

Г.Л. МАКАРЕНКО

ИЗУЧЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ СТЕПЕНИ ТРОФНОСТИ СРЕДЫ ТОРФОНАКОПЛЕНИЯ

В составе образующихся торфяных отложений выделены эвтрофная и олиготрофная группы сохранившихся растительных остатков и разложившаяся растительная масса (степень разложения). На этой основе разработана генетическая классификация торфяных отложений и выявлены закономерности природных свойств. Приведена обобщенная схема стадий и этапов развития залежного слоя торфяных месторождений. Выделены три группы горизонтального контакта-перехода залежного слоя из эвтрофной стадии развития в олиготрофную, оценена их относительная встречаемость и для каждой из групп приведены средние показатели природных свойств залежного слоя торфяных месторождений.

Болота как природные объекты, с одной стороны, представляют собой биологический ресурс в естественном состоянии (растительный покров и его обитатели, поддерживающие саморазвитие болотной экосистемы), с другой, природное полезное ископаемое в форме геологического тела (торфяное месторождение). Более 1/5 территории России — оторфованные площади с общим количеством выявленных торфяных месторождений более 65 тыс., на которых сосредоточены запасы торфа в количестве 186 млрд. т. (около 37 % от мировых) на общей площади в 80,5 млн. га [7]. В составе многих регионов РФ торфяные месторождения составляют местную сырьевую базу для создания, развития и совершенствования производственного потенциала и являются неотъемлемой составной частью системы использования торфяного сырья по целому ряду приоритетных направлений хозяйственной, рекреационной и природоохранной деятельности.

Исследованы торфяные месторождения таежной зоны: Локотенское, Жарковский Мох, Чистик, Чембровское, Терелесово-Грядское (Тверская область), Рдейское (Псковская область), Неназванное, Долинное, Тверское (Карелия), Сытоминское и Усть-Кондинское (Тюменская область). Помимо анализа фондовых материалов и литературных данных, авторы использовали отчетные и рукописные материалы различных экспедиций, результаты собственных полевых исследований.

Подстилающая материнская порода, ее генезис, строение, вещественный состав и свойства являются средой формирования и последующего развития болото- и торфообразовательного процессов на поверхности суши Земли. Здесь на первоначальном этапе имели место природные геологические процессы и явления как результат прямого соприкосновения и активного взаимодействия литосферы, атмосферы и гидросферы при последующей максимальной насыщенности органической жизнью в условиях избыточного увлажнения территории. Последняя в условиях относительной неподвижности и покоя геологической среды, а также формирование и развитие болото- и торфообразовательного процессов обуславливают наличие подвижного горизонта капиллярной каймы

(ПГКК), который по сути одновременно обеспечивает питательный режим живых болотных растений и процесс активного разложения отмершей растительной массы в динамической части залежи с последующим накоплением торфяных отложений [2]. Ботанический состав и основные природные свойства торфяные отложения приобретают и наследуют от материнских пород. Главное значение в образовании слоистости залежного слоя имеют количество и размеры поступающего и аккумулирующегося в осадок растительного материала в виде сохранившихся и разложившихся остатков растений-торфообразователей. Подстилающие материнские породы, независимо от генезиса, по фракционному составу представляют собой раздробленный обломочный раздельнозернистый или трещиноватый материал. Находящийся в энергетически ослабленной зоне он изначально служит субстратом для наземных форм жизни на суше и областью минерального питания болотных растений. Несмотря на то, что область питания грунтовой воды совпадает с ее областью распространения, болото- и торфообразовательные процессы развиты только там, где вблизи поверхности суши присутствует ПГКК [4].

Отложения залежного слоя торфяных месторождений — результат атмосферного (органогенного) почвообразования [1]. Характер условий горизонтального залегания пластообразующих генетических слоев торфяных отложений и их структура (тонкозернистая пластичная связанная, грубозернистая или зернисто-комковатая слабосвязанная, ленточная, войлочная, волокнистая, чешуйчатая-слоистая, плейчатая, губчатая) зависят от динамики торфонакопления, характера исходного материала и интенсивности микробиологических процессов распада, отличаются в разных фитоценозах [5]. Мощность генетических слоев торфяных отложений 0,1—3,25 м [2]. Их чередование представляет собой проявление неоднородности в толще залежи и указывает на изменение природных условий отложения осадка.

