территории, а как с запасами ценного сырья торф–нефть (ТН), которые может быть использовано как топливо, Торф-нефть (ТН) как сырье еще не имеет технологии добычи, транспортирования и использования. Их еще предстоит создавать. Но такое сырье из Приобья никуда не повезешь, его можно использовать только на местных электростанциях. Наверное, этим вопросом пора заняться уже сейчас.

Крупные запасы торфа на Дальнем Востоке есть на Камчатке – 4,4 млрд т, в Амурской обл. – 1,59 млрд т, в Хабаровском крае – 1,2 млрд т, на острове Сахалин – 1 млрд тонн.

Здесь есть торфяные месторождения, расположенные менее 200 км от морских портов, через которые продукция на основе торфа может поставляться во всему Азиатско-Тихоокеанскому региону.

Крупные запасы торфа есть в Республике Коми – 7,5 млрд тонн, Свердловской (8 млрд тонн), Вологодской (5,4 млрд тонн), Архангельской (3,9 млрд тонн), Кировской (0,95 млрд тонн) областях.

Период 2050–2100 гг. Создание новых торфяных мощностей в неосвоенных районах.

Запасы торфа в многих регионах, как мы видим, позволяют развернуть его широкое использование, но для этого необходимо создать возможности. Реорганизовать управление торфяной отраслью, в т. ч. и на региональном уровне, восстановить подготовку кадров, научно-исследовательские, проектные, геолого-разведочные, информационные и др. организации, как это было сделано в 20-е годы XX столетия.

Без этого устойчивое развитие отрасли невозможно. Особое внимание должно быть уделено газификации фрезерного торфа. Это позволит превратить торф в газ – всем привычное и удобное в использовании топливо.

Активные угли и малая местная энергетика. ОАО «ЭНИН им. Г.М. Кржижановского» разработана технология по маломасштабному производству активных углей на основе торфа и древесных отходов – «ЭЧУТО – МИДАС».

Возникает возможность выпуска во многих регионах активных углей на основе местных ресурсов, а следовательно, и установок по очистке воды. Резервов МЧС на всех может и не хватить. Каждый регион, по-видимому, должен иметь свои резервы, а не рассчитывать на заводы, выпускающие активные угли в централизованном порядке.

Технология «МИДАС» расшифровывается как маломасштабное изготовление дешевых адсорбентов. Разработана установка «ЭЧУТО – МИДАС-42», рассчитанная на выпуск 250 тонн активных углей в год, на основе торфа и древесных отходов. Это позволит обеспечить мини-ТЭЦ региона своими материалами для очистки воды.

Учитывая возможность производства пеллет в цехах при мини-ТЭЦ, эти пеллеты могут быть использованы при производстве активных углей в установках «ЭЧУТО – МИДАС».

Установка ЭЧУТО (экологически чистая утилизация твердых отходов) выпускается ООО ВП – СЕРВИС уже несколько лет. В России выпущено около 70 таких установок. В указанной технологии работает как пиролизер.

Установка ЭЧУТО может быть использована как малый мусоросжигательный завод, на котором утилизируются органические отходы от медицинских (включая хирургические и тушки птиц, погибших от «птичьего гриппа») до автомобильных шин и нефтеотходов при разливах нефти.

Одновременно может использоваться как котельная, вырабатывающая 0,03 Гкал/час тепла.

Торф для сельского хозяйства. Только торф по возможным объемам добычи, своим сорбционным свойствам и распространенности на территории страны в 63 регионах может полностью нейтрализовать отходы птицефабрик и животноводческих комплексов, включая крупные.

Использование чистого торфа в качестве удобрений малоэффективно и не должно поощряться, т. к. ведет к закислению и засорению почв сорными растениями.

В то же время торф и сапропель являются хорошей основой для мелиорантов и удобрительных смесей.

Мелиоранты – это композиционные материалы на основе торфа или сапропеля, прошедшие перемешивание и компостирование вместе с птичьим пометом или навозом не менее 3–4 месяцев в штабелях объемом не менее 100 тонн.

При этом мелиоранты в штабелях разогреваются до температуры около 65 °С и все семена сорных растений и болезнетворные микробы теряют свою жизнеспособность.

Мелиоранты применяются для восстановления нарушенных и вновь осваиваемых бедных (песчаных) почв в объемах не менее 100–500 тонн на гектар и действуют в течение около 10 лет.

Удобрительные смеси действуют в течение 1–2 вегетационных периодов (лет), вносятся в объеме не более десятков тонн на гектар, а также выпускаются в основном в упакованном виде (3–10 кг) для садоводов и огородников, но могут храниться и в штабелях.

Птицефабрика на 400 тыс. кур-несушек или на 6 млн цыплят-бройлеров дает в год 40 тыс. тонн птичьего помета. Соотношение птичьего помета и водопоглотителя – торфа – 1:1. Потенциал производства удобрений на основе птичьего помета – 60 млн тонн.

Ученые и специалисты сельского хозяйства разработали технологию, подобрали отечественное оборудование и получили необходимые разрешительные документы на производство ускоренного выпуска биокомпоста на основе птичьего помета и торфа.

Подобные технологии могут быть разработаны и для навоза в животноводстве.

УДК 662.731.014:543.5

Гамаюнов Н.И.

Гамаюнов Николай Иванович, д. т. н., проф. каф. теплофизики ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет» (ТвГТУ). Тверь, наб. Аф. Никитина, 22.

Гамаюнов С.Н.

Гамаюнов Сергей Николаевич, д. т. н., проф. каф. торфяных машин и оборудования ТвГТУ. sng61@mail.ru

Gamayunov N.I.

Gamayunov Nikolai Ivanovich, Dr. Sc., Prof. Department. Thermal Physics VPO “Tver State Technical University” (TvGTU). Tver, nab. Af. Nikitina, 22.

Gamayunov S.N.

Gamayunov Sergey N., Dr. Sc., Prof. Department. peat machines and equipment TvGTU. sng61@mail.ru

СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ФИЗИКИ ТОРФА

Аннотация. Предложены новые подходы к процессам сорбции, массопереноса, ионного обмена, электрокинетических явлений, набухания, усадки и прочности торфа.

Ключевые слова: торф, сорбция, осмотический влагоперенос, ионный обмен, электрокинетические явления, прочность

MODERN ASPECTS OF PHYSICS PEAT

Abstract. New approaches to the processes of sorption, mass transfer, ion exchange, electrokinetic phenomena, swelling, shrinkage and strength of peat.

Keywords: peat, sorption, osmotic water transfer, ion exchange, electrokinetic phenomena, strength

Влагонасыщенный торф – концентрированный водный раствор совокупности различных высокомолекулярных соединений (ВМС), их комплексов (ассоциатов, агрегатов) и минеральных включений различной дисперсности. Такая система не имеет межфазной границы раздела между органическими компонентами торфа и водой. Это смесь твердых и жидких компонентов. Основная часть поглощенной торфом влаги – осмотическая. Поэтому его структуру некорректно моделировать в виде системы капилляров. Эти особенности торфа необходимо учитывать при рассмотрении процессов сорбции, массопереноса, ионного обмена, электрокинетических явлений, реологии и прочности [1, 2].

Сорбция

Для ненабухающих пористых материалов поры разделяют на микропоры с радиусами $r < 0{,}6–0{,}7$ нм, супермикропоры $0{,}6–0{,}7 < r < 1{,}5–1{,}6$ нм, промежуточные $1{,}5–1{,}6 < r < 100–200$ нм и макропоры $r > 100–200$ нм (0,1–0,2 мкм) [2].

Структура торфа существенно отличается от известных адсорбентов (силикагелей, цеолитов и др.). В ненабухшей матрице торфа преобладают в основном микропоры. При этом их размер при сорбции молекул воды должен быть уменьшен до $r \approx 0{,}15$ нм, так как размер молекулы воды равен 0,29 нм. В таких микропорах может сорбироваться только одна молекула воды. В более крупных – их совокупность, «гроздья» молекул. Молекулы внутри матрицы связаны когезионными связями. Обезвоженный тор близок по свойствам твердым телам (диэлектрикам). По мере поступления молекул воды вовнутрь торфа происходит разрушение части когезионных связей. Макромолекулы матрицы торфа приобретают конформационную подвижность [4]. В процессе сорбции молекул воды происходит их одновременное взаимодействие с двумя соседними звеньями макромолекул через водородные связи. Это вызывает уплотнение (контракцию) матрицы [2]. По мере дальнейшего поглощения воды когезионные связи между макромолекулами продолжают разрушаться. Матрица набухает. В этом случае она имеет широкий спектр пор, размер которых может достигать более 1000 мкм (1 мм).

Механизм сорбции молекул воды внутри зазоров между звеньями макромолекул (микропор) существенно отличается от их адсорбции на идеальных плоских поверхностях твердых тел, на которых адсорбированные молекулы имеют возможность обмениваться с молекулами из внешней парогазовой среды. Внутри не имеющих «стенок» пор (микрополостей) молекулы воды адсорбируются на полярных активных центрах (–COOH, –OH и др.). Между ними возникают водородные связи. На первичные сорбированные молекулы воды в более крупных микрополостях размером 1–2 мкм адсорбируются последующие молекулы H_2O. Образующиеся «гроздья» молекул заполняют всю микрополость. Внешние молекулы этих «гроздей» взаимодействуют с другими полярными группами через Н-связи, а также возникает обычное молекулярное взаимодействие с гидрофобными радикалами макромолекул. Такая совокупность адсорбированных молекул не имеет свободного обмена с молекулами пара из внешней парогазовой среды. Последние должны продиффундировать внутрь пространственной сетчатой матрицы из макромолекул ВМС, которая частично заполнена молекулами сорбента, к месту, где находится «гроздь», и обменяться на сорбированные молекулы.

Следует учитывать такжето обстоятельство, что с водяным паром вовнутрь матрицы торфа поступают молекулы газов (кислорода, азота и др.). Число их молекул существенно больше, чем молекул пара H_2O. Они также адсорбируются на гроздьях молекул воды, но взаимодействия их с «гроздьями» макромолекулами ВМС и минеральными частицами происходит за счет сил Ван-дер-Ваальса.

Молекулы воды, взаимодействующие с полярными активными центрами через водородные связи, имеют время «жизни» существенно больше, чем при молекулярном взаимодействии с гидрофобными радикалами. Поэтому молекулы воды «вытесняют» молекулы газов и образуют «гроздья». Часть сорбированных молекул за счет флуктуаций десорбируются. На их места адсорбируются поступившие из внешней парогазовой среды молекулы пара. Десорбированные молекулы стремятся вновь адсорбироваться на «гроздьях». Если это не происходит, то десорбированные молекулы диффундируют внутри пор торфа и затем переходят в парогазовую среду.

По мере увеличения количества сорбированных молекул отдельные «гроздья» вступают в контакт с другими ассоциатами молекул воды. Возникает заполнение всех микрополостей матрицы. При последующем поступлении вовнутрь матрицы молекул воды происходит заполнение более крупных полостей между ассоциатами ВМС, входящих в состав в особенности верхового торфа. При таком механизме поглощения влаги уравнения Лэнгмюра, БЭТ приближенно применимы только в период адсорбции воды на активных центрах и образования ассоциатов сорбированных молекул на полярных группах ВМС.

Изотерма сорбции воды на торфе имеет три участка (рис. 1). На первом участке 0А происходит сорбция на полярных активных центрах внутри плотной матрицы торфа [2]. На втором участке АВ – заполнение более крупных микрополостей и промежуточных пор, а также поступление в них осмотической влаги – начало набухания матрицы торфа. На третьем участке ВС – поглощение осмотической воды матрицей – набухание. Поглощенная влага стремится растворить минеральные и органические составляющие торфа до ионного, молекулярного состояния, а затем довести их концентрацию в пределе до нуля. Некоторые органические гели (например, желатин) с повышением температуры образует растворы макромолекул в воде [3, 4]. В торфе полного растворения органических компонентов не происходит. Возникает ограниченное растворение – набухание. Тем не менее, наблюдается перенос во внешнюю водную среду фульвовых и гуминовых кислот, растворов солей и других компонентов.

Внутри матрицы возникают процессы, которые происходят в известном опыте с объемом раствора, помещенного в полупроницаемую оболочку. Через микропористую оболочку молекулы воды переносятся в раствор. Молекулы ВМС, гидратированные ионы растворенного вещества из-за их размеров, превышающих диаметры микропор, не перемещаются через оболочку. Образуется осмотическое давление. Оно возникает также при сорбции молекул воды.

В процессе набухания разрываются водородные связи между полярными группами макромолекул. Это приводит к росту числа полярных групп, на которых дополнительно адсорбируются молекулы воды.

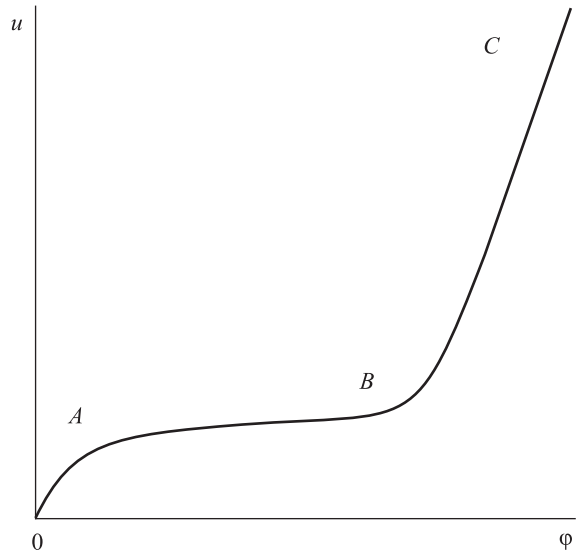


Рис. 1. Изотерма сорбции воды торфом
Fig. 1. Sorption isotherm of water peat

Процесс набухания прекращается, когда возникающее при растворении компонентов торфа, а также адсорбции молекул воды осмотическое давление становится равным упругим напряжениям в матрице торфа. Процесс обезвоживания (сушки) происходит в обратном порядке: вначале удаляется осмотическая влага. Затем вода в промежуточных и микропорах. При этом происходит усадка торфа за счет возрастающего осмотического давления. С уплотнением структуры матрицы при усадке работа десорбции влага при одинаковом влагосодержании из микро- и промежуточных пор больше, чем при сорбции. Изотермы сорбции–десорбции торфа образуют петлю гистерезиса [2].

Осмотический влагоперенос

При капиллярном влагопереносе полагают, что имеется поверхностное натяжение жидкости. Оно возможно в вакууме. Но в вакууме жидкость переходит в пар. В реальных условиях при контакте с парогазовой средой происходит адсорбция паров воды и газов на поверхности жидкости. В связи с этим «ненасыщенный» поверхностный слой жидкости «насыщается». Поверхностное натяжение стремится к нулю [5].

В набухшем торфе отсутствуют капилляры и поверхностное натяжение. Влагоперенос возникает под воздействием градиентов осмотического давления.

В процессе сушки торфа парциальное давление пара p меньше, чем насыщенного пара p_s над поверхностью больших объемов жидкости. Относительная влажность над поверхностью образца торфа

$$\varphi = \frac{p}{p_s} = \frac{n_1}{n_1 + n_2} = \frac{u - u_0}{u}, \qquad (1)$$

где u – общее влагосодержание, кг воды/кг сухого вещества торфа; u_0 – влагосодержание, соответствующее сорбированной и поглощенной в микропорах воде, кг/кг; n_1 – количество молей поглощенной осмотической влаги; n_2 – количество молей сорбированной воды. Величина осмотической воды существенно больше, чем сорбированной ($n_2 >> n_1$).

Между процессами сорбции молекул жидкости и растворения в ней различных веществ наблюдается аналогия.

При поглощении воды происходит изменение химического потенциала сорбированной жидкости m относительно объемной (осмотической) жидкости μ_0. Возникает разность химических потенциалов $\Delta\mu = \mu - \mu_0$. Работа сорбции моля

жидкости равна: $A_c = -\Delta\mu = -RT \ln p/p_s$ [6, т. I, с. 483]. С изменением химического потенциала в объеме при сорбции жидкости, как и в растворах, образуется осмотическое давление p_c [6, т. I. с. 244].

