© Г.Л. Макаренко, 2008

УДК 622.1:553.97:624.131.43

Г.Л. Макаренко

РАЗВИТИЕ КОНЦЕПЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ СТЕПЕНИ ТРОФНОСТИ СРЕДЫ ТОРФОНАКОПЛЕНИЯ

Семинар № 1

Болота, как природные объекты в виде наземных образований суши, с одной стороны, представляют собой биологический ресурс в живом естественном состоянии (растительный покров и его обитатели, поддерживающий саморазвитие болотной экосистемы), с другой, природное полезное ископаемое образование в форме геологического тела (торфяное месторождение). Более 1/5 территории России – оторфованные площади с общим количеством выявленных торфяных месторождений более 65 тысяч, на которых сосредоточены запасы торфа в количестве 186 млрд т (около 37 % от мировых запасов торфа) 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.

Подстилающая материнская порода, ее генезис, строение, вещественный состав и свойства являются средой формирования и последующего развития болото- и торфообразовательного процесса на поверхности суши Земли, где 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. Избыточную увлажненность, в условиях относительной неподвижности и покое геологической среды, формирование и развитие болото- и торфообразовательного процесса обуславливает наличие подвижного горизонта капиллярной каймы ПГКК, который по сути единовременно 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-торфообразовате-лей. Подстилающие материнские породы, независимо от генезиса, по фракционному составу представляют собой раздробленный обломочный раз-дельнозернистый или трещино-

ватый материал. Как энергетически ослабленная зона, он изначально является субстратом наземных форм жизни на суше и областью минерального питания болотных растений. Несмотря на то, что область питания грунтовой воды совпадает с областью ее распространения, болото- и торфоообразовательный процесс получает развитие только там, где вблизи поверхности суши присутствует ПГКК [4].

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

Моделирование является наиболее эффективным способом отображения сложных природных объектов, каковым является торфяное месторождение. Это дает возможность замещать его и получать о нем новую информацию. Предлагается априорная геологическая модель внутреннего строе-ния торфяного месторождения, в соответствии с которой сверху вниз выделены [2, 4]: многоярусный растительный покров РП, динамическая часть залежи ДЧЗ, собственно залежный торфяной слой СЗС, подстилающая материнская порода в виде геологической среды, преобразованной в процессе проявления природных геологических процессов и явлений (озерные, водно-ледниковые, озер-но-ледниковые, ледниковые и лессовидные 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 органами живых болотных растений и отмершей активно разлагающейся растительной массой. Здесь наблюдается быстрое изменение 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, ДЧЗ торфяного месторождения по вертикали предложено разбивать на две зоны: верхнюю – транспирационно-инфильтра-ционную, и нижнюю – транспирационно-фильтрационную. В ДЧЗ, помимо условий и среды **произраста-ния** болотных растений-торфообразователей (подземные органы), при действии тесно взаимосвязанных природных факторов (физического, биологического и химического), **единовременно** идет активный и сложный процесс их неполного **разложения** в отмершем состоянии и превращения в торфяные отложения, закладывающий основу развития и увеличения мощности СЗС. СЗС образован генетическими слоями торфяных отложений (растительные остатки и продукты их разложения) различного ботанического и компонентного состава и природными свойствами, отражаю-

щими специфику и особенности процесса торфонакопления.

Видов растений, произрастание которых было бы приурочено исключительно к переходному типу болота, не обнаружено. Отсутствие строго приуроченных видов к переходному типу болот и наличие обширных групп, так называемых евтрофно-мезотрофных и олиготрофно-мезотрофных видов свидетельствуют о постепенном характере смен 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 и становится менее разнообразной [1]. Этому нашли подтверждение результаты ранее проведенных исследований по взаимосвязи процентного содержания сохранившейся и разложившейся частей остатков растений-торфообразователей, а также по оценке и анализу взаимосвязи концентрации установленных основных подвижных форм катионов (по Л.О. Карпачевскому) в молекулярной (истинной) составляющей внутрипорового раствора с фактическим процентным содержанием растительных остатков эвтрофной и олиготрофной групп в составе торфяных отложений [2].На основе установления в составе торфяных отложений процентного соотношения средних значений концентрации С и активности в растворе λ_C свободных катионов кальция Ca^{++}, магния Mg^{++}, алюминия Al^{+++}, водорода H^{+} было выявлено, что основными катионами внутрипорового раствора торфяных отложений являются катионы кальция Ca^{++} или катионы водорода H^{+} [2]. Это подтверждают и результаты исследований гидрохимического состава болотных вод торфяников Западной Европы [8]. При этом учитывалась активность подвижных форм катионов кальция Ca^{++} и водорода H^{+} при бесконечном разбавлении λ_∞, которая у катионов водорода почти в шесть раз превосходит катионы кальция [6]. Процентное соотношение катионов по концентрации С и активности во внутрипоровом растворе $\lambda_c=\lambda_\infty \cdot C$ для торфяных отложений выразилось в следующих пропорциях (%):