Предлагается априорная геологическая модель внутреннего строения торфяного месторождения, в соответствии с которой сверху вниз выделены [2, 4]:

многоярусный растительный покров (РП), динамическая часть залежи (ДЧЗ), собственно залежный торфяной слой (СЗС), преобразованная в процессе проявления природных геологических процессов и явлений подстилающая материнская порода (озерные, водно-ледниковые, озерно-ледниковые, ледниковые и лёссовидные образования, сапропелевые отложения, скальные трещинные породы, кора выветривания, аллювиальные отложения, мерзлотная геологическая среда и т.д.). ДЧЗ и СЗС образуют залежный слой болота (ЗС). ДЧЗ сложена подземными частями живых болотных растений и отмершей активно разлагающейся растительной массой. Здесь наблюдается быстрые изменения во времени содержания влаги, количества тепла и воздуха, обусловленные гидрометеорологическим режимом (ходом осадков, интенсивностью солнечной радиации, эвапотранспирацией и стоком). В силу биогенного развития, в зависимости от положения уровня болотной воды (УБВ), предложено ДЧЗ торфяного месторождения по вертикали разбивать на две зоны: верхнюю — транспирационно-инфильтрационную, и нижнюю — транспирационно-фильтрационную. В ДЧЗ помимо условий и среды произрастания болотных растений-торфообразователей (подземные части), при действии тесно взаимосвязанных природных факторов (физического, биологического и химического), одновременно идет активный и сложный процесс неполного разложения в отмершем состоянии и превращения в торфяные отложения, закладывающий основу развития и увеличения мощности СЗС. Он образован генетическими слоями торфяных отложений (растительные остатки и продукты их разложения) различных ботанического и компонентного составов и характеризуется природными свойствами, отражающими специфику и особенности процесса торфонакопления.

Виды растений, произрастание которых приурочено исключительно к переходному типу болота, не обнаружены. Последнее обстоятельство и наличие обширных групп так называемых эвтрофно-мезотрофных и олиготрофно-мезотрофных видов свидетельствуют о постепенном характере смены растительности одного типа болот другим в процессе их развития. При этом наиболее богатая и разнообразная флора низинной (эвтрофной) стадии по мере перехода в стадию верховую (олиготрофную) обедняется [1]. Это нашло подтверждение в исследованиях по взаимосвязи процентного содержания сохранившейся и разложившейся частей остатков растений-торфообразователей, а также по оценке и анализу взаимосвязи концентрации установленных основных подвижных форм катионов в молекулярной (истинной) составляющей внутрипорового раствора с фактическим процентным содержанием растительных остатков эв- и олиготрофной групп в составе торфяных отложений [2].

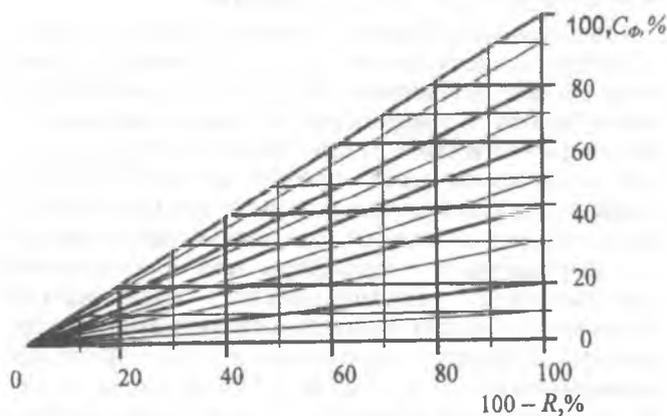
На основе установления в составе торфяных отложений процентного соотношения средних значений концентрации C и активности в растворе λ_c свободных катионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , H^+ выявлено, что основные катионы внутрипорового раствора торфяных отложений — Ca^{2+} или H^+ [2]. Послед-

нее подтверждают и результаты исследований гидрохимического состава болотных вод торфяников Западной Европы [8]. При этом учитывалась активность подвижных форм катионов Ca^{2+} и H^+ при бесконечном разбавлении λ_∞ , которая у H^+ почти в шесть раз превосходит активность Ca^{2+} [6]. Процентное соотношение концентраций катионов C и их активности во внутрипоровом растворе $\lambda_c = \lambda_\infty \cdot C$ для торфяных отложений выразилось в следующих пропорциях (в %):