Для торфа с большим влагосодержанием при постоянных значениях температуры и внешнего давления с учетом соотношений (1) имеем следующие зависимости:

$$-\Delta\mu = p_c\overline{V}_1 = -RT\ln p/p_s = RT\ln(1 + n_1/n_2) \approx RTn_2/n_1 \quad \text{при } n_2 << n_1, \qquad (2)$$

где $\overline{V}$ – объем моля жидкости, м^3/моль; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль · K).

Для совершения активационного скачка [7] требуется энергия, которая поступает в открытой системе из окружающей среды [8]. Она необходима для разрыва межмолекулярных связей мигрирующей молекулы с соседними, а также для получения кинетической энергии, скорости v и соответственно импульса для хаотического перемещения в свободных полостях смеси торф–вода. Совершающие активационные скачки при скорости $v > 0$ молекулы внутри жидкости и матрицы торфа на короткое время превращаются во внутренний пар.

После передачи импульсов молекулам жидкости и матрице молекулы пара конденсируются и восстанавливают межмолекулярные связи с окружающими молекулами. Но за счет флуктуаций, которые играют большую роль в открытых системах, вновь образуются молекулы внутреннего пара. При постоянной температуре и внешнем давлении на смесь осредненное число активационных скачков также остается постоянным.

Внутренний пар из контактирующей осмотической жидкости свободно переходит к находящимся на активных центрах молекулам сорбированной жидкости внутри пор матрицы. Переход сорбированных молекул в объем осмотической жидкости затруднен, так как они связаны молекулярными силами матрицы торфа.

Молекулы внутреннего пара осмотической жидкости при соударениях передают свою кинетическую энергию сорбированным молекулам. Это способствует их десорбции и переходу в пар. На их место сорбируются молекулы внутреннего пара осмотической жидкости. При динамическом равновесии число десорбированных молекул при $n_2 << n_1$ равно или, в общем случае, пропорционально количеству молекул внутреннего пара, поступающих из осмотической жидкости. Следовательно, число молей сорбированных молекул, переходящих в пар, $n_2' = \gamma n_2$, где коэффициент $\gamma \leq 1$.

Молекулы пара из объема сорбированной жидкости отталкиваются от активных центров внутри матрицы торфа и передают свои импульсы молекулам осмотической жидкости, занимающей объем $n_1\overline{V}_1$. Возникает дополнительное осмотическое давление p_c. Согласно соотношениям (2) оно равно: $p_c = \gamma n_2 RT / (n_1\overline{V}_1)$.

С поступлением в матрицу извне воды процесс становится неравновесным. При этом согласно соотношениям (2) значения $n_1 \to \infty$, $\varphi \to 1$, $\Delta\mu \to 0$. Если скорость поступления жидкости в матрицу мала, то процесс поглощения воды матрицей торфа во времени t можно рассматривать как последовательную смену квазиравновесных состояний.

После дифференцирования по переменным t и n_1 при n_2 = const и умножения первой и четвертой составляющей равенств (2) при постоянной температуре на отношение $M_1 n_1 / s_p$ получим:

$$-\frac{M_1 n_1}{s_p}\frac{d\Delta\mu}{dt} = -\frac{RTM_1}{s_p\left(1 + n_1/n_2\right)}\frac{dn_1}{dt} = \frac{RTn_2}{n_1 + n_2}q_1, \qquad (3)$$

где M_1 – масса моля жидкости, кг/моль.

Одномерный поток q_1 (кг/(м^2·с), параллельный оси образца торфа постоянного сечения s (м^2), с учетом соотношений (1) и (3) равен:

$$q_1 = \kappa_0\frac{dp_c}{dx} = -\frac{\kappa_1}{\varphi}\frac{d\varphi}{dx} \approx \kappa_1 u_0\frac{d}{dx}\left(\frac{1}{u}\right) = -\frac{\kappa_1 u_0}{u^2}\frac{du}{dx}, \qquad (4)$$

где $k_0 = D_1M_1/RT$, с; $k1 = D_1\rho_1$, кг/(м·с) – коэффициенты влагопереноса; D_1 – коэффициент диффузии воды, м^2/с; ρ_1 – ее плотность, кг/м^3.

Согласно соотношениям (4) информацию об интенсивности влагопереноса можно получать путем измерений градиентов осмотических давлений осмометрами, датчиками относительной влажности парогазовой среды φ и влагосодержания u.

Были проведены определения осмотических давлений в цилиндрических образцах торфа в процессе сушки с помощью микроосмометров. Это запаянные с одного конца стеклянные капилляры с внутренними радиусами в несколько микронов и долей микронов, которые заполняли дистиллированной водой. Открытым концом их внедряли во влажный торф [1, 9].

Согласно экспериментам, осмотические давления в поверхностных слоях образцов мелкокускового торфа достигают более 1 МПа, а в центре они меньше (рис. 2). Под воздействием разности осмотических давлений происходит перенос воды. Интенсивность сушки (кривая 2) снижается по мере увеличения p_c из-за усадки торфа. Влага перемещается в направлении

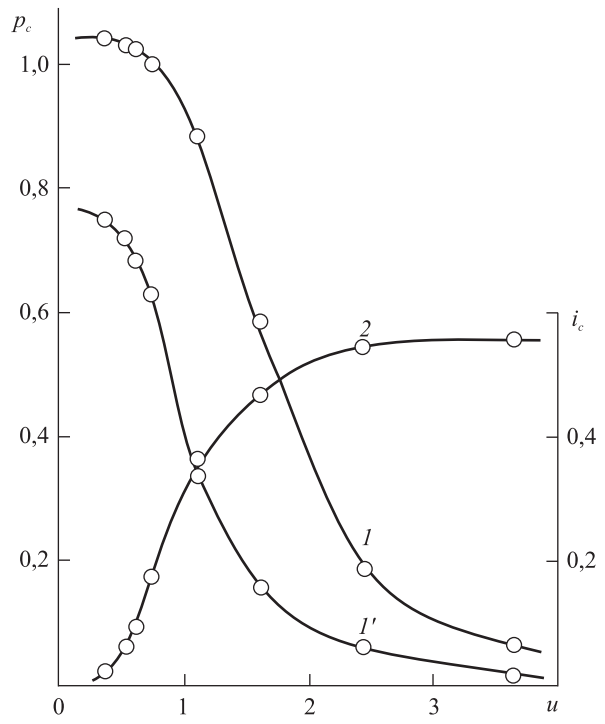


Рис. 2. Изменение осмотического давления p_c (MPa) в процессе сушки на поверхности (*1*) и в центре (*1′*) цилиндрического образца торфа; зависимость интенсивности сушки i_c (кг/(м^2 · ч)) (*2*) от влагосодержания *u* P

Fig. 2. Change the osmotic pressure Pc (MPa) in the drying process at the surface (1) and the center (1') cylindrical sample peat, drying the intensity Ic (kg / (m^{2}h)) (2) from moisture and R

больших значений p_c, то есть в объемы образца, в которых концентрация осмотической воды n_1 меньше.

Влагоперенос при температуре $T > 273$ °К происходит в виде пара и жидкости. Уравнение потока жидкости по системе макропор имеет вид [1, 9]:

$$q_{ж} = -\frac{D\gamma_0 u}{RT}\left[\left(\frac{RT}{u} - \frac{dU}{du}\right)\frac{du}{dx} + \frac{U}{T}\frac{dT}{dx} + \frac{M_1}{\rho_1}\frac{dP}{dx}\right],$$

где P – внешнее гидростатическое давление; $\gamma_0 = \gamma / (1 + u)$, γ – плотность влажного торфа; U – энергия связи молекул воды с активными центрами матрицы торфа, Дж/моль.

Молекулы воды могут совершать трансляции при наличии градиентов осмотических давлений. Молекулы сорбированной влаги не «замерзают» при $T < 273$ °К. Они также совершают активационные скачки в мерзлой зоне [1, 9]. Происходит сублимационное обезвоживание торфа преимущественно с поверхностей кристаллов льда.

Ионный обмен

Процессы ионного обмена в торфе сопровождаются значительными изменениями его структуры. Происходит коагуляция или пептизация органического и неорганического вещества в процессе обмена.

Поступившие в матрицу торфа ионы из внешнего раствора взаимодействуют с диссоциированными ионогенными группами (ИГ). Согласно расчетам расстояние между ИГ в матрице торфа существенно превышает величину ионной связи. Поэтому двух- и более валентные ионы не могут реализовать все свои ионные связи [10], равные его валентности. Наиболее вероятностной является реализация одной ионной связи поливалентных ионов, остальные элементарные заряды поливалентного иона взаимодействуют за счет сил Кулона с одновалентными диссоциированными ИГ матрицы торфа. Они также присоединяют ионы противоположного знака из раствора. Реализация двух и более связей возможна, если ИГ одновременно диссоциируют и находятся на расстоянии ионной связи от поливалентного иона. Вероятность такого взаимодействия чрезвычайно мала. Приведенный механизм ионного обмена следует учитывать при выводе уравнения ионного обмена.

Матрица торфа имеет определенную концентрацию ИГ. Полярный растворитель, проникая вовнутрь матрицы, вызывает снижение энергии взаимодействия между катионами и анионами ИГ. В результате диссоциации на матрице торфа остаются связанные анионы, имеющие отрицательный заряд $|z_0|$, а катионы переходят во внутренний раствор матрицы. Этот процесс происходит во всех микрообъемах, в которые проникает полярный растворитель. Катионы А с зарядом z_A, совершая броуновское движение, периодически подходят к диссоциированным ИГ связанным анионом и находятся некоторое время в «оседлом» состоянии, а затем вновь переходят во внутренний раствор. Эти процессы внутри матрицы повторяются многократно. При определенных внешних условиях наступает динамическое равновесие, при котором в любой момент времени α_0 ионогенных групп находятся в диссоциированном состоянии, а $(1 - \alpha_0)$ взаимодействуют с катионами [9–11].

Из условия равенства суммарных зарядов катионов и связанных анионов определим концентрацию катионов C_A с валентностью z_A: $C_A = \alpha_0 z_0 g_0 \gamma_0 / (\delta z_A)$, где g_0 – концентрация ИГ в единице массы сухого торфа, моль/кг; δ – пористость. Значение δ для полностью набухшего торфа в двухфазном состоянии равно отношению $V_в / (V_в + V_и)$, где $V_в$, $V_и$ – объемы, занимаемые соответственно водой и матрицей торфа.

При поступлении из внешнего раствора поливалентных ионов в стесненном пространстве матрицы ионные ассоциаты, например, ионы железа Fe^{3+}, вступая во взаимодействие со свободными анионами, образуют ионные ассоциаты: молекулы $Fe(OH)_3$, ионы $[Fe(OH)_2]^+$, $[FeCl]^{2+}$ и др. Поэтому во внутриматричном растворе катионы B валентности z_B имеют заряды $0 \le j \le z_B$ и соответствующие концентрации C_{Bj}. Средний заряд катионных ассоциатов и подвижных катионов равен:

$$z_B^* = \sum_{j=0}^{z_B} z_{Bj} C_{Bj} \Big/ \sum_{j=0}^{z_B} C_{Bj}.$$

Определенная доля поступивших катионов B поглощается ИГ матрицы торфа, а остальные находятся во внутриматричном растворе. При этом возможна частичная десорбция катионов A и переход их во внутренний раствор. В результате устанавливается иная степень диссоциации ИГ $\alpha \ne \alpha_0$. Скорость диссоциации поглощенных катионов B пропорциональна количеству ИГ $g_0\gamma_0$ в торфе, а таже отношению $Q_B = z_B^* C_B / (z_A C_A + z_B^* C_B)$ – относительной доли зарядов этих катионов и обратно пропорциональна времени «оседлого» состояния их вблизи связанных анионов τ_{1B}:

$$\frac{dC_B}{dt} = \frac{(1-\alpha) z_0 g_0 \gamma_0 Q_B}{\delta z_B^* \tau_{1B}}. \qquad (5)$$

Величина $\tau_{1B} = \tau_{0B}\exp(U_B/RT)$ зависит от энергии связи катиона со связанным анионом $U_B = U_{эB} + U_{мB}$. Электростатическая составляющая равна $U_{эB} = z_0 z^*_B e^2 N_0 / [4\pi\varepsilon_0\varepsilon_и \bar{r}(1 + \kappa\bar{r})]$, где e – заряд электрона, N_0 – число Авогадро, $\bar{r}$ – среднее расстояние взаимодействия поливалентных катионов со связанными анионами, $\varepsilon_м, \varepsilon_р, \varepsilon_т \approx (\varepsilon_м + \varepsilon_р u \rho_м/\rho_р)\gamma_0/\rho_м$ – соответственно диэлектрические проницаемости матрицы, раствора и набухшего торфа; $\rho_m, \rho_р$ – плотность матрицы и раствора. Величина $\bar{r}$ зависит от реального пространственного расположения диссоциированных ИГ внутри матрицы. Любой катион может взаимодействовать со всеми этими группами, а практически, как отмечалось, с ближайшим связанным анионом, к которому он подходит на среднее минимальное расстояние $\bar{r}_{min}$.

Энергия электростатического взаимодействия зависит от количества свободных анионов в растворе. Их влияние учитывается величиной обратного радиуса экранирования $\kappa = 2eN_0[I_0/(\varepsilon_0\varepsilon_р kT)]^{1/2}$, где e – элементарный заряд; I_0 – ионная сила внутреннего раствора, k – постоянная Больцмана, T – температура. Энергией молекулярного взаимодействия катион-матрица $U_{мB}$ можно пренебречь вследствие малой концентрации ВМС в набухающей матрице. В общем случае ее следует также учитывать.

Скорость поглощения катионов B запишется так:

$$\frac{dC_B}{dt} = \frac{\alpha^{z_B^*/z_0} z_0 g_0 \gamma_0 Q_B}{\delta z_B^* \tau_{2B}}, \qquad (6)$$

где коэффициент $\alpha^{z_B^*/z_0}$ учитывает вероятность одновременной диссоциации ИГ вблизи катиона со средним зарядом z_B^*. При высокой степени диссоциации ($\alpha \to 1$) для всех значений z_B^* и $z_0\,\alpha^{z_B^*/z_0} \to 1$.

Полагая в соотношении А. Эйнштейна $l^2 = 6Dt$, $t = \tau_{2B} = l^2/(6D_B)$, а $l = n^{1/3}$, где $n = \alpha^{z_B^*/z_0} g_0\gamma_0 N_0$ – число ИГ в единице объема матрицы, с которыми взаимодействуют катионы B со средним зарядом z^*_B, получим $\tau_{2B} = \left(6D_B\left(\alpha^{z_B^*/z_0} g_0\gamma_0 N_0\right)^{2/3}\right)^{-1}$ – время броуновского движения катионов и их ассоциатов во внутриматричном растворе.

Из уравнений (5) и (6) при условии динамического равновесия получим зависимость

$$(1-\alpha)/\alpha^{(5/3)(z_B^*/z_0)} = 6D_B\left(g_0\gamma_0 N_0\right)^{2/3}\tau_{1B} = \lambda_B. \qquad (7)$$

Концентрация катионов B, находящихся в «оседлом» состоянии, при динамическом равновесии $\bar{C}_B = (1-\alpha) z_0 g_0 \gamma_0 Q_B/(\delta z_B^*)$, а в растворе $\bar{C}_B = Q_B(z_A C_A + z_B^* C_B)/z_B^*$. Их отношение, возведенное в степень $1/z^*$, с учетом, что $1-\alpha = \lambda_B \alpha^{(5/3)(z_B^*/z_0)}$, равно

$$\left(K_B \bar{C}_B / C_B\right)^{1/z_B^*} = \alpha^{5/3 z_0}, \qquad (8)$$

где $K_B = \left[(z_A C_A + z_B^* C_B)\delta/(z_0 g_0 \gamma_0 \lambda_B)\right]^{1/z_B^*}$.

Аналогичное уравнение можно получить для иона A, заменяя в соотношениях (7) и (8) индекс B на A

$$\left(K_A \cdot \bar{C}_A / C_A\right)^{1/z_A^*} = \alpha^{5/3 z_0} \qquad (9)$$

Правые части уравнений (8) и (9) равны, поэтому

$$\left(\bar{C}_B / C_B\right)^{1/z_B^*} = K_0 \cdot \left(\bar{C}_A / C_A\right)^{1/z_A^*} \qquad (10)$$

где $K_0 = K_A^{1/z_A^*} / K_B^{1/z_B^*}$.

