

ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЕРХОВЫХ ТОРФОВ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Приводятся результаты изучения зольности, степени разложения, ботанического состава и физических свойств торфов верховых болот Томской области. Выявлены взаимосвязи между характеристиками их состава, состояния и свойств для прогнозирования поведения грунта под сооружениями.

Ключевые слова: болота; типы торфа; состав, свойства, изменчивость, корреляция характеристик; прогноз; Томская область.

В Томской области интенсивно осваиваются и обустроиваются нефтяные месторождения, которые находятся в основном на междуречных пространствах, где преобладают верховые или переходные болота. В связи с этим возрастает необходимость оценки физических свойств торфов с целью прогнозирования изменения их при строительстве и эксплуатации сооружений. В данной работе приведены результаты исследований состава и свойств торфяных грунтов Томской области. Всего было исследовано 13 видов торфа верхового типа, отобранных на болотных массивах Икушкино, Васюганское, Карасевое, Ольгино, Рыжиково, Светлое, Темное, Чагинское (рис. 1). Были определены: плотность (ρ), плотность твердой части торфа (ρ_s), плотность скелета (ρ_d), влажность (W), коэффициент пористости (e). Кроме физических характеристик были определены такие пока-

затели, как зольность (D_{as}), ботанический состав и степень разложения (D_{ap}), а также кислотность (pH) торфов.

Как известно, большое влияние на физические свойства торфов, особенно малой и средней степени разложения, оказывает их ботанический состав. Он является четким индикатором изменения условий торфонакопления и находится в тесной взаимосвязи с климатическими эпохами. Для каждого этапа аккумуляции характерны свои закономерности образования и развития болотных биогеоценозов, нашедшие свое отражение в стратиграфии залежей определенных болотных районов. Видовой состав определяет свойства торфов: структуру торфа, пористость, влагоемкость, скорость и однородность разложения, влияет на скорость и равномерность осадки, фильтрационные и прочностные свойства, агрессивность болотных вод.

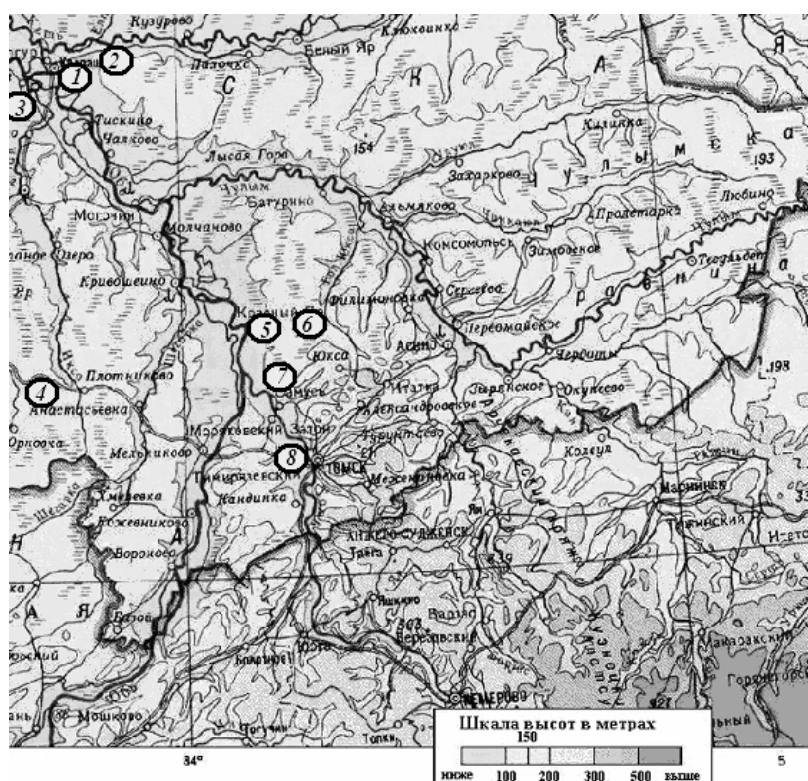


Рис. 1. Схема расположения точек опробования болотных массивов: *a* – номер участка, отбора образцов торфа: 1 – Икушкино, 2 – Светлое, 3 – Карасевое, 4 – Васюганское, 5 – Ольгино, 6 – Рыжиково, 7 – Темное, 8 – Чагинское; *b* – заболоченность поверхности; *v* – горизонтали поверхности

зависимости от типа питания образуются олиготрофные или евтрофные группировки растительности и накапливаются верховые или низинные типы торфа. Тип является высшей таксономической единицей стратиграфической классификации, отражающей исходные усло-

вия торфонакопления по степени минерализации вод [1] и входит в ботанические (генетические) классификации С.Н. Тюремнова, Ю.В. Ерковой, А.В. Пичугина, Н.А. Березиной, О.Л. Лисс и многих других. Для оценки свойств и состояния торфов в практике используются классифи-

кации, где основными категориями являются: типы – выделяются по минерализации питающих залежь вод, подтипы – по степени увлажнения, группы – по содержанию в торфе остатков отдельных групп растений-торфообразователей. Вид – низшая таксономическая единица классификации торфа, характеризующаяся постоянным сочетанием преобладающих остатков отдельных видов растений-торфообразователей, отражающих исходные растительные ассоциации.