1. Торфяные отложения, нацело сложенные эвтрофными растительными остатками, или последние преобладают над олиготрофными (обогащенный водно-минеральный режим торфонакопления): $C(71\text{Ca}^{2+}:15\text{Mg}^{2+}:7\text{Al}^{3+}:7\text{H}^+)$; $\lambda_c(55\text{Ca}^{2+}:32\text{H}^+ :9\text{Mg}^{2+}:4\text{Al}^{3+})$;

2. Торфяные отложения, нацело сложенные олиготрофными растительными остатками, или последние преобладают над эвтрофными (обедненный водно-минеральный режим торфонакопления): $C(47\text{H}^+:28\text{Ca}^{2+}:15\text{Al}^{3+}:10\text{Mg}^{2+})$; $\lambda_c(84\text{H}^+:8\text{Ca}^{2+} :5\text{Al}^{3+}:3\text{Mg}^{2+})$.

При выполнении ботанического анализа торфа по традиционной методике первоначально определяется степень разложения, затем образец отмучивается на сите с отверстиями диаметром 0,25 мм. Причем с водой уходят гумифицированная часть и мелкие частицы тканей, на сите остаются крупные остатки растений и семена. По промытому волокну под микроскопом ведется определение ботанического состава с установлением принадлежности растительного остатка к тому или иному виду растения. При оценке количественных соотношений между растительными остатками в поле зрения микроскопа все торфяное волокно принимается за 100 %, а по площади, занимаемой отдельными видами растительных остатков, устанавливается процентное соотношение между ними. При таком подходе нельзя установить фактическое процентное содержание (ФПС) и не учитывается разложившаяся растительная масса (степень разложения торфа). Установление ФПС неразложившихся растительных остатков в торфе предлагается проводить тремя методами: расчетным, по номограмме (рисунок) и программно-алгоритмического пересчета с использованием микроЭВМ для более



Номограмма для определения фактического процентного содержания сохранившихся растительных остатков в торфе

ускоренного перевода информации в ФПС растительных остатков в торфе [2].

Расчетный метод по формуле

$$C_{\Phi} = C_{\text{МБА}} \cdot (100 - R)/100, \%$$

где C_{Φ} , $C_{\text{МБА}}$ — фактическое процентное и процентное содержание растительного остатка в торфе по результатам ботанического анализа под микроскопом (по типовой принадлежности, группе или отдельно взятому виду) соответственно, %; R — степень разложения торфа (содержание разложившейся растительной массы), %.

Номограммный метод. На номограмме вертикальные линии отражают процентное содержание остатков тканей неразложившихся растений-торфообразователей от общей массы торфа ($100 - R$), наклонные линии — содержание остатков тканей неразложившихся растений торфообразователей в торфе по результатам его ботанического анализа под микроскопом, горизонтальные линии — ФПС растительных остатков в торфе, которое устанавливается по горизонтальной линии, проходящей через точку пересечения вертикальной и наклонной линий номограммы.

Таблица 1

Характерные признаки таксономических единиц генетической классификации торфяных отложений

Т и п	Г р у п п а			К л а с с					
	Э	СМЭ	РЭ	ЭМ	ЭТ	ЭД	СМЭ	СМЭР	ЭР
Эвтрофный Э=100% или Э>О	Э=50 и более	Э<50 О<50 R<50	R=50 и более	Преобладающие группы остатков: моховая, травяная, древесная			Э>R	R>Э	R=50 и более
Олиготрофный О=100% или О>Э	О	СМО	РО	ОМ	ОТ	ОД	СМО	СМОР	ОР
	О=50 и более	Э<50 О<50 R<50	R=50 и более	Преобладающие группы остатков: моховая, травяная, древесная			О>R	R>О	R=50 и болсс