Отличие выражения (9) от уравнения Б.П. Никольского [12] в том, что оно имеет среднестатистические заряды z_A^* и z_B^*, а не валентности, а также концентрации вместо активностей.

Введение активностей было необходимо для того чтобы согласовать теоретические расчеты с экспериментом. Механизм ионного обмена более сложный, чем предполагал при разработке своей модели Б.П. Никольский. При ионном обмене, как отмечалось, поливалентные ионы реализуют только часть своих валентностей при взаимодействии с диссоциированными ИГ матрицы торфа. Замена валентностей среднестатистическим зарядом z^* учитывает это обстоятельство. Способ определения значений z^* приведен в [10].

Из соотношения (9) при малых, средних и больших концентрациях поглощенных катионов можно получить уравнения Генри, Ленгмюра-Вагелера и Фрейндлиха [11].

Так как $Q_A + Q_B = 1$, то положим $Q_B = X$, тогда $Q_A = 1 - X$. В конце опыта ионы A практически полностью заменяются на ионы B, поэтому $X \approx C_B/C_{Bм}$, где $C_{Bм}$ – максимальная концентрация ионов В в растворе; то же можно написать и для поглощенных катионов матрицы: $X' \approx C_B/\overline{C}_{Bм}$.

Логарифмируя уравнение (10), получим

$$(z_A / z_B^*) \lg (X'/X) = \lg K_0 - \lg ((1 - X')/(1 - X)), \quad (11)$$

где $K = K_0^{z_A}$ – константа обмена. Это уравнение хорошо согласуется с результатами экспериментов, проведенных с гуминовыми кислотами и другими катионитами (рис. 3).

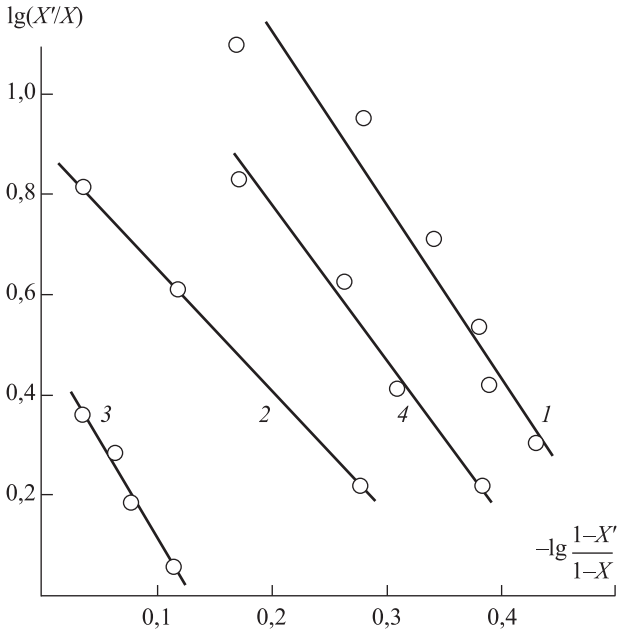


Рис. 3. Изотермы ионного обмена между $Ca(OH)_2$ и катионитами КУ-1 (1), КРС-10т (2), КБ-4 (3) и гуминовой кислотой древесно-осокового торфа (4)

Fig. 3. Isotherms of ion exchange between Ca (OH) 2 and cation exchangers KU-1 (1), KRS-10t (2), CB-4 (3) and humic acid wood-sedge peat (4)

При рассмотрении динамики ионного обмена уравнение массопереноса некорректно математически и физически дополняют экспериментальным равновесным уравнением ионного обмена. Этого можно избежать, повышая порядок уравнения массопереноса, и затем ввести в него уравнение кинетики ионного обмена. Такой подход приведен в статье [13].

Электрокинетические явления

Теория электрокинетических явлений [3] основывается на предложении, что имеется двойной слой ионов на границе «твердое тело–жидкость». Перенос ионов под воздействием внешнего электрического поля увлекает жидкость внутри сквозных пор – капилляров.

Известно [14], что ионы либо ускоряют, либо снижают трансляции окружающих их молекул воды. При положительной гидратации ионы перемещаются с первичной гидратной оболочкой, но увлекать большие массы воды при очень малой скорости переноса жидкости вблизи внутренней поверхности капилляров не могут. Такая модель для торфа не применима. Возникает также вопрос: каков механизм образования на поверхности ассоциатов макромолекул или матрицы в целом слоя потивоионов?

Рассмотрим механизм образования диффузионного слоя противоионов (катионов), потенциала и напряженности электрического поля ассоциата, матрицы торфа.

Ассоциаты макромолекул и матрица в целом имеют различные размеры и форму. Размеры матрицы существенно больше, чем толщина образующегося диффузного электрического слоя. Поэтому в дальнейшем будут рассмотрены одномерные распределения электрических потенциалов для контактирующих полуограниченных сред (рис. 4).

Под влиянием теплового движения из контактного приграничного слоя матрицы противоионы переходят во внешний полярный растворитель. Возникают диффузионный поток противоионов из частиц в растворитель и обратный поток, вызванный градиентом электрического потенциала. При равенстве этих потоков на границе устанавливается потенциал $\varphi_г$. Условие равенства диффузионного и электромиграционного потоков противоионов запишется в виде [9, 15]:

$$\frac{dc}{dx} + \frac{Fzc}{RT}\frac{d\varphi}{dx} = 0. \quad (12)$$

На матрице находятся, как отмечалось, неподвижные потенциалобразующие связанные анионы $z^- c_0^-$. Подвижные катионы $z^+ c_0^+$ находятся как

во внутреннем растворе матрицы, так и вне ее – в растворителе (воде). Примем начало координат на границе раздела «частица–растворитель». При динамическом равновесном распределении на границе устанавливается постоянная концентрация катионов c_{01}^{+} и анионов $c_{02}^{-} < c_0^{-} = c_{01}^{-} + c_{02}^{-}$. Из условия электронейтральности всей системы «торф–вода» следует, что на бесконечно большом удалении от границы раздела внутри матрицы выполняются равенства: $| z^{-}c_0^{-} | = | z^{+}c_0^{+} |$; $| z^{-}c_{01}^{-} | = | z^{+}c_{01}^{+} |$; $| z^{-}c_{02}^{-} | = | z^{+}c_{02}^{+} |$.

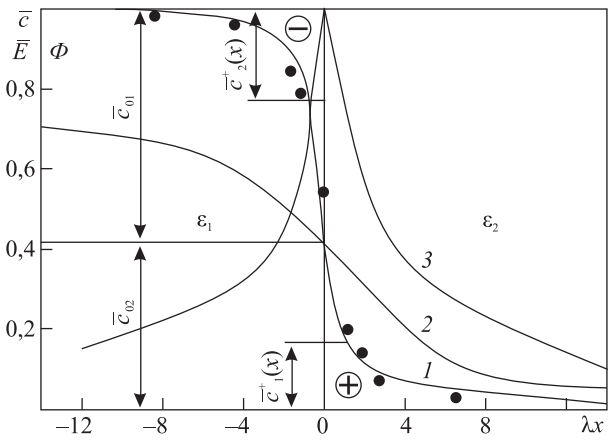


Рис. 4. Распределение относительных значений концентраций $\bar{c} = c/c_0$ (*1*), электрического потенциала *Ф* (*2*) и напряженности $\bar{E} = \bar{E}_г$ (*3*) вблизи границы раздела «матрица–вода»

Fig. 4. The distribution of the relative concentration values with $\bar{s} = s/s_0$ (1), the electric potential F (2) and the intensity of $\bar{E} = \bar{E}_г$ (3) near the interface between the matrix-water

Распределения зарядов в матрице и вне ее запишем в виде $\rho_1(x) = |- Fz^{-}c_1^{-}(x)| = Fz^{+}c_1^{+}(x)$, $(x < 0)$, $\rho_2(x) = Fz^{+}c_2^{+}(x)(x > 0)$.

Опуская в дальнейшем знак плюс, перепишем уравнение (12) таким образом:

$$\frac{1}{\bar{c}_i}\frac{d\bar{c}_i}{dx} = -\frac{Fz}{RT}\frac{d\varphi_i}{dx}, \qquad (13)$$

где $\bar{c}_i = c_i(x) / c_{0i}$ $\quad (i = 1, 2)$.

После дифференцирования по переменной x выражения (13) с учетом уравнения Пуассона

$$\frac{d^2\varphi_i}{dx^2} = -\frac{\rho_i(x)}{\varepsilon_0\varepsilon_i} = -\frac{Fzc_{0i}}{\varepsilon_0\varepsilon_i}\bar{c}_i \qquad (14)$$

получим

$$\frac{d}{dx}\left(\frac{1}{\bar{c}_i}\frac{d\bar{c}_i}{dx}\right) = \frac{(Fz)^2 c_{0i}}{\varepsilon_0\varepsilon_i RT}\bar{c}_i, \qquad (15)$$

или в виде нелинейного уравнения $\bar{c}_i\bar{c}_i'' - \left(\bar{c}_i'\right)^2 - \left(\lambda_i^2/2\right)\bar{c}_i^3 = 0$.

Умножая правую и левую части уравнения (14) на $d\bar{c}_i/\bar{c}_i$, получим

$$d\left(\frac{1}{\bar{c}_i}\frac{d\bar{c}_i}{dx}\right)^2 = \lambda_i^2 d\bar{c}_i, \qquad (16)$$

где $\lambda_i^2 = 2(Fz)^2 c0_i / (\varepsilon_0\varepsilon^i RT)$. Уравнение (16) решается при условиях

$$\bar{c}_i(0) = 1,\ \bar{c}_i(\pm\infty) = 0. \qquad (17)$$

После интегрирования с учетом второго условия (17) и, соответственно, $d\bar{c}_i(|\infty|)/dx = 0$ запишем уравнение в виде

$$d\bar{c}_i / dx = \pm\lambda_i\bar{c}_i^{3/2}. \qquad (18)$$

Так как $d\bar{c}_i / d|x| < 0$, то, принимая в уравнении (17) знак минус, получим решение

$$\bar{c}_i = [1 + \lambda_i|x|/ 2]^{-2} \quad (|x| > 0).$$

Значения c_{0i} находятся из равенства суммарных зарядов, поступивших из матрицы во внешний растворитель (рис. 4)

$$J = Fzc_{01}S\int_0^{|\infty|}\bar{c}_1(x)dx = Fzc_{02}S\int_0^{\infty}\bar{c}_2(x)dx,$$

где S – площадка, перпендикулярная направлению координаты x. Значение плотности заряда на границе

$$\sigma_г = J/S = 2Fzc_{0i} / \lambda_i. \qquad (19)$$

Из равенства (18) следуют зависимости $c_{01} / c_{02} = \lambda_1 / \lambda_2 = \varepsilon_2 / \varepsilon_1$, $c_{01} = c_0 / (1 + \varepsilon_1/\varepsilon_2)$, $c_{02} = c_0 / (1 + \varepsilon_2 / \varepsilon_1)$.

Подставляя значение $\bar{c}_i(x)$ в уравнение (14) и дважды интегрируя с учетом граничных условий при $x = 0$

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_г,\ \varepsilon_1(d\varphi_1 / dx) = \varepsilon_2(d\varphi_2 / dx).$$

Получим

$$\varphi_2(x) - \varphi_1(x) = \varphi_0 \ln\frac{1+(\lambda_2 x/2)}{1+(\lambda_1|x|/2)} = \varphi_0 \ln\left[1 - \frac{1-\varepsilon_1/\varepsilon_2}{1+2/\lambda_1|x|}\right], \qquad (20)$$

где потенциал при $|x| \to |\infty|$ в матрице $\varphi_0 = 2RT/(Fz^*)$, z^* – средний заряд ионов и их ассоциатов.

Положим, $\varphi_1(x) = \varphi_1(0) = \varphi_г$. При $x \to \infty$ $\varphi_2(\infty) = 0$, откуда граничный потенциал $\varphi_г = \varphi_0 \ln(\varepsilon_2 / \varepsilon_1) = 2RT\ln(\varepsilon_2/\varepsilon_1) / (Fz^*)$. Подставляя $\varphi_г$ в (20), имеем

$$\Phi_2(x) = \frac{\varphi_2(x)}{\varphi_0} = \ln\left\{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}\left[1 - \frac{1-\varepsilon_1/\varepsilon_2}{1+2/(\lambda_1|x|)}\right]\right\} \quad (x > 0).$$

Если в уравнении (20) принять $\varphi_2(x) = \varphi_г$, то получим

$$\Phi_1(x) = \frac{\varphi_1(|x|)}{\varphi_0} = -\ln\left\{\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}\left[1 - \frac{1-\varepsilon_1/\varepsilon_2}{1+2/(\lambda_1|x|)}\right]\right\} (|x| > 0). \quad (21)$$

Из уравнения (21) следует, что при $|x| \to \infty$ $\varphi_1(|\infty|) = 2\varphi_г$. Однократное интегрирование уравнения Пуассона (14) позволяет получить значения напряженностей

$$E_i = -E_{гi} / (1 + \lambda_i|x| / 2),$$

где

$$E_{г1} = \{2c_0 + \varepsilon_2 RT / ((\varepsilon_1 + \varepsilon_2)\varepsilon_0\varepsilon_1)\}^{1/2}, \; E_{г2} = (\varepsilon_1/\varepsilon_2)E_{г1}.$$

На рис. 4 приведены распределения концентраций, потенциалов и напряженностей при значениях $\varepsilon_1 = 56$, $\varepsilon_2 = 81$, $z^{\pm} = 1$, $c_0^{\pm} = 1{,}96$ кмоль/м^3, $\lambda_1 = 4{,}19\cdot10^9$ м$^{-1}$, $\lambda_2 = 2{,}9\cdot10^9$ м$^{-1}$, $\varphi_г/\varphi_0 = 0{,}396$, $\varphi_г = 20$ мВ для $z^* = 1$, $E_{г1} = 1{,}075\cdot10^8$ и $E_{г2} = 0{,}743\cdot10^8$ В/м.

Область распределения концентраций и особенно потенциалов, напряженностей по обе стороны границы раздела более 10 нм, что значительно больше $\lambda^{-1} \cong 0{,}3$ нм.

Согласно соотношению (20) разность потенциалов стремится к нулю при $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$ и возрастает при снижении ε_1, но, при этом уменьшается степень диссоциации ионогенных групп. Поэтому для торфа имеется оптимальная степень набухания (и, соответственно, значение диэлектрической проницаемости ε_1), при которой граничный потенциал $\varphi_г$ имеет максимальное значение.

Таким образом, в результате набухания и диссоциации функциональных групп торф становится своеобразным полупроводником.

Для исследования влагопереноса в торфе использовали установку, общий вид которой представлен на рис. 5. На этой установке проведены исследования влагопереноса под воздействием гидростатического давления, градиентов температуры, изучены особенности солевого и электроосмоса в торфе [1, 9, 15, 16].

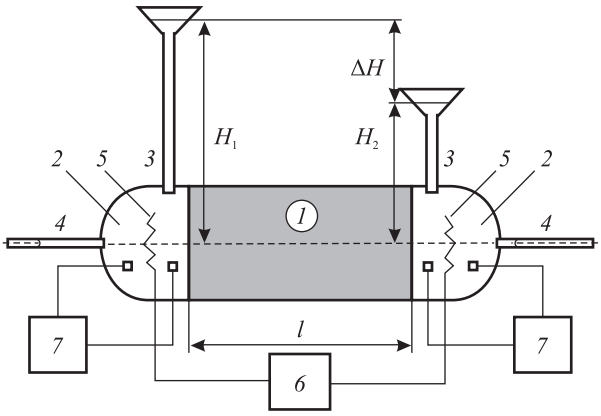


Рис. 5. Установка для экспериментальных исследований влагопереноса в торфе

Fig. 5. Installation for experimental studies of moisture transport in peat

В металлический цилиндрический корпус (рис. 5) помещали исследуемый образец торфа *1* длиной 4 см и сечением 16,5 см^2. К корпусу с обеих сторон подсоединяли закрытые камеры *2*, которые совместно с образцом заполняли дистиллированной водой. Необходимую разность напоров создавали путем изменения уровней жидкости в воронках *3*, соединенных гибкими шлангами с правой и левой камерами. Интенсивность массопереноса определяли по скорости перемещения менисков в мерных капиллярах *4*. При исследовании электроосмоса на спиральные проволочные платиновые электроды *5* ток поступал от универсального источника электропитания *6*. Постоянная или разные температуры в камерах *2* устанавливалась с помощью термостатов *7*.