- торфяные отложения нацело сложеные эвтрофными растительными остатками или последние преобладают над олиготрофными (обогащенный водно-минеральный режим торфонакопления) –

$C(71Ca^{++}:15Mg^{++}:7Al^{+++}:7H^{+})$;

$\lambda_c(55Ca^{++}:32H^{+}:9Mg^{++}:4Al^{+++})$;

- торфяные отложения нацело сложеные олиготрофными растительными остатками или последние преобладают над эвтрофными (обедненный водно-минеральный режим торфонакопления)-

$C(47H^{+}:28Ca^{++}:15Al^{+++}:10Mg^{++})$;

$\lambda_c\ (84H^{+}:8Ca^{++}:5Al^{+++}:3Mg^{++})$.

В настоящее время при выполнении ботанического анализа торфа, по традиционной методике, первоначально определяется степень разложения, затем образец отмучивается на сите с отверстиями диаметром 0,25 мм. При этом 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

Номограммный метод

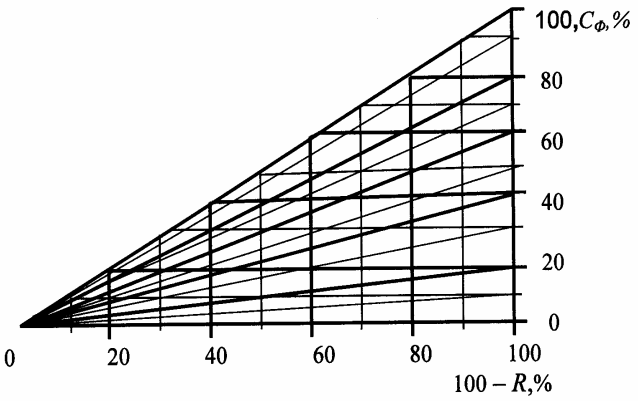

Рис. 1. Номограмма по определению фактического процентного содержания сохранившихся растительных остатков в торфе

торфяное волокно принимается за 100 %, а по площади, занимаемой отдельными видами растительных остатков, устанавливается процентное соотношение между ними. Это не отвечает фактическому процентному содержанию (от общей массы торфа) и не учитывает разложившуюся растительную массу (степень разложения торфа). Проблема оценки фактического процентного содержания растительных остатков в составе торфяных отложений ранее была поставлена З. Руофф [1918] и Н.Я. Кац [1941], в соответствии с которой процентное покрытие растительными остатками поля зрения микроскопа, учитывающее разложившуюся растительную массу, определяет более полную характеристику торфяных отложений, а количественное соотношение компонентов позволяет рассматривать их как действительное, то есть в неискаженном виде. Установление фактического процентного содержания неразложившихся растительных остатков в торфе предлагается проводить тремя методами: расчетным, по номограмме и, для более ускоренного перевода информации в фактическое процентное содержание растительных остатков в торфе, программно-алгоритмическим методом пересчета с использованием микроЭВМ [2].

Расчетный метод по формуле

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

где $C_Ф$ – фактическое процентное содержание растительных остатков в торфе (по типовой принадлежности, группе или отдельно взятому виду), %; $C_{МБА}$ – процентное содержание растительного остатка в торфе по результатам ботанического анализа под микроскопом (по типовой принадлежности, группе или отдельно взятому виду), %; R – степень разложения торфа (содержание разложившейся растительной массы), %.

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 ботанического анализа торфа под микроскопом, горизонтальные линии - фактическое процентное содержание растительных остатков в торфе. Фактическое процентное содержание растительных остатков в торфе устанавливается по горизон-тальной линии, проходящей через точку пересечения вертикальной и наклонной линиями номограммы.