Торф верховой, образовавшийся из растительности олиготрофного типа, в ботаническом составе которого не более 10% остатков растительности евтрофного типа. Торфа верхового типа образуются в условиях бедного минерального питания, чаще атмосферного с общей минерализацией вод до 20–30 мг/л, или за счет поверхностных вод с минерализацией до 40–60 мг/л [2]. В Западной Сибири преобладают топяные подтипы торфа, из видов – фускум, комплексный, магелланикум, ангустифолиум, сфагновый мочажинный, пушицево-сфагновый, шейхцерицево-сфагновый, часто встречается шейхцерицевый и пушицевый торф.

Ботанический состав определяет характерные структурные особенности торфяных грунтов. Как отмечает Л.С. Амарян, использование макроструктурных признаков торфа крайне важно при оценке несущей способности торфов в осушительных системах и котлованах, при оценке деформируемости и устойчивости оснований насыпей [3]. Структура торфа из-за разнообразия форм и размеров элементов – от крупных волокон растений, корней, остатков древесины до тонкодисперсных разложившихся частиц, весьма индивидуальна для каждого вида. Каждый вид обладает характерной структурой и при разной степени разложения имеет определенную структуру, как, например, пушицевый, шейхцерицевый, пушицево-сфагновый виды.

Структура оказывает влияние на физические и фильтрационные свойства, а также на механические. Она определяет, в свою очередь, анизотропные свойства торфа, изменяется под бытовым давлением в естественных условиях и под техногенным воздействием на осушенных массивах [4]. На основе описаний структур, составленных В.М. Пичугиным и С.Н. Тюремным [5–7], приведем краткую характеристику изученных нами видов торфа.

Сфагновые верховые торфа – преимущественно из магелланикум-, ангустифолиум-торфов, светло-коричневого, рыжевато-серого и желтовато-коричневого цвета, характеризуются солоmistой, солоmistоволокнистой структурой и визуальнo слабо отличаются друг от друга. Листочки мхов налегают друг на друга и поры клеток соприкасаются, так что в сфагновой веточке образуется капиллярная система, способствующая накоплению влаги. У фускум-торфа структура ближе к губчатой и характеризуется мелковолокнуistым сложением более коротких, переплетенных, жестких веточек мхов. Фускум является наиболее распространенным видом верхового торфа. Комплексный торф светло-коричневый представлен совокупностью сфагновых видов (смесью остатков растений гряд и мочажин). Структура изменяется от губчатой до солоmistой, и благодаря ей торф имеет очень высокие значения пористости и влажности.

Пушицевый малоразложившийся торф имеет грубоволокнистую структуру, сильноразложившийся также содержит большое количество расположенных горизонтально очень тонких прямых волокон, пронизывающих пластичную массу торфа, оставшихся после распада оснований листьев. Структуру шейхцерицевого торфа можно назвать волокнистой. В однородной массе торфа выделяются более крупные элементы – корневища и светлые нити – корешки шейхцериции, а также стебельки мочажинных сфагновых мхов. От пушицевого торфа он отличается более эластичным нежным волокном и примесью тонкопластичного слизистого детрита, сходного с сапропелем.

Кустарничковый торф образует маломощные прослойки, тем не менее, он широко распространен на территории Томской области. Торф чаще молодой, слабо-разложившийся, остатки сфагновых мхов пронизаны сильно ветвящимися корешками кустарничков, создающих подобие каркаса. Он имеет пористо-губчатую структуру, как и некоторые сфагновые мхи, но она более жесткая и неоднородная. Распространен на водораздельных пространствах и террасах. Кустарничковый вид с большей степенью разложения встречается значительно реже.

Для древесного торфа (соснового) характерна высокая степень разложения, темно-коричневый, почти черный цвет, структура комковато-зернистая или пластинчатая. Сильно разложившийся ($D_{dp}=35-50\%$) сосновый и отчасти сосново-сфагновый торф имеет тонкозернистую пластинчатую структуру, т.к. сами древесные остатки сохраняются лучше остатков других растений. Благодаря такой структуре торф имеет высокую плотность и прочность. Сосновый верховой торф характеризуется однородной тонкозернистой структурой и включает ребристые кусочки древесины. У смешанных среднеразложившихся видов торфа древеснотравяной и древесно-моховой групп заметнее неоднородность разложения разных растительных остатков. Сосново-сфагновый торф представляет собой смесь торфа отдельной губчатой структуры и комковатой. Древесный торф встречается сравнительно редко, образуя придонные слои или окаймляя залежь.