Исследовался торф, имеющий суммарное количество поглощенных катионов натрия, калия, кальция, магния и железа 1,29 мг-экв/г сухого вещества. Предварительно путем создания избыточного гидростатического давления в левой камере через образец торфа пропускали дистиллированную воду. Опыты начинали после установления внутри исследуемого образца ионного и дисперсионного равновесия, которое достигалось за 10–20 суток. В течение этого периода стабилизировался расход жидкости и показатель кислотности, близкий к шести.

Причиной электроосмоса в торфе является увеличение концентрации растворенных и сорбированных веществ в прикатодной зоне.

Первой причиной образования избытка растворенных веществ является разложение молекул воды на катоде по схеме: $4H_2O + 4e^- \to 4OH^- + 2H_2\uparrow$ и на аноде: $2H_2O - 4e^- = 4H^+ + O_2\uparrow$ [6].

Согласно первой реакции, молекулы воды поглощают с поверхности платинового катода электроны. При этом в воду переходят гидроксилы OH^- и выделяются молекулы водорода. Согласно второй реакции, молекулы воды передают электроны платиновому аноду. В связи с этим в воду перемещаются ионы водорода H^+ и образуются молекулы кислорода. Молекул водорода выделяется в два раза больше, чем кислорода. Количество ионов H^+ и OH^-, а также число поглощенных на катоде и поступивших на анод электронов равное. Электроны и ионы в электрическом поле переносят электрические заряды – возникает ток.

Молекулы водорода и кислорода адсорбируются на электродах и во всех внутренних поверхностях емкостей 2 (рис. 5), а также растворяются в воде камер. Они стремятся за счет теплового движения равномерно распределиться по всему объему «торф–вода». Образец торфа служит диафрагмой, которая снижает интенсивность взаимной диффузии газов. Так как выделение молекул $2H_2$ и O_2 происходит в течение всего времени воздействия электрического поля, а диффузия имеет малую интенсивность переноса через диафрагму, то образуется избыток адсорбированных и растворенных молекул водорода и соответственно большее осмотическое давление в прикатодной зоне. Возникает осмотический перенос воды к катоду.

Приведенная модель электроосмоса применима не только для ненабухшего торфа, но и для других диэлектриков, например, песка. Опыты Ф.Ф. Рейсса [3, с. 191], в которых диафрагмой служил песок, наглядно демонстрируют наличие осмотического давления, возникающего в U-образной трубке при электроосмосе. Если в качестве диафрагмы используются торф, глины и другие материалы, то в этом случае необходимо учитывать поступление в раствор ионов, молекул из диафрагмы. Следовательно, второй причиной возникновения переноса жидкости является вынос из торфа растворимых веществ.

Согласно экспериментам [16, 17], ионы и другие растворенные вещества, находящиеся во внутриматричном растворе, переносятся к катоду. Концентрация катионов в прикатодной зоне возрастает и возникает дополнительное избыточное осмотическое давление по отношению к прианодной зоне. В процессе выноса поливалентных катионов из матрицы происходят ионообменные процессы. Катионы, мигрирующие к катоду, заменяются ионами водорода H^+, поступающими из прианодной зоны. Из приведенных выше реакций следует, что количество выделенных молей ионов водорода на аноде и гидроксилов OH^- на катоде равное, но в связи с выносом катионов из торфа и поглощением ионов водорода матрицей торфа их количество в к прианодной зоне снижается.

Вынос катионов из торфа приводит к существенным изменениям его структуры, пористости, кислотности, интенсивности электроосмотического потока. Причиной этих изменений является разрушение ассоциатов торфа – пептизация. При этом возрастает число малых по размерам связанных между собой ассоциатов макромолекул и снижается проницаемость матрицы торфа. При миграции воды путем трансляций (активационных скачков) молекулы H_2O отражаются от макромолекул. Это вызывает снижение числа молекул, перемещающихся в направлении общего потока воды. С увеличением температуры интенсивность влагопереноса возрастает [1, 9], так как увеличивается число активационных скачков молекул воды.

Влагоперенос изменяется, если происходит перенос растворов солей, кислот низкой концентрации. Катионы внешнего раствора под воздействием сил Кулона «впрессовывают» диффузионный слой первичных катионов в матрицу. С увеличением зарядов (валентностей) катионов из раствора процесс поступления первичных ионов в матрицу возрастает. Толщина диффузного слоя катионов меньше, чем в дистиллированной воде, из-за наличия осмотического давления во внешнем растворе. Катионы внешнего раствора под воздействием отрицательного заряда матрицы поступают во внутриматричный раствор. Они взаимодействуют с ближайшими диссоциированными ИГ и образуют ионные и электростатические связи, что вызывает снижение степени диссоциации и отрицательного заряда матрицы. Это способствует переносу свободных анионов из внешнего раствора в матрицу.

Первичные катионы не находят «мест оседлости» на ИГ и переходят во внешний раствор. На их место в эквивалентном по суммарному заряду количестве поступают во внутриматричный раствор катионы из внешнего раствора. При этом соблюдается электронейтральность в любом локальном объеме системы «торф–раствор».

С увеличением концентрации раствора осмотическое давление в нем возрастает, что препятствует набуханию матрицы торфа и соответственно поступлению в нее осмотической влаги. В этом случае возможна только сорбция паров молекул воды в микропорах торфа, а диссоциация ИГ стремится к нулю. Образец торфа становится диэлектриком. В этом случае электроосмос возникает из-за первой причины – разложения молекул воды на металлических электродах.

Исследования электрофореза частиц торфа проводятся в плоских прямоугольных кюветах, заполненных дистиллированной водой. Вдоль торцевых поверхностей камеры по ширине кюветы монтируются два платиновых электрода: анод и катод. При включении торфа, как и при электроосмосе, на катоде выделяется в два раза больше молекул водорода, чем на аноде молекул кислорода. Отсутствие пористой мембраны внутри кюветы способствует диффузии молекул $2H_2$, O_2 внутри жидкости. Выделение этих молекул происходит, как отмечалось, в течение всего времени воздействия электрического поля, а скорость диффузии молекул газа в жидкости конечна. В связи с этим в прикатодной зоне концентрация молекул водорода в жидкости больше, чем в прианодной зоне. Кроме того, в прикатодной зоне на электроде и внутренней поверхности кюветы количество адсорбированных молекул водорода в два раза больше, чем прианодной зоне молекул кислорода. Возникает разность осмотических давлений между зонами. Оно снижается от катода к аноду. Давление на правую половину сферической частицы в жидкости больше, чем на левую (рис. 6). Под воздействием градиентов осмотического давления на частицы торфа происходит их перемещение к аноду. Как и при электроосмосе, механизм электрофореза различен для 1) ненабухших диэлектрических частиц и 2) набухших частиц торфа.

В первом случае (рис. 6а) диэлектрические частицы торфа в диэлектрическом поле поляризуются. Образуются отрицательный заряд на поверхности левой половины частицы и положительный – на поверхности правой половины. Возникающие при разложении молекул воды ионы водорода и гидроксилы перемещаются в воде к электродам. При контакте ионов с частицами часть противоионов удерживается поляризационными зарядами у их поверхности. Образуются экранизирующие слои ионов H^+ на левой половине частицы и OH^- – на правой. Если имеются другие (кроме H^+ и OH^-) ионы, то они также экранируют поляризационные заряды.

При движении относительно неподвижной жидкости частиц к аноду возникает смещение ионов H^+ в противоположную их половину. Часть из них переходит в дистиллированную воду и перемещается к катоду, другая часть ионов водорода удерживается силами Кулона при взаимодействии с гидроксилами на периферийной части деформированного экранирующего слоя в правой половине частицы. Избыток ионов вблизи правой полусферы создает дополнительное осмотическое давление, способствующее перемещению частицы к аноду. Из-за смещения положительных ионов с левой половины частицы отрицательный поляризационный заряд на ее поверхности не полностью экранирован, а правая половина экранирована в большей степени (в пределе – полностью). В связи с этим частица приобретает результирующий отрицательный заряд. Под воздействием силы Кулона она также перемещается к аноду.

Таким образом, за счет осмотических и электростатических сил ненабухшая, диэлектрическая частица торфа перемещается к аноду.

В набухшей частице торфа при отсутствии внешнего электрического поля диффузионный слой равной толщины образуется по всей поверхности частицы. В дальнейшем при поступлении осмотической влаги в матрицу торфа происходит диссоциация полярных групп. Подвижные катионы переходят во внутренний раствор матрицы. Часть из них находятся на ее внешней поверхности. Из экспериментов следует [10], что замена полярных групп гидрофобными приводит к снижению общего заряда матрицы торфа. Распреде-

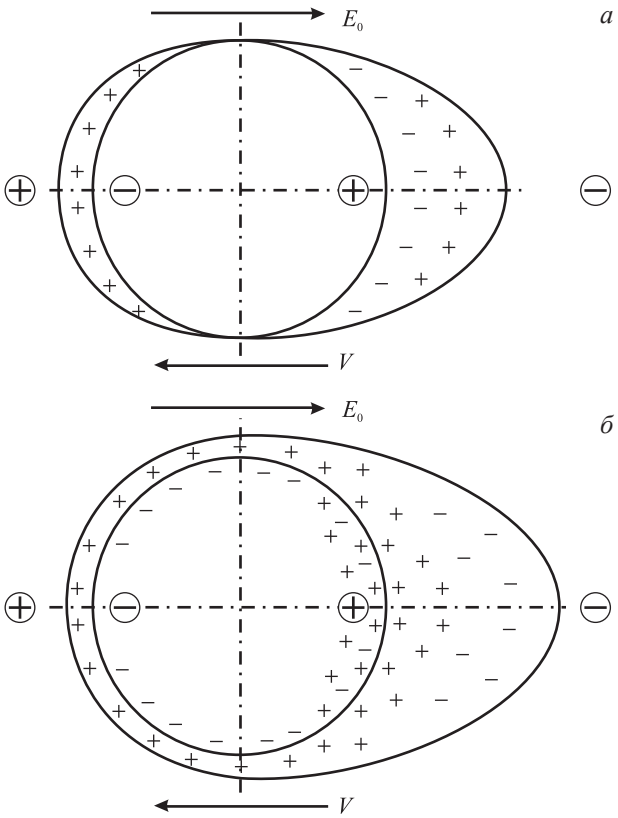


Рис. 6. Распределение противоионов у поверхности поляризованной ненабухшей (*а*) и набухшей (*б*) частицы торфа: V – скорость переноса частицы; E_0 – напряженность электрического поля

Fig. 6. Distribution at the surface of counter-polarized unswollen (a) and swollen (b) peat particles: v - the transfer rate of the particle, and E_0 - electric field

ления подвижных катионов, напряженностей и потенциалов набухающей сферической частицы приведены на рис. 4.

Электрическое поле частицы, как отмечалось, может «захватывать» катионы из раствора. В процессе движения набухшей частицы диффузионный слой катионов, как и в набухшей частице, перемещается в правую половину сферической частицы и в контактирующую воду. Кроме того, происходит смещение диффузного слоя за счет конвективного переноса относительно неподвижной жидкости, а также снижение внешнего осмотического давления воды в кювете от катода к аноду. Поступление катионов на поверхность правой полусферы приводит к избытку катионов по отношению к их количеству на левой полусфере (рис. 6*б*), что вызывает перепад осмотических давлений. Неравные осмотические давления, воздействующие на правую и левую полусферы, создают дополнительную осмотическую силу, которая направлена к аноду.

В связи со снижением ионов в левой половине частицы уменьшается степень экранизации отрицательного заряда. Частица приобретает отрицательный результирующий заряд и под воздействием силы Кулона также перемещается к аноду. Таким образом, под воздействием двух осмотических сил и силы Кулона набухшая частица торфа перемещается к аноду.

При растворении в воде кислот и солей, как и при электроосмосе, диффузионный слой катионов уменьшается. При высоких концентрациях раствора происходит полная экранизация зарядов. Степень диссоциации ИГ снижается до нуля. Механизм электрофореза таких частиц аналогичен для ненабухших диэлектрических частиц.

Если сквозные поры внутри набухшей матрицы торфяной частицы имеют размеры, достаточные для миграции гидратированных ионов, то она становится проводящей для ионов. Внутри частицы под воздействием внешнего электрического поля происходят перемещения подвижных катионов в направлении вектора E_0 – к катоду. В правой половине частицы образуется их избыток. Возникают диполи и перемещение набухших частиц торфа.

Прочность формованного торфа

Разрушение высохших образцов формованного торфа происходит с помощью пресса. Цилиндрический образец с обеих торцевых поверхностей сжимается. Возникает уплотнение торфа. Это вызывает реологическое течение торфа в плоскостях, перпендикулярных воздействию внешней нагрузки. Образец принимает форму «бочки». В середине высоты образца реологическое перемещение частиц торфа максимальное, поэтому в этом сечении происходит наибольшее увеличение расстояний между частицами и количества разрывов когезионных связей внутри образца. При достижении максимальной нагрузки на образец наблюдается разрушение – сдвиг в плоскости под углом а к оси образца [1, 9]. При перемещении частиц торфа происходит не только растяжение, но и разрыв когезионных связей в перпендикулярных плоскостях к оси образца, но между слоями, находящимися в различных плоскостях по высоте образца. В связи с этим, и образуется при сжатии цилиндрического образца «бочка» и происходит разрушение его в плоскости под углом а. Следовательно, разрыв связей в диспергированном изотропном образце происходит в направлении трех осей координат.

В формованном торфе при приложении нагрузки вначале разрываются межмолекулярные связи между ассоциатами с меньшим числом когезионных связей, а затем с увеличением времени воздействия нагрузки на образец с большим числом когезионных связей и энергией взаимодействия между контактирующими ассоциатами макромолекул образуются микро-, а затем макротрещины.

Полагая, что скорость разрыва связей $d\chi/d\tau$ пропорциональна числу неразорванных связей $\chi_m - \chi$ (χ_m – предельное число когезионных связей в торфе), получим уравнение $d\chi/d\tau = (\chi_m - \chi)/\theta$. Величину $\theta = \theta_0 \exp(W/kT)$ характеризует среднее время разрыва связей; $\theta_0 \approx 10^{-12} \div 10^{-13}$ *с* – период тепловых колебаний атомов относительно положения равновесия; W – энергия активации разрыва связи, Дж; k – постоянная Больцмана, Дж/К. После интегрирования имеем: $\chi(\tau) = \chi_m[1 - \exp(-\tau/\theta)]$.

Макроразрушение образца происходит в течение времени («долговечность» по Н.С. Журкову [18–20]) τ в определенном сечении образца с наименьшим числом когезионных связей $\chi p < \chi m$. Следовательно, «долговечность» равна:

$$\tau = \ln[\chi_m/(\chi_m - \chi_p)]\theta_0 \exp(W/kT).$$

Все когезионные связи осуществляются непосредственно через взаимодействия между периферийными атомами любых контактирующих частиц. Для расчета межатомных взаимодействий в твердых телах применяют различные потенциальные функции. Ограничимся для ионной ($v = 1$) и металлической ($v \geq 1$) связей кулоновским потенциалом [1, 9], получим при $\varepsilon << 1$ и T = const энергию активации разрыва связи $W = -U(r) = Kve^2/r = Kve^2/[r_0(1 + \varepsilon)] \approx (Kve^2/r_0)(1 - \varepsilon) = U_0' - \lambda\sigma$, где $U_0' = Kve^2/r_0$, $\lambda = U_0'/E$,

$K = (4\pi\varepsilon_0)^{-1}$. В приведенных формулах r_0, r – соответственно, расстояния между контактирующими атомами при отсутствии и наличии внешней нагрузки; $\varepsilon = \sigma/E$ – относительная деформация при растяжении. В пределах упругих деформаций она равна отношению напряжения σ (Па) к модулю Юнга E (Н/м).

Для расчета ван-дер-ваальсова межатомного взаимодействия применяется потенциал Леннард–Джонса $U(r) = U_0[(r/r_0)^{-12} - 2(r/r_0)^{-6}] = U_0[(1 + \varepsilon)^{-12} - 2(1 + \varepsilon)^{-6}] \approx -U_0(1 - 36\varepsilon^2)$, и, следовательно, $W = U_0' - k\sigma^2 = U_0' - \lambda\sigma$, где $U_0' = U_0$, $k = 36U_0/E^2$, $\lambda = k\sigma$. Подобную зависимость можно получить при наличии водородной и ковалентной связей [9].