Таблица 2

Осредненная характеристика природных свойств торфяных отложений

Класс торфяных отложений	Общетехнические свойства				Агрохимические свойства, %					Физико-химические свойства, мг-экв/100 г			
	R, %	W, %	АС, %	pHС	S	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ca ²⁺	H ⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺
Эвтрофный тип торфяных отложений													
<i>Гумифицированная эвтрофная группа RЭ</i>													
ЭР	53	80,1	25,4	3,6	0,31	1,51	0,44	1,8	0,83	34,5	8,3	6,5	21,1
<i>Смешанная эвтрофная группа СМЭ</i>													
СМЭР	42	86,3	4,2	3,55	0,27	2,2	0,22	0,19	0,31	85,3	9,5	11,3	1,7
СМЭ	23	89,1	1,63	3,6	0,15	0,57	0,25	0,12	0,13	29,3	18,4	11,3	2,4
Среднее по группе	32,5	87,7	2,9	3,6	0,21	1,4	0,24	0,16	0,22	57,3	13,9	11,3	2,1
<i>Эвтрофная группа Э</i>													
ЭД	43	85,0	8,9	5,6	0,26	0,93	0,24	1,7	0,36	43,0	2,02	14,2	2,7
ЭТ	34	88,0	8,7	5,3	0,37	1,37	0,54	0,82	0,59	36,9	3,33	14,3	2,3
ЭМ	22	88,0	8,1	4,7	0,25	1,53	0,79	0,42	0,57	26,9	5,72	13,8	2,3
Среднее по группе	33	87,0	8,6	5,2	0,29	1,28	0,52	0,98	0,51	35,6	3,69	14,1	2,4
Среднее по типу	40	84,9	12,3	4,1	0,27	1,4	0,4	0,98	0,52	42,5	8,62	10,6	8,5
Олиготрофный тип торфяных отложений													
<i>Гумифицированная олиготрофная группа РО</i>													
ОР	53	83,0	7,33	3,6	0,15	0,5	0,14	0,20	0,11	23,8	12,2	6,3	8,8
<i>Смешанная олиготрофная группа СМО</i>													
СМОР	47	86,0	3,74	3,4	0,18	0,79	0,07	0,23	0,33	25,8	22,4	9,3	12,7
СМО	25	90,5	2,65	3,1	0,2	1,14	0,35	0,23	0,33	46,0	2,3	7,5	10,9
Среднее по группе	36	88,2	3,2	3,3	0,19	0,96	0,21	0,23	0,33	35,9	12,4	8,4	11,8
<i>Олиготрофная группа О</i>													
ОД	43	82,0	3,35	3,4	0,12	0,39	0,11	0,23	0,10	16,0	17,2	9,0	11,2
ОТ	40	87,0	2,38	3,2	0,13	0,37	0,14	0,14	0,07	10,5	13,1	4,6	10,7
ОМ	21	91,0	2,68	3,1	0,13	0,58	0,25	0,18	0,13	14,4	17,5	7,5	8,7
Среднее по группе	34,7	86,7	2,8	3,2	0,13	0,45	0,17	0,18	0,10	13,6	15,9	7,0	10,2
Среднее по типу	41,2	86,0	4,4	3,4	0,16	0,64	0,17	0,20	0,18	24,4	13,5	7,2	10,3

Примечание. R, % — степень разложения, W, % — относительная влажность, АС, % — зольность, pHС — обменная кислотность

За основные биогенные компоненты торфяных отложений, определяющие их состав и отражающие степень трофности среды торфонакопления, приняты: ФПС растительных остатков эвтрофного типа (Э); ФПС растительных остатков олиготрофного типа (О); процентное содержание разложившейся растительной массы и остатков тканей растений-торфообразователей, утративших клеточное строение (степень разложения торфа) (R), которые в сумме составляют 100 %. На основе компонентного состава разработана генетическая классификация торфяных отложений [2]. Таксономические единицы классификации торфяных отложений (тип, группа, класс) устанавливаются в соответствии с характерными признаками (табл. 1). Признаком установления эвтрофного (низинного) типа Э по компонентному составу принимается 100-процентное содержание эвтрофных растительных остатков или их преобладание над олиготрофными в составе торфяных отложений, а олиготрофного (верхового) типа О — 100-процентное содержание олиготрофных растительных остатков или их преобладание над эвтрофными. В каждом типе выделены три группы: в эвтрофном — эвтрофная (Э), смешанная эвтрофная $СМ_Э$ и гумифицированная эвтрофная $R_Э$; в олиготрофном — олиготрофная О, смешанная олиготрофная $СМ_О$ и гумифицированная олиготрофная $R_О$ (табл. 1). Для выделения групп торфяных отложений предлагается использовать метод треугольника [2]. Они делятся на классы (шесть классов в каждом типе). В эвтрофном типе и эвтрофной группе по преобладающему фактическому содержанию групп растительных остатков выделяются: эвтрофные моховой $Э_М$, травяной $Э_Т$ и древесный $Э_Д$ классы; в смешанной эвтрофной