За основные биогенные компоненты торфяных отложений, определяющие их состав и отражающие степень трофности среды торфонакопления, приняты: фактическое процентное содержание растительных остатков эвтрофного типа Э; фактическое процентное содержание

Таблица 1

Характерные признаки таксономических единиц генетической классификации торфяных отложений

Таблица 2. Осредненная характеристика природных свойств торфяных отложений

Тип торфяных отложений			Группа							Класс			
	Общетехнические свойства		Агрохимические свойства, %				Физико-химические свойства, мг-экв/100 г						
Класс торфяных отложений	Преобладающие группы остатков: моховая		Э=50 и О=50	Э<50 и О<50	R=50 и R<50	R=50 и более	Э>R			R>Э			R=50 и более
	R,%	W,%	A^c,%	pH_{CR}	CaO	MgO	Al_2O_3	Fe_2O_3	Ca^{++}	H^+	Mg^{++}	Al^{+++}	
Эвтрофный тип торфяных отложений													
Гумифицированная эвтрофная группа $R_Э$													
Олиготрофный $Э_R$	**53**	**80,1**	**25,4**	**3,6**	**0,31**	**1,51**	**0,40**	**1,8**	**0,85**	**34,5**	**8,3**	**6,5**	**21,1**
О=100% или О>Э			*Смешанная эвтрофная группа* $СМ_Э$										
$СМ_{ЭR}$	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
$СМ_Э$	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**
Эвтрофная группа $Э_Д$													
$Э_Д$	43	85,0	8,9	5,6	0,26	0,93	0,24	0,17	0,36	45,0	2,02	14,2	2,7
$Э_Т$	34	88,0	8,7	5,3	0,37	1,57	0,54	0,82	0,59	36,9	3,33	14,3	2,3
$Э_М$	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													
Гумифицированная олиготрофная группа R_O													
O_R	**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**
Смешанная олиготрофная группа $СМ_O$													
$СМ_{OR}$	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
$СМ_O$	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**
Олиготрофная группа O													
$O_Д$	43	82,0	3,35	3,0	0,15	0,39	0,12	0,23	0,10	16,0	17,2	9,0	11,2
O_T	40	87,0	2,38	3,2	0,13	0,37	0,14	0,17	0,07	19,3	13,1	4,6	10,7
O_M	21	91,0	2,68	3,1	0,13	0,38	0,25	0,18	0,13	14,4	17,5	7,3	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. Э – фактическое процентное содержание сохранившейся эвтрофной группы растительных остатков; О – фактическое процентное содержание сохранившейся олиготрофной группы растительных остатков; R – фактическое процентное содержание разложившихся растительных остатков (степень разложения).

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 % содержание эвтрофных растительных остатков или их преобладание над олиготрофными в составе торфяных отложений, а олиготрофного (верхового) типа О – 100 % содержание олиготрофных растительных остатков или их преобладание над эвтрофными. В каждом типе выделяются три группы: в эвтрофном – эвтрофная Э, смешанная эвтрофная $СМ_Э$ и гумифицированная эвтрофная $R_Э$, в олиготрофном – олиготрофная О, смешанная олиготрофная $СМ_O$ и гумифицированная олиготрофная R_O (см. табл. 1). Для выделения групп торфяных отложений предлагается использовать метод треугольника [2].

Группы торфяных отложений делятся на классы (6 классов в каждом отдельно взятом типе). В эвтрофном типе и эвтрофной группе по преобладающему фактическому содержанию групп растительных остатков выделяются: эвтрофный моховой $Э_M$, эвтрофный травяной $Э_T$ и эвтрофный древесный $Э_Д$ классы; в смешанной эвтрофной группе – смешанный эвтрофный СМЭ и смешанный эвтрофный

Таблица 2

Осредненная характеристика природных свойств торфяных отложений

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 выделяя-ются: олиготрофный моховой $О_М$, олиготрофный травяной $О_Т$ и олиготрофный древесный $О_Д$ классы; в смешанной олиготрофной группе – смешанный олиготрофный $СМ_О$ и смешанный олиготрофный гумифицированный $СМ_{OR}$ классы; в гумифицированной олиготрофной группе – олиготрофный гумифицированный $О_R$ класс (см. табл. 1). Изучены природные свойства торфяных отложений (табл. 2).

В общем виде процесс болотообразования и торфонакопления начинается с **эвтрофной стадии развития**, при котором откладываются торфяные отложения, нацело состоящие из эвтрофных растительных остатков Э (Э = 100 % - первый этап эвтрофной стадии развития) (табл. 3).

Таблица 3

Основные стадии и этапы развития современного болотообразовательного процесса и процесса торфонакопления

Динамическая часть залежного слоя – единовременная 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	Основная подвижная форма катионов во внутрипоровом растворе – катион H^+ *Основные группы торфяных отложений на основе их компонентного состава*: гумифицированная олиготрофная R_O смешанная олиготрофная CM_O олиготрофная О
О > Э	**Первый этап** олиготрофной стадии развития **ОЛИГОТРОФНАЯ СТАДИЯ РАЗВИТИЯ**	
Г Р А Н И Ц А П Е Р Е Х О Д А		*Основные группы контактов* ПЕРВАЯ ВТОРАЯ ТРЕТЬЯ $R_Э – R_O$ $CM_Э – R_O$ Э – R_O $R_Э – CM_O$ $CM_Э – CM_O$ Э – CM_O $R_Э – O$ $CM_Э – O$ Э – О
Э > О	**Второй этап** эвтрофной стадии развития	Основная подвижная форма катионов во внутрипоровом растворе – катион Ca^{++} *Основные группы торфяных отложений на основе их компонентного состава*: гумифицированная эвтрофная $R_Э$ смешанная эвтрофная $CM_Э$ 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, сапропели)		