Подставим полученные выше соотношения в выражение для долговечности t получим уравнение С.Н. Журкова

$$\tau = \tau_0 \exp[(U_0' - \lambda\sigma)/kT], \qquad (22)$$

в котором $\tau_0 = \theta_0 \ln[\chi_m/(\chi_m - \chi_p)]$. В общем случае при любых значениях относительной деформации e для расчета энергии активации W следует воспользоваться непосредственно потенциальными функциями $U(r)$.

Полагаем, что в ослабленном сечении $\chi_p << \chi_m$. Тогда в соотношении (22) логарифмическая функция $\ln\chi_m/(\chi_m - \chi_p) \approx \chi_p/\chi_m$, а количество разорванных связей при $W = (U_0' - \lambda\sigma) \to 0$ в направлении трех осей координат $\chi_p^3 \approx (\chi_m\tau/\theta_0)^3[1 - 3(U_0' - \lambda\sigma)/kT]$. Разрушение тела во времени произойдет тогда, когда с достигает значений χ_p. Величина χ_p зависит от числа контактирующих частиц. Их количество, в свою очередь, пропорционально массе сухого вещества в единице объема влажного торфа $\gamma_0 = \gamma/(1 + u)$. Следовательно, $\chi_p \sim \gamma_0$ и $\sigma \sim \gamma_0^3$ или $\sigma^{1/3} \sim \gamma_0$.

Экспериментально получены зависимости

$$\sigma^{1/3} = \eta\gamma_0 + a,$$

где η, a – константы (рис. 7). Прочность кускового торфа зависит от количества когезионных контактов и средней энергии связи между агрегатами макромолекул. Последняя зависит от композиционного и группового химического состава компонентов, составляющих органоминеральную массу торфа.

Из экспериментов следует, что наиболее прочные куски торфа получаются из композиций, составленных из различного типа, вида и степени разложения торфа [21]. Определенное сочетание грубодисперсных фракции («арматуры») и высокодисперсных («клея») способствует образованию более прочных композиций из-за увеличения числа когезионных связей.

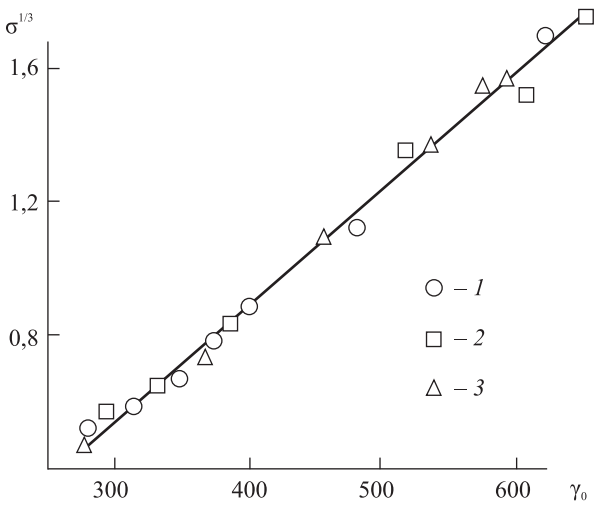


Рис. 7. Зависимость прочности σ (МПа) образцов торфа с начальным диаметром d = 20 (*1*), 30 (*2*) и 40 (*3*) мм и длиной 1,5 d от плотности матрицы торфа γ_0 (кг/м^3)

Fig. 7. Dependence strength σ (MPa) samples peat initial diameter d = 20 (1) 30 (2) and 40 (3) mm and a length of 1,5 d matrix density peat γ_0 (kg/m^3)

Угловые коэффициенты η графиков $\sigma^{1/3} = f(\gamma 0)$ практически не зависят от технологических факторов, что позволяет исследовать прочностные свойства торфа, зависящие только от совокупности его физико-химических факторов. В качестве критерия оценки прочности материала следует применять параметр η.

Библиографический список

1. *Гамаюнов Н.И.* Тепломассоперенос в открытых системах / Н.И. Гамаюнов, С.Н. Гамаюнов. – Тверь: ТГТУ, 2009. – 256 с.
2. *Гамаюнов Н.И.* Сорбция в гидрофильных материалах / Н.И. Гамаюнов, С.Н. Гамаюнов. – Тверь: ТГТУ, 1997. –160 с.
3. *Воюцкий С.С.* Курс коллоидной химии / С.С. Воюцкий. – М.: Химия, 1964. – 574 с.
4. *Тагер А.А.* Физикохимия полимеров / А.А. Тагер. – М.: Химия, 1978. 544 с.
5. *Гамаюнов Н.И.* Массоперенос в открытых системах / Н.И. Гамаюнов, С.Н. Гамаюнов // ТОХТ, 2012. – Т. 46, № 3. – С. 356–360.
6. Курс физической химии. М.: Химия, 1964. – Т. 1. – 624 с.; 1973. Т. 2. – 623 с.
7. *Френкель Я.И.* Кинетическая теория жидкостей / Я.И. Френкель. – Л.: Наука, 1975. – 592 с.
8. *Пригожин И.* Порядок из хаоса / И. Пригожин, И. Стренгерс. – М.: Комкнига, 2005. – 296 с.

9. *Гамаюнов Н.И.* Процессы переноса энергии и вещества / Н.И. Гамаюнов. – Тверь: ТГТУ, 2004. – 284 с.
10. *Гамаюнов Н.И.* Ионообменные процессы и электрокинетические явления в набухающих природных и синтетических ионитах / Н.И. Гамаюнов, В.И. Косов, Б.И. Масленников. – Тверь: ТГТУ, 1999. – 155 с.
11. *Гамаюнов Н.И.* Механизм ионного обмена в ионитах / Н.И. Гамаюнов // ЖФХ, 1987. – Т. 61, № 5. – С. 1267.
12. *Никольский Б.П.* Законы обмена ионов между твердой фазой и раствором / Б.П. Никольский, В.И. Парамонова // Успехи химии, 1939. – Т. 8, Вып. 10. – С. 1535.
13. *Гамаюнов Н.И.* Динамика ионного обмена в набухающих материалах / Н.И. Гамаюнов // ЖФХ, 1995. – Т. 69, № 8. – С. 1484.
14. *Самойлов О.Я.* Структура растворов электролитов и гидратация ионов / О.Я. Самойлов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 182 с.
15. *Воларович М.П.* Изменение структуры торфа при фильтрации водных растворов кислот и солей / М.П. Воларович, Н.И. Гамаюнов, К.С. Пантелей // Коллоидный журнал. 1970. – Т. 32, № 5. – С. 672.
16. *Гамаюнов Н.И.* Массоперенос и осмотические явления в набухающих органических материалах / Н.И. Гамаюнов, С.Н. Гамаюнов // ИФЖ. 2003. – Т. 76, № 6. – С. 110–117.
17. *Гамаюнов Н.И.* Электрокинетический потенциал набухающих биополимерных ассоциатов / Н.И. Гамаюнов // Биофизика, 2000. – Т. 45, № 5. – С. 795–800.
18. *Журков С.Н.* К вопросу о физической основе прочности / С.Н. Журков // ФТТ. 1980. – Т. 22. № 11. – С. 33.
19. *Регель В.Р.* Кинетическая природа прочности твердых тел / В.Р. Регель, А.И. Слуцкер, Э.Е. Томашевский. – М: Наука, 1974. – 560 с.
20. *Бартеньев Г.М.* Физика полимеров / Г.М. Бартеньев, С.Я. Френкель. Л.: – Химия, 1990. – 430 с.
21. *Гамаюнов Н.И.* Усадка и прочность капиллярно-пористых коллоидных материалов / Н.И. Гамаюнов, С.Н. Гамаюнов // ИФЖ. 2004. – Т. 77, № 1. – С. 39.

УДК 662.73:674.88

Суворов В.И.

Суворов Владимир Иванович, д. т. н., профессор кафедры геологии, переработки торфа и сапропеля ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет».
Тверь, Академическая, 12. visuvorov@mail.ru

МЕХАНОХИМИЯ ТОРФА

Аннотация. Механохимическая активация торфа сопровождается целым рядом эффектов физической и химической природы (люминесценция, электронная эмиссия, изменение ИК-спектров), существенными изменениями состава и свойств органического вещества торфа (группового состава, содержания функциональных групп, адгезионной и реакционной способности, окраски). Такие преобразования приводят к новым технологическим возможностям использования торфа, подвергнутого сверхтонкой переработке. Сюда относятся процессы ускорения массопереноса в реакционной среде «твердое-жидкое», алкилирования и этерификации высокомолекулярных целлюлозных компонентов непосредственно в составе сырья, возможности переработки биомассы в растворимые в воде или органических растворителях продукты, термопластичные материалы, биологически активные препараты, новые порошковые строительные смеси, плиты, картон, фанеру и т. п.

Ключевые слова: торф, механохимия, органическое вещество, групповой состав, диспергирование

Suvorov V.I.

Suvorov Vladimir I., Dr. Sc., Professor, Department of Geology, processing of peat and sapropel State educational institution of higher education
VPO "Tver State of the Technical University".
Tver, Academicheskaya, 12.

MECHANOCHEMISTRY PEAT

Abstract. Mechano-chemical activation of peat substance are accompanied by series of physical and chemical effects (luminiscense, electrons emission, IRS), essential changes of composition and properties of peat organic matter (groups of organic compositions, adgesions and reaction abilities, changes of colour etc.). Such kind transformations lead to new technological opportunities for fheir usage. Here there are some process of acceleration of masstransfer in reaction media “solid-ligued”, alkilation and eterification high moleculas cellulouse components directly in the composition raw materials; processing of biomass, in soluble (in water or organic liqueds) products, thermoplastic materials, bioactive products, new of sivil engenering pouder composities, plates, cardboard, ply-wood etc.

Keywords: peat, mechanochemistry, organic matter, group composition, dispersion

Методы механохимии стала интенсивно развиваться благодаря созданию новых видов перерабатывающих механизмов, способных эффективно осуществлять сверхтонкое измельчение различных сырьевых материалов.

Интенсивная переработка приводит не только к существенным изменениям в соотношении фракций дисперсной системы, накоплению ее высокодисперсной составляющей. Вещество торфа существенно меняет свое качественное состояние, которое характеризуется повышенной химической и адгезионной активностью, изменением группового состава, содержания функциональных групп, кислотности, реакционной способности и т. п.

В зависимости от условий механоинициирования торфа (агрегатное состояние, температура, давление, вид механического воздействия, наличия или отсутствия катализаторов или модифицирующих агентов) выход конечных продуктов механокренинга может значительно варьировать не только за счет изменений в соотношении групп органики торфа, но и за счет образования новых продуктов механосинтеза.

Это послужило основой для изучения ряда технологических решений, способов получения как новых, так и традиционных видов продукции, реагентов, модификаторов, существенно отличающихся по своим эксплуатационным характеристикам, эффективности действия от известных способов переработки, получения продукции и управления ее структурой и свойствами.

В зависимости от способов направлений получения и использования продуктов механохимической переработки торфа их реализация осуществляется двумя принципиально отличающимися путями: в сухом и водонасыщенном состоянии.

Последнее отличается тем, что:

- позволяет снизить энергетику процесса дробления, разрушения агрегатов торфа за счет изменения сил поверхностного натяжения на границе раздела фаз;
- обеспечивает сохранение и стабилизацию полученных структурных образований без существенных физико-химических изменений (например, при сушке);
- позволяет переводить в водорастворенное состояние образующиеся при механокренинге новые органические соединения, минуя традиционные процессы экстракции отдельных групп органики торфа;
- способствует сохранению во времени активности, реакционной способности высокодисперсной фазы за счет блокировки вновь образованных структурных элементов молекулами воды, подвижными катионами.

Получение минорных компонентов* из торфа, как известно, основано на многократной обработке сырья растворителями различной полярности.

К недостаткам такой экстракционной технологии относятся:

- использование токсичных и пожароопасных растворителей;
- низкая степень извлечения;
- повышенные производственные затраты;
- загрязнение окружающей среды;
- высокая себестоимость продукции.

Поскольку скорость экстракции, как и выход целевых продуктов, определяется диффузией растворителя, то становится очевидным, что предварительная механическая активация позволяет достичь максимальной эффективности на стадии последующего экстрагирования, поскольку ударно-сдвиговое воздействие сопровождается измельчением и разупорядочением структуры материала (в частности, при размере частиц растительного сырья прядка 10 мкм большая часть клеточных перегородок оказывается разрушенной), что облегчает выделение компонентов [1].

Например, механическая активация позволяет увеличить выход водорастворимых соединений, многих низкомолекулярных веществ, как тех, что находятся внутри клеточных структур, так и тех, что связаны с макроструктурными элементами посредством донорно-акцекторных связей.

Проблема изменения химического состояния выделяемых веществ может решаться путем совмещения процесса диспергирования с модификацией целевых или балластных веществ, содержащихся в растительной биомассе.

Такой подход известен как «твердофазная механохимическая экстракция» и заключается в реакционном измельчении сырья. Технология включает стадию механохимической обработки порошковых смесей, состоящих из растительного сырья и специально подобранной твердой фазы. В качестве последней используются «коллекторы» (различные адсорбенты) или «реагенты» (соединения, способные вступать в реакции с целевыми или балластными веществами).

Например, механохимическая обработка с анионообменными смолами позволяет удалять из растительных экстрактов полифенольные соединения. Смеси порошков растительного сырья и твердой щелочи позволяют в одностадийном

** Примечание. К минорным компонентам природного органического сырья принято относить вещества, содержащиеся в растительной биомассе на уровне единиц процентов и менее.*

процессе выделять водорастворимые вещества в предельных количествах (например, тритерпеновые кислоты, фитостерины и др.). Развитая граница раздела фаз обеспечивает полноту химических превращений, протекающих с участием добавок и целевых веществ.

Изменения количественных и качественных характеристик отдельных компонентов торфа (битумы, углеводный комплекс, гуминовые вещества), достигнутых путем сверхтонкого помола, позволили существенно увеличивать выход гуминовых веществ, изменять молекулярно-массовое распределение гуминовых кислот (ГК) в зависимости от продолжительности и среды измельчения [2–4].

Так, при размоле влажного торфа в составе ГК увеличивается доля низкомолекулярных фракций: образующиеся в результате разрыва химических связей радикалы взаимодействуют с молекулами воды, что приводит к уменьшению длины молекулярной цепи и накоплению гидроксилсодержащих веществ. При размоле сухого торфа получают развитие рекомбинационные процессы, приводящие к увеличению длины молекулярной цепи.

В зависимости от условий механохимической обработки торфа возможно получение препаратов, содержащих повышенные концентрации отдельных компонентов. Эффективность экстрагирования, например, увеличивается в 5–7 раз, выход ГК – в 1,5 раза. Превращения ГК характеризуются разрывом химических связей: С-О различного типа, С-С, протеканием процессов окисления кислородом воздуха и повышением количества гидрофильных групп, вызывающих повышение растворимости препаратов. За счет разрыва С-О связей в микромолекулах гуминовых веществ происходит увеличение выхода полисахаридов. Такие превращения полисахаридов являются результатом разрыва связей между мономерами и образования полимеров более низкой молекулярной массы.

С увеличением дисперсности изменчивость состава и свойств торфа будут возрастать, переходя в новое качественное состояние. Так, в работах Лиштвана И.И. и сотрудников (ИПИПРЭ НАН Беларуси) показано уменьшение гидрофильности активированного торфа, его совместимость с расплавленными полимерами, т. е. осуществлен переход от инертного наполнителя к активному [5, 6].

Это открывает весьма интересные перспективы использования торфа, отходов синтетических полимерных изделий в технологиях производства ряда новых видов продукции: тротуарная и облицовочная плитка, тара-упаковка, композитные составы и др. Аналогичные эффекты обнаружены при изучении взаимодействия механоактивированного торфа с дроблеными отходами пенополистирольных изделий [7].

Введение такого наполнителя в торфяную матрицу, последующего формования позволила получить эффективные по теплотехническим характеристикам изоляционные плитные материалы.

Различные способы механохимической активации торфа как природного ВМС приводят к более глубокой деструкции негидролизуемого остатка, целлюлозы, изменению выхода битумов, гуминовых кислот, продуктов пиролитических реакций, увеличению выхода полифенолов и полисахаридов, углеводов и т. п.