группе — смешанные эвтрофной $СМ_Э$ и эвтрофный гумифицированный $СМ_{ЭR}$ классы; в гумифицированной эвтрофной группе — эвтрофный гумифицированный $Э_R$ класс. В олиготрофном типе и олиготрофной группе по преобладающему фактическому содержанию групп растительных остатков установлены олиготрофные моховой $О_М$, травяной $О_Т$ и древесный $О_Д$ классы; в смешанной олиготрофной группе — смешанные олиготрофный $СМ_О$ и олиготрофный гумифицированный $СМ_{ОР}$ классы; в гумифицированной олиготрофной группе — олиготрофный гумифицированный $О_R$ класс (табл. 1). Результаты изучения природных свойств торфяных отложений приведены в табл. 2.

Процесс болотообразования и торфонакопления начинается с *эвтрофной стадии развития*, на которой откладываются торфяные отложения, нацело состоящие из эвтрофных растительных остатков Э ($Э = 100\%$ — первый этап эвтрофной стадии развития) (табл. 3). В последующем в составе появляются олиготрофные растительные остатки О при доминирующем (преобладающем) содержании эвтрофных Э ($Э > О$ — второй этап эвтрофной стадии развития). На определенном этапе наступает переломный момент (выделяется горизонтальный контакт), при котором торфяная залежь из эвтрофной стадии развития переходит в олиготрофную, и в составе торфа начинают доминировать олиготрофные растительные остатки О ($Э < О$ — первый этап олиготрофной стадии развития). На границе установленного контакта методом треугольника на основе биологических компонент определяется группа торфа в эвтрофной (нижняя часть контакта) и в олиготрофной (верхняя часть контакта) стадиях развития торфяной залежи, устанавливается тип контакта. Всего на основе компонентного состава торфяных отложений выделены девять типов горизонтального

Таблица 3

Основные стадии и этапы развития современного болотообразовательного процесса и процесса торфонакопления

Динамическая часть залежного слоя — одновременно среда произрастания болотной растительности и среда активного неполного разложения отмершей растительной массы														
Соотношение остатков в торфе	Стадии и этапы развития собственно залежного слоя	Основная характеристика торфяных отложений												
$О = 100\%$	Второй этап олиготрофной стадии развития	Подвижная форма катионов во внутриводном растворе — H^+ . <i>Группы торфяных отложений на основе их компонентного состава:</i> Гумифицированная олиготрофная $R_О$ Смешанная олиготрофная $СМ_О$ Олиготрофная О												
$О > Э$	Первый этап олиготрофной стадии развития Олиготрофная стадия развития													
Граница перехода		Группы контактов												
		<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">первая</td> <td style="text-align: center;">вторая</td> <td style="text-align: center;">третья</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$R_Э - R_О$</td> <td style="text-align: center;">$СМ_Э - R_О$</td> <td style="text-align: center;">$Э - R_О$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$R_Э - СМ_О$</td> <td style="text-align: center;">$СМ_Э - СМ_О$</td> <td style="text-align: center;">$Э - СМ_О$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$R_Э - О$</td> <td style="text-align: center;">$СМ_Э - О$</td> <td style="text-align: center;">$Э - О$</td> </tr> </table>	первая	вторая	третья	$R_Э - R_О$	$СМ_Э - R_О$	$Э - R_О$	$R_Э - СМ_О$	$СМ_Э - СМ_О$	$Э - СМ_О$	$R_Э - О$	$СМ_Э - О$	$Э - О$
первая	вторая	третья												
$R_Э - R_О$	$СМ_Э - R_О$	$Э - R_О$												
$R_Э - СМ_О$	$СМ_Э - СМ_О$	$Э - СМ_О$												
$R_Э - О$	$СМ_Э - О$	$Э - О$												
$Э > О$	Второй этап эвтрофной стадии развития	Подвижная форма катионов во внутриводном растворе — Ca^{2+} . <i>Группы торфяных отложений на основе их компонентного состава:</i> Гумифицированная эвтрофная $R_Э$ Смешанная эвтрофная $СМ_Э$ Эвтрофная Э												
$Э = 100\%$	Первый этап эвтрофной стадии развития Эвтрофная стадия развития													
Минеральная геологическая среда на основе природных геологических процессов и явлений или лимно-гляциальные и лимногенные образования (пески, супеси, суглинки, глины, илы, сапрпели)														