Рис. 2. Относительная встречаемость групп горизонтального контакта перехода залежного слоя торфяных месторождений из эвтрофной стадии развития в олиготрофную

В последующем в его 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 стадию развития** 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 стадии развития (нижняя часть контакта) и в олиготрофной стадии развития (верхняя часть контакта) торфяной залежи, устанавливается тип контакта.

Всего на основе компонентного состава торфяных отложений было выделено **9 типов горизонтального контакта**. Исследование типов позволило выявить закономерность в соответствии

1 группа
8%

Таблица 4

Осредненная характеристика свойств отложений в залежном слое торфяных месторождений в соответствии с группами горизонтального контакта

Контактная группа	Общетехнические свойства				Агрохимические свойства, %				
	R,%	W,%	A^C,%	pH_C	S	CaO	MgO	Al_2O_3	Fe_2O_3
Первая	42,0	86,9	3,6	3,3	0,2	0,96	0,15	0,22	0,19
Вторая	34,0	88,8	2,4	3,3	0,2	0,5	0,15	0,18	0,13
Третья	22,0	91,1	3,0	3,4	0,17	0,78	0,19	0,18	0,16

Контактная группа	Физико-химические свойства, мг-экв/100 г			
	Ca^{++}	H^+	Mg^{++}	Al^{+++}
Первая	33, 3	25,0	9,5	13,9
Вторая	21,5	17,0	7,7	11,1
Третья	23,8	6, 2	7,6	7,9

с которой типы были объединены в три группы: первая группа $R_Э$–R_O; $R_Э$–CM_O; $R_Э$–О (нижняя часть контакта сложена гумифицированным эвтрофным торфом); вторая группа $CM_Э$–R_O; $CM_Э$–CM_O; $CM_Э$–О (нижняя часть контакта сложена смешанным эвтрофным торфом); третья группа Э–R_O; Э–CM_O; Э– О

(нижняя часть контакта сложена эвтрофным торфом)]. На завершающем этапе развития залежного слоя торфяные отложения уже нацело состоят из олиготрофных растительных остатков О (О=100 % - второй этап олиготрофной стадии развития).

В процессе исследований была оценена относительная встречаемость групп горизонтального контакта перехода залежного слоя торфяных месторождений из эвтрофной стадии развития в олиготрофную (рис. 2).

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].

Проведенными исследованиями установлено, что совокупность условий развития торфяных месторождений по степени трофности среды торфонакопления (компонентный состав и природные свойства торфяных отложений, стадии и этапы развития залежного слоя) 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бахнов В.К.* Биогеохимические аспекты болотообразовательного процесса. Новосибирск: Наука, 1986. 193 с.

2. *Макаренко Г.Л.* Геология торфяных месторождений. Монография. Тверь: ТГТУ, 2001. 216 с. ISBN 5-7995-0164-0

3. *Макаренко Г.Л.* Оценка ресурсного потенциала природных объектов на примере Тверской области. Тверь: ТГТУ, 2004. 148с. ISBN 5-7995-0274-4.

4. *Макаренко Г.Л., Шадрина Н.И.* Основы биогеоценологии болот (геологический аспект): Учебное пособие. Тверь: ТГТУ, 1999.162 с. ISBN 5-7995-0115-2.

5. *Пичугин А.В.* Торфяные месторождения: Учебник. М.: Высшая школа, 1967. 275 с.

6. *Шаталов А.Я., Маршаков И.К.* Практикум по физической химии: Учебное пособие.М.: Высшая школа,1968.224с.

7. World Peat Resources: Reference book/ *V.D. Markov, A.S. Olenin, L.A. Ospennikova* & al., Moscow, ‹‹Nedra›› Publiching House, 1988/ 383 p. ISBN 5-247-00330-6

8. *Waugman G.I., Bellamy D.J.* The distribution of majar elements between some ecosystem components in different peat land Zones // V11 International Peat Congress. – Dublin, 1984. P.32…48. ГИАБ

Коротко об авторе

Макаренко Г.Л. – доцент, кандидат геолого-минералогических наук, кафедра геологии, переработки торфа и сапропеля, Тверской государственный технический университет.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 1 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. *А.М. Гальперин.*