Заметим, что такие компоненты обладают антиоксидантными свойствами, что представляет значительный интерес в здравоохранении, сохранении качества пищевых продуктов, увеличении сроков их хранения.

Изменения в групповом составе торфа обнаружены при термомеханических эффектах трения брикета о стенки матричного канала [8].

В контактных зонах брикета происходит увеличение содержания битумов (5,35 и 2,33% соответственно для контактной зоны и торфяной сушенки), снижение содержания ГК и ФК в 0,80 и 0,85 раза и увеличение в 1,6 раза негидролизуемого остатка.

Механодеструкция торфа приводит к существенным изменениям электротехнических свойств материалов.

На рис. 1 и 2 представлены результаты потенциометрического титрования (верховой торф, R = 12%) до и после сверхтонкой переработки [9].

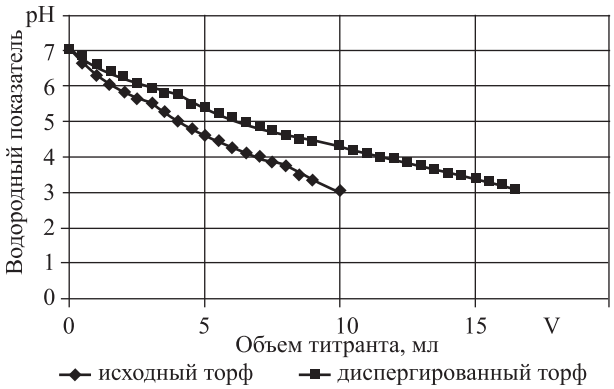


Рис. 1. Потенциометрическое титрование кислотой

Fig. 1. Potentiometric titration with acid

Количество кислых групп составило 38 и 48 мг-экв/100 г с. в., а содержание основных групп – 50,8 и 84,2 мг-экв/100 г с. в. соответственно в исходном и переработанном торфе.

Рис. 2. Потенциометрическое титрование щелочью

Fig. 2. Potentiometric titration with alkali

Применение ИК-спектроскопии при изучении эффектов модификации торфа, подвергнутого механоактивации, с добавкой ПЭГ-600 (полиэтиленгликоль) позволило установить разрыв двойных связей С = С и образование связей О-Н. При этом у модифицированного торфа появились новые полосы поглощения деформационных С-Н связей (1470 см$^{-1}$), валентных СО (1330 см$^{-1}$ и 1100 см$^{-1}$), НСО (1280 см$^{-1}$ и 1240 см$^{-1}$) и колебаний скелета $(CH_3)_2$ –С (830 м$^{-1}$).

Количественное увеличение СН связей с большей энергией взаимодействия за счет уменьшения (разрыва) С = С связей позволило предположить, что структура формованного торфа, подвергнутого модифицированию, будет более прочной, что и подтвердил эксперимент (табл. 1) [9].

Таблица 1. Прочностные свойства модифицированного кускового торфа

Table 1. The tensile properties of the modified block peat

Модификатор	Концентрация, %	Прочность на сжатие, МПа		Коэфф. вариации
		δ сж.	δ относит.	
Контроль	–	2,10	1,0	24
ПЭГ	0,1	3,70	1,69	22
	1,0	2,99	1,37	15
	3,0	3,29	1,50	21

Ультразвуковая переработка торфа, его целлюлозосодержащих компонентов, позволяет расщеплять материал до фибриллярного состояния, что свидетельствует о разрыве сшивок надмолекулярных линейных структур целлюлозы (рис. 3, 4) [10].

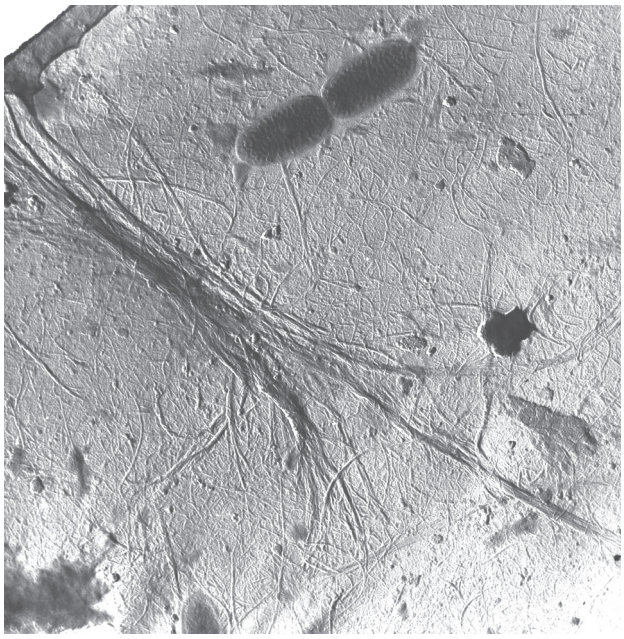


Рис. 3. Фибриллярный пучок целлюлозных волокон сфагнового мха после ультразвукового диспергирования. Электронная микроскопия (М = 18000^{x})

Fig. 3. Fibrillar cellulose fibers bunch of sphagnum moss after ultrasonic dispersion. Electron microscopy (M = 18000h)

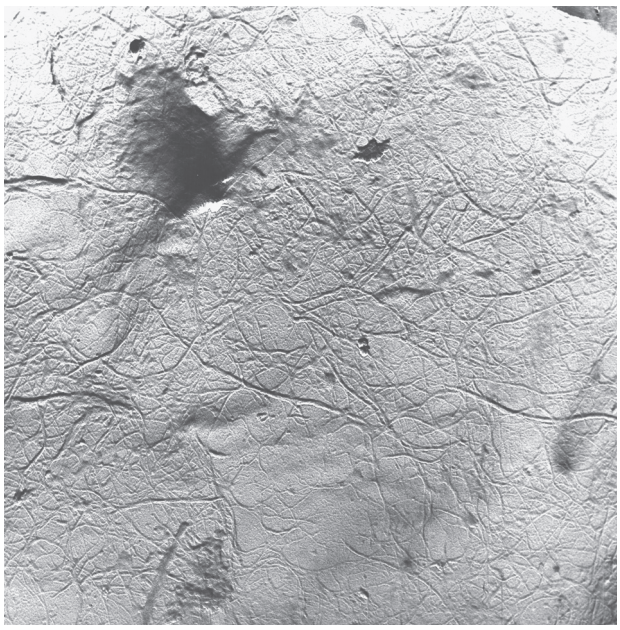


Рис. 4. Предельно диспергированная фибриллярная структура волокон сфагнового мха после ультразвукового диспергирования. Электронная микроскопия (М = 18000^{x})

Fig. 4. Extremely dispersed fibrillar fiber sphagnum moss after ultrasonic dipergirovaniya. Electron microscopy (M = 18000h)

Аналогичные эффекты получены и при переработке различных отходов растениеводства (лузга, кенаф, костра, соломенная резка и т. п.).

Характерной особенностью такого состояния вещества является его высокая реакционная способность, что позволяет эффективно использовать получаемый продукт в технологиях производства строительных материалов (фанера, плиты конструкционные, теплоизоляционные, связующие составы, гидрофобизаторы, композиты и т. п.), в полиграфии, при производстве коммунально-бытового топлива из торфа.

Использование механохимической активации торфа с учетом его группового состава ставит вопрос о возможности перевода практически всех органических компонентов в жидкообразное состояние, т. е. нефтеподобное вещество.

Первые эксперименты по деструктивной гидрогенизации (ДГГ-процесс) дали вполне обнадеживающие результаты, процесс ожижения торфа проводился при нормальных условиях и в присутствии катализаторов платинового ряда.

Глубокие изменения строения молекул исходного сырья можно разделить на две категории:

- изменения, при которых исходная молекула сырья распадается на более мелкие молекулы;
- изменения, при которых из исходных молекул и продуктов первоначальной их деструкции синтезируются новые молекулы, по строению и свойствам резко отличающиеся от исходных.

Такие эффекты (распад и синтез) происходят в той или иной степени во всех промышленных процессах деструктивной переработки нефти, угля, сланцев, лигнитов и т. п.

По химическому составу торф, например, значительно предпочтительнее, чем уголь, поскольку состоит из углеводородов, среди которых лишь некоторые представляют собой полициклические конденсированные соединения. Содержание сернистых соединений в торфе незначительно, в то время как в углях доминируют конденсированные циклические системы, в состав которых входят S, O, N.

На рис. 5 представлена хроматограмма полученного продукта по одному из вариантов ДГГ-процесса.

Среди продуктов реакций обнаружены: ацетон, метанол, этанол и 1-пропанол.

Таким образом, методы механохимической активации торфа все шире начинают внедряться не только в практику работы исследовательских лабораторий, но и в производственную сферу.

Спектр продуктов, получаемых на основе переработанного торфа, постоянно расширяется, захватывая все новые и новые сегменты рынка, успешно конкурируя с имеющимися аналогами по цене, качеству, экологичности, доступности.

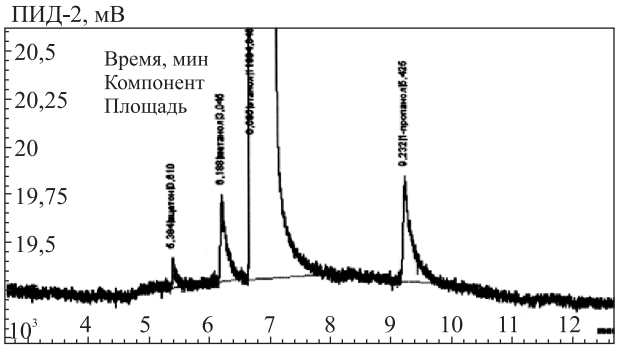


Рис. 5. Хроматограмма продуктов ожижения торфа

Fig. 5. The chromatogram of the liquefaction of peat products

Библиографический список

1. *Ушанова В.М.* Влияние степени измельчения сырья на процесс экстракции. Изв. вузов // Лесной журнал. – 1998. – № 1. – С. 655–657.
2. *Юдин Н.В.* Механохимические превращения в торфах различных типов. Химия твердого топлива. – 2002. – № 5. – С. 3–10.
3. *Кашинская Т.Я., Гаврильчик А.П., Галилец Л.П.* Изменение химического состава торфа при диспергировании // Химия твердого топлива. – 2003. – №1. – С. 89–92.
4. *Наумова Г.В.* Возможные направления использования торфа в биотехнологии. Торф. Пром. – 1987. – № 2. – С. 13–16.
5. *Лиштван И.И., Семенюк И.В.* Возможность использования торфа в качестве наполнителя полимеров // Природопользование. – Мн. – 1996. – вып. 1. – С. 83–86.
6. *Лиштван И.И., Семенюк И.В., Железнова И.Г.* Влияние механоактивации на изменение дисперсности и химических свойств торфа. Природопользование. – 1997. – вып. 2 – С. 3–5.
7. *Шахматов К.Л., Суворов В.И., Соловьев Н.Л.* Теплоизоляционные материалы на основе торфа и отходов производств. – Томск: Ветер. – 2009. – С. 298–301.
8. *Кудряшов А.М.* Разработка и исследование энергосберегающего способа повышения качества торфяных брикетов: Автореф. дис. … канд. техн. наук. – Тверь. 1994. – 22 с.
9. *Суворов В.И.* Научные основы формирования структуры торфа в технологиях получения продукции с заданными свойствами: Автореф. дис. …докт. техн. н. – Тверь. – 2000. – 47 с.
10. *Терентьев А.А., Суворов В.И.* Исследования структуры торфа / Под ред. И.И.Лиштвана. – Мн.: Наука и техника. – 1980. – 96 с.

УДК 662.31.33:504.062

Торопчин М.А.

Михаил Андреевич, к. т. н., доцент каф. природообустройства и экологии
ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет». Тверь, Академическая, 12

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА БОЛОТАХ

Аннотация. В работе рассмотрены возможности проектирования на торфяных болотах очистных сооружений. Обосновывается вариант очистных сооружений на болотах в условиях Севера. Торфяное болото имеет локальное осушение. Период работы сооружения ограничивается величиной поглощающего комплекса торфа.

Ключевые слова: болото, торф, сточные воды, очистное сооружение

Toropchin M.A.

Toropchin Michael A., Ph.D., Associate Professor of Department. Environmental Engineering and Ecology
VPO "Tver State Technical University".
Tver, Academicheskaya, 12

DETERMINATION OF HYDRAULIC DESIGN OF TREATMENT PLANTS IN THE SWAMP

Abstract. The paper discusses the design possibilities in peat bogs treatment facilities. Substantiates the option of treatment facilities in the swamps in the North. Peat bog has a local drainage. The period of construction is limited to absorbing complex of peat.

Keywords: bog, peat, waste water treatment plant

Актуальность исследований проблем проектирования очистных сооружений на болотах

В настоящее время проблема очистки сточных вод является очень актуальной, особенно для небольших населенных пунктов, для которых стандартные очистные сооружения, даже с небольшой производительностью, слишком дороги и экономически убыточны. Расходы по ним не могут выдержать бюджеты малых населенных пунктов. Поэтому проводятся научные исследования по очистке сточных вод на различных природных и искусственных объектах, в том числе и болотах.

Этой проблеме посвящены исследования, проводимые в Тверском государственном техническом университете коллективом авторов под научным руководством профессора д. т. н. Суворова В.И. [1]. В этой работе приводятся примеры применения искусственных и природных участков болот, или как их называют в отечественной и иностранной литературе, «биоплато», в качестве очистных сооружений сточных вод различного происхождения. Авторами также описаны процессы очистки сточных вод на болотах. В указанном отчете дается описание особенностей работы участков болот в северных районах с континентальным климатом. Также ими приведены результаты применения участка болота в качестве очистных сооружений вахтового поселка в климатических условиях Ханты-Мансийского автономного округа. В работе рассмотрены нормативно-правовые аспекты использования болот в качестве очистных сооружений сточных вод. Также в этом отчете приводятся конструктивные решения по очистным сооружениям сточных вод на болотах, в основном в виде открытых бассейнов и параллельных каналов.

На основании вышеописанных исследований авторами был получен патент на изобретение № 2397149 [2]. В патенте авторами описаны физико-химические процессы, происходящие при фильтрации сточных вод через торфяную залежь, конструкции очистных сооружений на болоте, режимы их работы в летнее и зимнее время, учтен фактор промерзания при работе очистных сооружений зимой, и даже приведены некоторые параметры сооружений, в частности глубина и ширина каналов по дну, а также принцип их изменения.

Но ни в первом, ни во втором литературном источнике не даны способы и методы определения параметров очистных сооружений на болотах, не приведены их расчеты, не рассмотрены гидротехнические ограничения. Также практически не указаны способы сброса очищенных сточных вод в замерзающие и даже перемерзающие водоприемники. Не рассмотрены вопросы защиты используемых участков пойменных торфяников в качестве очистных сооружений от затопления паводками и дождевыми поверхностными водами.

Поэтому целью данных исследований является рассмотрение основных схем очистных сооружений на болотах и принципов их работы, определение гидротехнических граничных условий их проектирования. На основе этого будут рассмотрены методы расчета их параметров, в том числе полностью закрытого типа. При этом следует учитывать в режимах работы очистных сооружений сточных вод на болотах зимнее промерзание торфяной залежи и даже замерзание воды в каналах при малых расходах воды.

Площадка осушенной торфяной залежи очистных сооружений оседает и окажется ниже окружающей неосушенной территории болота. Поэтому следует предусматривать защиту площадки очистных сооружений от поверхностных талых и дождевых вод.

Описание схем очистных сооружений на болотах и основных процессов очистки при взаимодействии торфяной залежи со сточными водами

Очистные сооружения на болоте включают в себя заглубленную приемную камеру 1, обеспечивающую осаждение взвешенных частиц, управляющий колодец с задвижкой 3, насосную станцию 4, подающую сточные воды до картполей фильтрации на торфянике по трубопроводу 5; на нем устроены колодцы, расположенные на его поворотах, распределительный колодец 6, управляющий потоком сточных вод на очистных сооружениях, трубопроводы-коллекторы 7 и 8, подающие сточную воду, систему распределительных 9 и принимающих ее элементов 10 на осушенном участке болота 12, осуществляющих процесс фильтрации и очистки сточных вод, сбросную часть очистных сооружений, включающую канал или коллектор-собиратель 11, водоотводный канал или коллектор 15, на котором расположены шлюз-регулятор, совмещенный с переездом, или смотровой распределительный колодец 14, управляющие потоком сброса воды, водоприемник очищенных сточных вод 16 (рис. 1). Также на рисунке 1 показаны существующий и будущие участки полей фильтрации 12, на которые перемещаются следующие очереди очистных сооружений в случае полного насыщения торфяной залежи загрязняющими ингредиентами первой очереди площадки.