Среднезалежная характеристика свойств торфяных отложений в соответствии с группами горизонтального контакта

Контактная группа	Общетехнические свойства				Агрохимические свойства, %					Физико-химические свойства, мг-экв/100 г			
	R, %	W, %	АС, %	pHС	S	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ca ²⁺	H ⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺
Первая	42,0	86,9	3,6	3,3	0,2	0,96	0,15	0,22	0,19	33,0	25,0	9,5	13,9
Вторая	34,0	88,8	2,4	3,3	0,2	0,5	0,15	0,18	0,13	21,5	17,0	7,7	11,1
Третья	22,0	91,1	3,0	3,4	0,17	0,78	0,19	0,18	0,16	23,8	6,2	7,6	7,9

контакта. Их исследование позволило выявить закономерность, в соответствии с которой типы объединены в три группы: первая R_9-R_0 ; R_9-SM_0 ; R_9-O (нижняя часть контакта — гумифицированный эвтрофный торф); вторая SM_9-R_0 ; SM_9-SM_0 ; SM_9-O (нижняя часть контакта — смешанный эвтрофный торф); третья $\Theta-R_0$; $\Theta-SM_0$; $\Theta-O$ (нижняя часть контакта — эвтрофный торф). На завершающем этапе развития залежного слоя торфяные отложения состоят нацело из олиготрофных растительных остатков O ($O = 100\%$ — второй этап олиготрофной стадии развития). В процессе исследований оценена относительная встречаемость групп горизонтального контакта перехода залежного слоя торфяных месторождений из эвтрофной стадии развития в олиготрофную: 1- 8; 2- 58; 3-я 34%.

Выявлено, что каждая из контактных групп отражает обстановку и режим процесса торфонакопления, закономерности стратиграфии, состава и природных свойств отложений; обнаруживает генетически унаследованную взаимосвязь с растительным покровом торфяных месторождений (табл. 4) [2, 3].

Установлено, что совокупность условий развития торфяных месторождений по степени трофности среды торфонакопления и ход смены этих условий могут быть чрезвычайно разнообразны. Каждый из этапов развития залежи торфяного месторождения независимо от стадии отражает природные условия наиболее длительного периода его существования и решающим образом определяет качественные характеристики залежи, ее эксплуатационное значение и генеральное направление рационального использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бахнов В.К. Биогеохимические аспекты болотообразовательного процесса. Новосибирск: Наука, 1986. 193 с.
2. Макаренко Г.Л. Геология торфяных месторождений. Монография. Тверь: Изд-во ТГТУ, 2001. 216 с.
3. Макаренко Г.Л. Оценка ресурсного потенциала природных объектов на примере Тверской области. Тверь: Изд-во ТГТУ, 2004. 148 с.
4. Макаренко Г.Л., Шадрин Н.И. Основы биогеоценологии болот (геологический аспект): Учебное пособие. Тверь: Изд-во ТГТУ, 1999. 162 с.
5. Пичугин А.В. Торфяные месторождения: Учебник. М.: Высш. шк., 1967. 275 с.
6. Шаталов А.Я., Маршаков И.К. Практикум по физической химии: Учебное пособие. М.: Высш. шк., 1968. 224 с.
7. World Peat Resources: Reference book/ V.D. Markov, A.S. Olenin, L.A. Ospennikova & al. Moscow: Nedra Publishing House, 1988. 383 p. ISBN 5-247-00330-6
8. Waugman G.I., Bellamy D.J. The distribution of major elements between some ecosystem components in different peat land Zones // V11 International Peat Congress. Dublin, 1984. P. 32-48.

Тверской государственный технический университет
Рецензент — Л.М. Прокофьева