Насосная станция 4, подающая сточные воды по трубопроводу, может отсутствовать при большой разнице геодезических отметок выхода трубы из приемной камеры-отстойника и полей-карт фильтрации. При таком положении движение сточных вод по трубопроводу и подающим элементам на болоте обеспечивается за счет разницы напоров, то есть система может быть самотечной.

Система параллельных распределительных подающих сточные воды 9 и принимающих 10 уже профильтрованные воды элементов на биоплато (рис. 1), т. е. на картах-полях фильтрации, может быть открытой, комбинированной и полностью закрытой. Открытая система состоит из каналов (рис. 2), комбинированная – из подземных подающих воду трубопроводов-дрен и принимающих воду каналов (рис. 3), закрытая – из подающих трубопроводов и принимающих воду дрен (рис. 4).

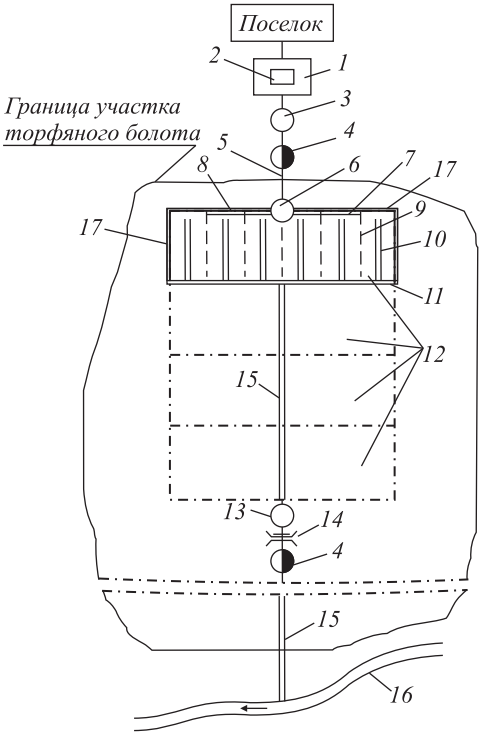


Рис. 1. Схема очистных сооружений на участке торфяного месторождения

Fig. 1. Diagram of sewage treatment plants in the area of peat land

Сбросная часть очистных сооружений может быть открытой, т. е. каналом, или закрытой в виде коллектора. На канале следует установить шлюз-регулятор, совмещенный с переездом, а на коллекторе – распределительный колодец, управляющие режимом сброса воды и ее уровнями в принимающих элементах на полях фильтрации и создающие возможность работы системы в зимнее время.

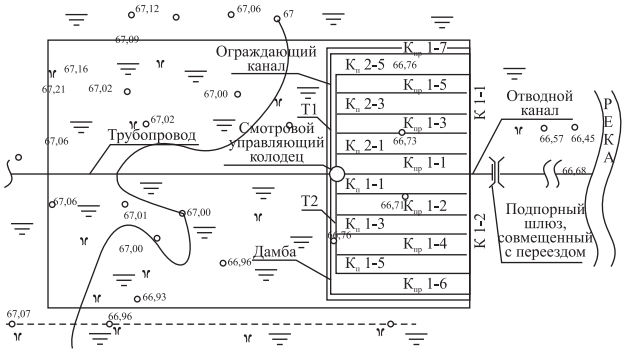


Рис. 2. Схема площадки открытых очистных сооружений на осушенном участке болота: Кп – подающие каналы; Кпр – принимающие каналы; Т1, Т2 – подающие трубопроводы (коллекторы); К 1-1, К 1-2 – коллекторные принимающие каналы

Fig. 2. Open area sewage treatment plants on the dry swamp area: Кп – feding channels; Кпр – receiving channels; Т1, Т2 – supply lines (sewers) to К 1-1, to К 1-2 – collector receiving channels

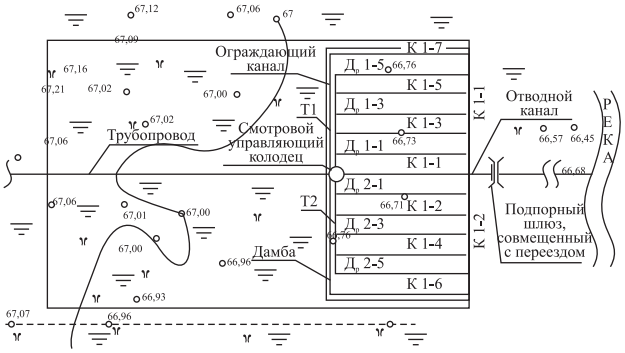


Рис. 3. Схема площадки комбинированных очистных сооружений на осушенном участке болота: Др – подающие дрены; К – принимающие каналы; К 1-1 – принимающие коллекторные каналы; Т1, Т2 – трубопроводы, подающие сточные воды

Fig. 3. The scheme of the site combined treatment plants on the dry marsh area: Др. – feeding drains to – host channels; К 1-1 – taking collector channels; Т1, Т2 – pipelines, sewage feed

В случае невозможности самотечного сброса воды в водоприемник на отводящих сбросных канале или коллекторе должна устраиваться насосная станция 4 (рис. 1).

Водоприемником очищенных сточных вод может быть любой водоток или озеро. При этом сброс сточных вод желательно осуществлять ниже уровня замерзания льда. Для северных районов нашей страны уровень замерзания льда должен быть не менее 70 см. Поэтому это тре-

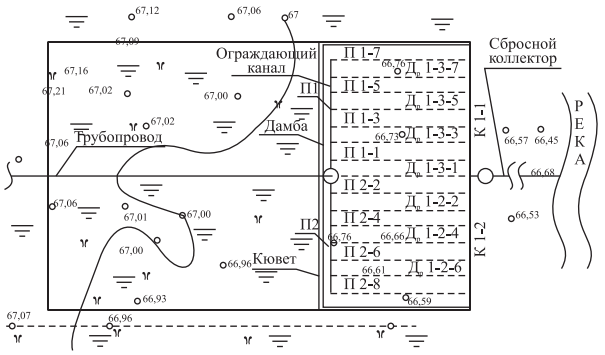


Рис. 4. Схема площадки закрытых очистных сооружений на осушенном участке болота: П – подающие дрены; П1, П2 – подающие трубопроводы; Др – принимающие дрены, К 1-1; К 1-2 – принимающие коллекторы; О – смотровые управляющие колодцы

Fig. 4. The scheme closed area sewage treatment plants on the dry marsh area: П – feeding drains; П1, П2 – supply lines; Др. – receiving drains; K 1-1, K 1-2 – taking collectors on – sight control wells

бование легче осуществить при строительстве коллектора.

При проектировании очистных сооружений на болотах следует учитывать экономические, экологические, климатические и другие факторы. Самой дорогой является закрытая схема очистных сооружений, затем – комбинированная, самой дешевой будет открытая схема. Но при близком расположении очистных сооружений от поселков возможно поступление в населенный пункт запахов и микробного заражения при открытых каналах. Поэтому в этом случае предпочтение приходится отдавать закрытой схеме очистных сооружений.

Очистка сточных вод от загрязнений производится в приемной камере-отстойнике и при их фильтрации через торфяную залежь за счет создания депрессионной кривой и градиента напора между подающими и принимающими элементами сети. В приемной камере-отстойнике сточная вода очищается от взвешенных частиц. В случае недостаточной очистки после отстаивания от взвешенных частиц возможно дополнительное применение ультразвукового аппарата типа УТА–1000 (на схеме показан цифрой 2, рис. 1) [1], вызывающего при работе слипание взвешенных частиц и уничтожающего микрофлору. Полностью уничтожение вредной микрофлоры происходит при пропуске сточных вод через кислую торфяную залежь.

При фильтрации сточной воды через торфяную залежь происходят ионообменные процессы поглощения торфом основного загрязнителя бытовых сточных вод – аммиака, а также других загрязняющих ингредиентов, имеющих основную реакцию: солей металлов и т. д. Как известно [3, 4], ионообменными центрами в торфе являются активные функциональные группы, главным образом – COOH, – OH, гуминовых и фульвовых кислот. Вначале идет реакция замещения в карбоксильной группе иона водорода на ион аммония. Насыщение торфа аммонием приводит к изменению реакции среды до нейтральной и щелочной, начинается замещение в гидроксильных группах иона водорода на ион аммония. Все эти реакции идут в торфяной залежи в области фильтрации между подающими и принимающими элементами сети и могут захватывать и нижележащие слои торфяной залежи. Кроме этого возможно значительное поглощение биогенных ингредиентов произрастающей на поверхности торфяной залежи растительностью, в особенности аммиака, т. е. биологическая очистка [5], которая не учитывается в расчетах срока службы торфяной залежи в качестве очистных сооружений. Все эти реакции очистки сточных вод одинаково обеспечиваются при открытой, комбинированной и закрытой системах очистных сооружений на болотах летом. Зимой приходится повышать уровень воды в принимающих каналах выше замерзания льда, что для суровых условий Сибири составляет порядка 1 м.

Определение условий проектирования очистных сооружений на болотах

Все принимаемые элементы: камера-отстойник, насосная станция, подающий и распределительный трубопроводы, управляющие колодцы, шлюз-регулятор в связи с небольшими размерами являются сооружениями 4-го класса. Система очистки вод на болоте при площади осушения до 10 га проектируется на обеспеченность 10% [6], т. е. она 5-го класса или вне класса. Уровень грунтовых вод (УГВ) «а», поддерживаемый принимающими элементами осушительной сети на полях фильтрации, обеспечивающий очистку сточных вод и поглощение торфом загрязняющих ингредиентов, должен приниматься при проектировании в расчетах в пределах 0,6–1,2 м. С учетом этих условий при проектировании будут приняты все необходимые параметры сооружений.

При работе очистных сооружений на торфянике необходимо исключить протекание сточных вод по поверхности торфяной залежи. Поэтому уровень воды при открытой схеме очистных сооружений в подающих каналах должен быть

ниже бровок не менее чем на 10 см, а в принимающих каналах – ниже их бровок. Уровень сточной воды над подающими трубопроводами при комбинированной и закрытой схемах очистных сооружений необходимо держать на 10 см ниже поверхности торфяной залежи, что следует учитывать при определении расстояний между принимающими элементами сети и напора насосной станции. При проектировании очистных сооружений на севере России, в том числе и в Сибири, в расчетах следует учитывать промерзание торфяной залежи зимой, которое может значительно снижаться при постоянном поступлении теплых сточных вод.

При площади осушения до 10 га во вторую половину зимы расход воды в сбросном элементе (канале или коллекторе) системы будет практически равен расходу профильтровавшейся сточной воды. При поступлении сточной воды от 100 до 1000 м^3/сутки на поля фильтрации расход в сбросной части очистных сооружений будет составлять от 1 до 10 л/с. При минимальной ширине сбросного канала 0,25 м и даже при коэффициенте заложения откоса 0,25 уровень воды в нем будет меньше 0,1 м, а скорость воды при этом будет составлять порядка 0,15 км/час. При морозах больше 20 °С возможно перемерзание потока очищенной сточной воды в сбросном канале, что может полностью прекратить сброс воды. Поэтому сброс воды в такое холодное время должен производиться периодически порциями при накоплении ее в каналах перед шлюзом. При закрытой сбросной части (коллектор) очистных сооружений ее выходная часть должна располагаться ниже отметок промерзания воды в водоприемнике.

Во время интенсивного таяния снега шлюз следует держать открытым, чтобы талые воды не могли переполнить каналы очистных сооружений и разбавленные сточные воды не текли по поверхности торфяной залежи.

Расход бытовых сточных вод колеблется по сезонам года и особенно сильно в течение суток. Он сильно уменьшается зимой и в ночное время. Осреднение расходов будет происходить за счет накопительных приемных камер-отстойников. Но в зависимости от конкретных условий каждого объекта колебания в расходах сточных вод следует учитывать в расчетах параметров очистных сооружений. Поэтому расстояния между принимающими элементами сети очистных сооружений рассчитываются для наиболее тяжелых условий работы при установившейся фильтрации по понижению уровня грунтовых вод (УГВ) и должны проверяться при неустановившейся фильтрации по понижению и допустимому подъему УГВ. При этом расстояния между проектируемыми элементами сети должны приниматься по наименьшему полученному значению. Также должна осуществляться проверка рассчитанных параметров осушительной части системы по расходу фильтрующейся воды [6, 7].

Для строительства и обеспечения работы очистных сооружений путем поглощения торфом загрязняющих веществ при фильтрации сточных вод через залежь необходимо предварительное осушение в течение 1 года. Однако, как известно [8], при осушении происходит осадка и уплотнение торфяной залежи, что влечет за собой и изменение других ее свойств: плотности, пористости, водопроницаемости и других, о чем сообщали многие ученые. Поэтому при проектировании очистных сооружений на болотах следует учитывать изменение коэффициента фильтрации и осадку залежи.

Библиографический список

1. Использование торфяных болот для очистки сточных вод малых населенных пунктов Ханты-Мансийского автономного округа – Югры с числом жителей до 1000 человек: Отчет о НИР/ ТГТУ; Руководитель В.И. Суворов. – Тверь, 2007. – 154 с.
2. Пат. 2397149 Российская Федерация МПК CI R11/51,19/3/32. Способ и сооружение очистки хозяйственно-бытовых сточных вод с использованием элементов экологической системы/ В.И. Толстограй, К.И. Лопатин, Ю.Н. Женихов, В.И, Суворов, В.В. Панов. – № 2008146328/15, заявл. 25.11.2008, опубл. 20.08.10, Бюл. № 23. – 10 с.
3. *Белькевич П.И., Чистова Л.Р.* Ионнообменные свойства торфа. О применении уравнений обменной сорбции к описанию явлений обмена на торфе. Труды института торфа. – Т. VI – Минск, 1957. – С. 40–52
4. *Тишкович А.В.* Теория и практика аммонизации торфа. – Минск: Наука и техника, 1972. – 186 с.
5. *Калинина Е.В.* Снижение содержания биогенных элементов в процессе биологической очистки городских сточных вод высшими водными растениями. Автореф. дис... канд. техн. наук. – Пермь, 2007. – 24 с.
6. СНиП 2.06.03 – 85 Мелиоративные системы и сооружения / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 58 с.
7. Мелиорация и водное хозяйство. 3. Осушение: Справочник / Под ред. Б.С. Маслова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 447 с.
8. *Лундин К.П.* Водные свойства торфяной залежи. – Минск: Урожай, 1964. – 211 с.

УДК 662.331(09)

Копенкина Л.В.

Копенкина Любовь Владимировна, к. т. н., доцент кафедры торфяных машин и оборудования ФГБ ГОУ ВПО «Тверской государственный технический университет». Тверь, Академическая, 12, lvkopenkina@mail.ru

ПЕРВАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ НА ТОРФЕ (К 100-ЛЕТИЮ СОЗДАНИЯ)

Аннотация. В статье рассмотрены история и значение строительства первой районной торфяной электрической станции в России, отмечена роль ведущих русских инженеров-энергетиков в ее создании, особенно Р.Э. Классона.

Ключевые слова: история торфяной отрасли, торфяная электростанция, русские инженеры-энергетики.

Kopenkina L.V.

Kopenkina Lubov V., Dr., Associate Professor of the Chair of Peat Machinery and Equipment of the Tver State Technical University. Tver, Akademicheskaya, 12

THE FIRST PEAT POWER STATION (TO 100-YEARS OF ANNIVERSARY)

Abstract. The article reviewed the history and the value of the first district power station construction in Russia, marked the role of leading Russian power engineers in its construction, especially of R.E. Klasson.

Keywords: bhistory of peat industry, peat power station, Russian power engineers.

В мае 2013 года исполняется 100 лет со дня создания первой районной торфяной электрической станции.

Сооружение первых электрических станций относится к концу 1870-х – началу 1880-х годов. В Петербурге в 1886 году было образовано Общество электрического освещения, в начале 1890-х годов создано его Московское отделение (ликвидировано в 1917 г.).

Обществом электрического освещения в 1897 г. была возведена Центральная электрическая станция Москвы на Раушской набережной и выполнены все подготовительные работы к созданию первой в России районной электрической станции. В результате сооружения районных электростанций промышленные предприятия были избавлены от необходимости строить собственные мелкие электростанции или устанавливать свои электрогенераторы.

В 1900 г. было организовано акционерное общество «Электрическая сила», которое возглавил *Роберт Эдуардович Классон* – один из крупнейших российских энергетиков своего времени.

Р.Э. Классон (1868–1926)

Ученик выдающегося электротехника *В.Н. Чиколева* и изобретателя трехфазного тока (1889 г.) *М.О. Доливо-Добровольского, Классон* руководил совместно с *В.Н. Чиколевым* работами по сооружению первой в России центральной электростанции трехфазного тока на Охтинском пороховом заводе (1896 г.), был автором проектов и возглавлял строительство электрических станций Общества электрического освещения 1886 года.

При консультации *В.Н. Чиколева Классон* осуществил передачу энергии от генераторов станции к двигателям с помощью переменного тока. Он руководил строительством мощных электростанций трёхфазного переменного тока в Москве (1897 г., позднее 1-я Московская государственная электростанция) и на Обводном канале в Петербурге (1898 г., позднее 1-я Ленинградская государственная электростанция), в дальнейшем возглавил работы по расширению Московской станции и переоборудованию кабельной сети с 2 кВ на 6 кВ, что технически и экономически было необходимо.

В 1900–1906 гг. *Классон Р.Э.* вместе с инженером *Красиным Л.Б.* участвовал в электрификации Бакинских нефтепромыслов. Общество «Электрическая сила» закончило постройку двух мощных Бакинских электростанций в Белом Городе (позднее электростанция «Красная Звезда») и в Биби-Эйбате на Баевом мысу (позднее электростанция им. Л.Б. Красина). При их строительстве Классон впервые в России применил воздушную передачу для линии высокого напряжения в 20 тыс. вольт.

Вопросы передачи электроэнергии на расстояния были предметом постоянного рассмотрения на электротехнических съездах. Наиболее детально проблема исследовалась VII Всероссийским электротехническим съездом в 1913 году. На съезде было принято решение о необходимости строительства линий электропередач (ЛЭП). Также было поручено Постоянному комитету съездов выработать законопроект об устройстве ЛЭП, «признавая общегосударственное значение электропередач и районных станций общего пользования в деле развития производительных сил страны, как в смысле возможности использования естественных источников энергии, широкого распространения дешевой энергии в массах населения, так и в деле усовершенствования путей сообщения, прогресса сельского хозяйства, развития мелкой и кустарной промышленности…» [1].

Первым практическим воплощением идеи сооружения районных станций, работающих на местном топливе и обеспечивающих энергией достаточно крупные промышленные регионы, стало строительство около Богородска (с 1930 года – г. Ногинск) под Москвой тепловой электростанции (ТЭС) «Электропередача» (с 1926 г. – электростанция имени Р.Э. Классона).

Во главе организации строительства электрической станции на торфе стояли передовые русские инженеры, которые впоследствии внесли большой вклад в развитие торфяной промышленности и тепловой энергетики нашей страны – *Р.Э. Классон, Г.М. Кржижановский, А.В Винтер, И.И. Радченко, В.Д. Кирпичников, Г.Б. Расин, В.В. Старков* и другие.

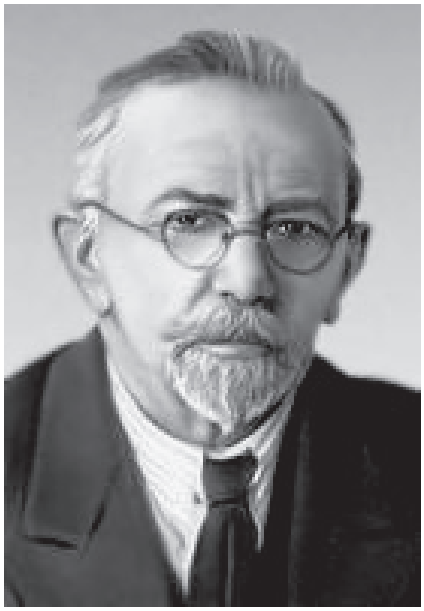
Электростанция «Электропередача» была первой и самой крупной в мире ТЭС, работавшей исключительно на местном топливе – торфе. Для центра Европейской части России, характеризовавшегося достаточно высоким уровнем развития производства и обладавшего огромными торфяными запасами, возведение электростанции «Электропередача» имело исключительно большое значение. Станция стала основным источником электроснабжения промышленного и коммунального хозяйства в Московской и Владимирской губерниях.

Строительство электростанции «Электропередача» положило начало промышленному развитию воздушных высоковольтных линий и передаче электроэнергии на достаточно большие расстояния.

Постройкой первой электростанции на торфе в 1912 г. занималось Московское акционерное общество «Электропередача» (ликвидировано в 1918 г.). Правление общества «Электропередача», так же как и Общества электрического освещения, находилось в Петербурге, контора – в Москве. Строительством районной станции на местном топливе в Московской губернии руководил технический директор Московского отделения Общества 1886 года *Р.Э. Классон*.

Красин Л.Б. подчеркивал, что «именно Классон является творцом идеи электросиловых установок на торфе» [2]. Проект постройки первой районной торфяной станции в России был осуществлен с помощью иностранных кредитов.

Роберт Эдуардович Классон писал о строительстве первой в России электростанции на торфе в своих воспоминаниях: «Московская электрическая станция работала исключительно на нефти, и, когда в 1911 г. я получил известие, что в 75 верстах от Москвы продается большое торфяное болото, решил попытаться привлечь иностранный капитал к постройке районной электрической станции на торфе. В ноябре была предпринята экспедиция на болото для осмотра его, а затем я поехал в Берлин для ведения переговоров с банками относительно финансирования предприятия. В течение двух дней я договорился с банками, немецкими и швейцарскими, все необходимые кредиты были ассигнованы (западных инвесторов привлекли высокие предполагаемые прибыли – до 8%). Зимой были составлены проекты. С ранней весны 1912 г. приступили к работам. Приходилось строить не только квартиры, но и больницы, школы, склады, бани, словом, выстроить почти небольшой город. Место было совершенно дикое. С торфом никто из нас не был знаком. Мы пригласили заведующего торфяными разработками *И.И. Радченко*» (РГАЭ, ф. 9508).



И.И.Радченко (1874–1942)

Иван Иванович Радченко (1874–1942) занимался исследованием торфяных болот Шатуры, в дальнейшем один из организаторов и руководителей торфяной промышленности, председатель Главторфа при ВСНХ РСФСР (1918–1931). В 1912 г. с помощью инженера *Г.М. Кржижановского* он стал организатором и управляющим Богородских торфоразработок.

«Среди болот технически отсталой России в 1912–1913 г. возникает первая в мире мощная районная электрическая станция на торфяном топливе, и надо перенестись в то время, когда никто не знал, как организовать огромное торфяное хозяйство и как непрерывно сжигать миллионы пудов торфа под котлами станции, чтобы понять всю смелость такого предприятия и оценить огромный полет технической мысли Классона» – писали *Стадников Г.Л., Кирпичников В.Д.* [3].

Торфяное болото располагалось в имении Богородского уезда, примыкавшем частью своей южной границы к Владимирскому тракту на 71-й версте от Москвы. Электростанцию и ее центральный поселок запланировали построить на суходоле близ небольшого озера Госбуж. Этот район был вторым после Иваново-Вознесенска центром российской текстильной промышленности. В Орехово-Зуеве работали фабрики наследников *Саввы* и *Викулы Морозовых*, в пригороде Богородска Глухове – *Арсения Морозова*. Ряд фабрик располагался в Павловском Посаде и близ него. В Тимкове и других селах и деревнях близ

будущей «Электропередачи» работали ткачи-кустари.

Весной 1912 г. на торфяное болото по приглашению *Р.Э. Классона* приехали представители банков и на месте ознакомились с уже начавшимся строительством. По воспоминаниям *Л.Б. Красина*, впоследствии пришлось несколько увеличить число вложенных в предприятие миллионов.

В апреле 1912 года были заключены договора с артелями торфяников, в июне было заложено главное здание электростанции. От Нижегородской железной дороги была проложена узкоколейная железная дорога. Осенью привезли первый котел, сразу же начался его монтаж. Сначала помощником, а затем начальником строительства был назначен инженер-энергетик *Александр Васильевич Винтер* (1878–1958), в дальнейшем возглавлявший строительство Шатурской электростанции (1917–1926), Днепрогэса (1927–1930), директор Энергетического института АН СССР имени Г.М. Кржижановского (1944).

А.В. Винтер (1878–1958)

На станции были установлены два турбогенератора по 5,5 тыс. кВт, 1500 об/мин, 6600 В, 50 Гц. Напряжение повышалось при помощи трансформаторной группы до 70 кВ.

«С постройкой «Электропередачи Россия получила наиболее крупную торфяную станцию в мире, а Классон получил здесь широкое поле не только для установки соответствующих котлов, торфяных топок, образцовых турбин и т.д., но и для широкого наблюдения над линией высокого напряжения, перенапряжениями и т. д.» – писал Красин [2].

Линия передач Богородск-Москва имела протяженность более 70 км, и в конце ее, в Измайлове (Москва), была построена понижающая подстанция. В Москве на территории бывшего завода *Ю.П. Гужона* (впоследствии завод «Серп и Молот») Измайловская подстанция была соединена с городской сетью несколькими кабелями. Так в Москве была создана первая, еще несовершенная энергетическая система с соединением станций на периферии отдельных электрических сетей.

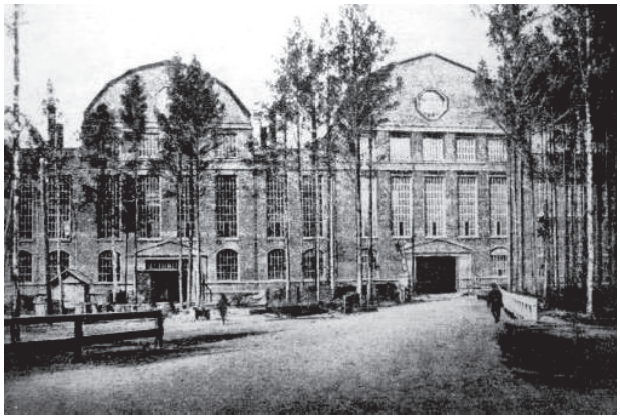
При прокладывании линий электропередач через участки частных землевладельцев возникали проблемы, связанные с отсутствием общегосударственной законодательно-правовой базы, что решалось лишь путем личных договоренностей и торга.

Начиная с мая 1913 г. первая очередь электростанции мощностью 5 тыс. кВт давала электроэнергию своим торфоразработкам, Москве, Орехово-Зуеву, Павлово-Посаду и другим потребителям.

7 мая 1913 г. Богородские торфяные разработки начали давать первые тонны промышленного торфа. Эта дата вошла в историю как рождение первого промышленного торфяного предприятия и начало создания торфяной индустрии России.

В первом сезоне добычу торфа производили на 30 элеваторных машинах с электрическим приводом. На торфопредприятии работали 850 мужчин и 550 женщин. По оснащению техникой и использованию новых оригинальных технических решений торфоразработки являлись передовыми. Этот опыт был предметом изучения как русских, так и иностранных предпринимателей.

В проекте первой в России районной торфяной электрической станции (позднее ГРЭС № 3 имени Р.Э. Классона, 1926) были использованы оригинальные инженерные решения, которые впоследствии получили широкое распространение при сооружении тепловых станций на торфяном топливе, как в России, так и за рубежом.



Первая электростанция на торфе

Отличительной особенностью организации всего строительства был комплексный подход к решению социально-экономических, технических и организационных проблем. Одновременно возводился поселок Электропередача (позднее г. Электрогорск, 1946), готовилось болото, строилась электростанция. Станция и поселок Электропередача были своеобразным прообразом территориально-промышленного комплекса. Весь цикл работ был завершен за 12 месяцев.

Производство электроэнергии на станции постоянно увеличивалось: в 1914 г. – 9,1 млн кВт, в 1915 г. – 38,7 млн кВт, в 1916 г. – 47,7 млн кВт [4].

Однако существовавшие способы добычи торфа не могли обеспечить станцию достаточным количеством топлива. Потребность в увеличении производства торфяного сырья для станции привела к необходимости механизации экскавации и транспорта торфа. Появились первые отечественные экскаваторы для добычи торфа – Зеленая, Панкратова, был изобретен способ гидроторфа.

В 1914 г. *Р.Э. Классон* предложил и совместно с инженером *В.Д. Кирпичниковым* разработал гидравлический способ добычи торфа для снижения трудоемкости работ на торфоразработках. Этот способ должен был использоваться на Шатурской электростанции, заложенной Обществом электрического освещения в 1916 г., но из-за событий 1917. осуществленного в начале 1920-х гг.

С 1914 г. в России для перемещения торфа на поле сушки стали применять канатные транспортеры Персона, созданные в Швеции в 1912 г.

В 1914 г. на разработке «Электропередача» под Москвой, поставлявшей торф на электростанцию, был испытан многоковшовый багер Штренге. Там же был испытан одноковшовый багер (паровая лопата) германской фирмы Менке и Гамброк (РГАЭ, ф.758, оп.1, д.891, л.448).

По инициативе московского уполномоченного по топливу профессора *П.И. Новгородцева* в ноябре 1915 г. в Политехническом музее в Москве были созваны экстренные совещания по подмосковному углю и торфу. В них принимали участие более 150 представителей добывающих и потребляющих топливо предприятий, правительственных учреждений, общественных организаций, Общества заводчиков и фабрикантов, отдельных специалистов-техников. Было заслушано более 34 докладов, всесторонне осветивших вопросы добычи, перевозки и потребления угля и торфа.

Совещания, проходившие под председательством профессоров *П.И. Новгородцева, К.В. Кирша, И.И. Вихляева, Р.Ф. Левицкого, Е.С. Меншикова*, указали на необходимость уделять особенно много внимания местному топливу, ввиду затруднений с доставкой привозного. На совещании выступили с докладами *Р.Э. Классон* («Правовое положение областных электрических станций»), *В.Д. Кирпичников* («Первая торфяная областная станция»), Г.М. Кржижановский («Областные электрические станции на торфе и их значение для центрального промышленного района») [5], имевшими большое историко-техническое значение. В докладах на основе полученного опыта были сформулированы направления и принципы энергетического строительства в России, которые были использованы при разработке плана ГОЭЛРО, принятого в декабре 1920 г., – главного плана экономического и научно-технического развития страны.

«Электропередача» явилась самой крупной в мире торфяной и первой в России районной электростанцией. Эта единственная электростанция, работавшая на местном топливе, питала электроэнергией важнейшие предприятия Москвы в тяжелые годы гражданской войны и топливного кризиса. «Именно эта станция спасла Красную Москву в годы громадного топливного кризиса от повального погашения и окончательной приостановки механических приводов на ее главнейших фабриках и заводах» – отмечал *Г.М. Кржижановский* [6].

В настоящее время электростанция ГРЭС-3 ордена Трудового Красного Знамени, имени инженера *Р.Э. Классона* имеет мощность 589 МВт, является пиковым резервом для Московской энергетической системы. Современные блоки станции основаны на маневренных газовых турбинах. При электростанции создан музей истории РЭС-3, в котором хранятся экспонаты и документы об электростанции и городе Электрогорск.

Библиографический список

1. Труды VII Всероссийского электротехнического съезда. Изд. Комитета Всероссийских электротехнических съездов. – СПб, 1913. – С. 91.
2. *Красин Л.Б.* Инженер Р.Э. Классон // Электричество. – 1926, № 4. – С. 190–192.
3. *Стадников Г.Л., Кирпичников В.Д.* Инженер-технолог Роберт Эдуардович Классон // Торфяное дело, 1926. № 2. – С. 30–31.
4. Гидроторф. Книга вторая. Часть 1. Гидравлический способ сезонной добычи торфа. – М.: Издание науч.-техн. управления ВСНХ СССР. 1927.
5. Труды совещаний по подмосковному углю и торфу, созванных в Москве на 20–22 ноября 1915 г. Московским Уполномоченным Председателя Особого совещания по топливу.
6. *Кржижановский Г.М.* Памяти Р. Э. Классона // Электричество, 1926. № 4.