У сфагновых видов степень разложения небольшая, от 5 до 40%, чаще до 15%. У торфов фускум и комплексного D_{dp} до 10%. У сфагнового мочажинного, ангустифолиум, магелланикум и травяно-сфагнового торфов степень разложения – до 25%. Причиной является выделение сфагнами органических кислот и присутствие сфагнола (гликозида с фенольной основой), которые обуславливают их биохимическую устойчивость [6], оказывая бактерицидное действие и сохраняя также остатки других болотных растений. Минимальные средние значения степени разложения выявлены у сфагновых торфов, кустарничкового и древесно-сфагнового, максимальные значения и самый широкий разброс значений показателя – у пушицевого и пушицево-сфагнового торфа, высокие значения получены для древесных торфов.

Для выбора методик определения характеристик фильтрационных и некоторых физических и механических свойств торфов большое значение имеет продолжительность проведения опытов. На результаты иссле-

дований также оказывают влияние длительность и условия хранения образцов (температура и влажность). В связи с изменениями этих условий в образцах меняется количество и состав микроорганизмов. Учет процесса разложения необходим при выборе методик фильтрационных и компрессионных опытов, хранения и водонасыщения образцов. При проведении лабораторных исследований торфов имеет место быстрое разложение его органической части как при обводнении, так и при свободном доступе воздуха к образцу. В СибНИИТорфа г. Томска была определена степень разложения образцов, отобранных 26 сентября 1995 г. и хранившихся при комнатной температуре (16–28°C) до 28 сентября 1996 г. Результаты показали, что степень разложения древесно-осокового торфа увеличилась от 20–25 до 35%. Этот факт заставил нас провести анализ работ по изучению изменений, происходящих в торфе при различных условиях его хранения, для выбора методик проведения лабораторных фильтрационных и компрессионных исследований [8]. Интересные результаты получили Н.А. Кот и Т.А. Рахубо за год содержания торфа в водонасыщенном состоянии в помещении [9]. Выяснилось, что фускум-торф и комплексный верховой значительно богаче микроорганизмами, чем ангустифолиум и особенно магелланикум. В последнем аммонификаторов в 3–5 раз меньше, чем в ангустифолиум-торфе, и в 12–15 раз – чем в фускум и комплексном верховом. Бактерий масляно-кислого брожения, образующих газы в комплексном и фускум-торфе в сотни раз больше, чем в магелланикум и ангустифолиум-торфе. Однако в них обнаружено присутствие газообразующих микроорганизмов, развивающихся за счет разрушения белков и углеводов. Верховой затопленный торф значительно беднее микроорганизмами, чем затопленный низинный, но в верховом торфе в нарушенном и в обводненном состоянии быстро развиваются масляно-кислые бактерии, особенно в сфагновом торфе, а также микроорганизмы, вызывающие при его затоплении газообразование и всплывание. М.П. Петровым и П.А. Костычевым установлено, что оптимальная температура для активной жизнедеятельности большинства бактерий составляет 32–36°C и влажность

0,6–0,8 от полной влагоемкости, и даже при температуре от –2 до –5°C процесс разложения продолжается [10]. При фильтрации в лабораторных условиях с предварительным водонасыщением бактерии вызывают газообразование и как следствие коагуляцию пор и занижение коэффициентов фильтрации в начале опыта. Перед опытом необходимо убедиться, что степень разложения торфа не отличается от исходной, в обратном случае снять верхний разложившийся слой. В таких случаях, при исследовании фильтрационных свойств, необходимо убедиться, что расход фильтрата не увеличивается во времени, в противном случае коэффициент фильтрации нужно рассчитывать по максимальному расходу. Долговременные фильтрационные опыты проводить также нецелесообразно. Газообразование также препятствует водонасыщению, и влияет на показатели полной влагоемкости. Во избежание этого взвешивать образцы лучше после фильтрации, а водонасыщение проводить не более 1–2 суток.

В «Классификации торфов и торфяных залежей Западной Сибири» [11] отмечено, что в регионе наиболее часто встречается торф с зольностью 6–18%. В Томской области значительно преобладают малозольные разновидности (из 1447 торфяных месторождений только 3 с высокозольными торфами с $D_{as} > 35\%$ [12]). В верховом торфе наиболее часто встречаются разновидности с зольностью до 5%.

Зольность торфа определялась в соответствии с ГОСТ 11306-83. В целом зольность образцов находится в пределах от 0,8 до 16,1%, в среднем 5,6% (табл. 1). По ГОСТ 25100-95, если степень зольности менее 20%, то торф относится к нормальнозольным, более – к высокозольным. Исследованный торф в основном нормальнозольный (5–20%). Только несколько образцов отличаются повышенной зольностью. Минимальная зольность отмечена у сфагновых видов, максимальная – у древесных и древесно-сфагнового торфа, что обусловлено не только содержанием солей в самих растениях, а в первую очередь их положением в разрезе залежи. Торф этих групп чаще находится в нижних, придонных слоях, где переслаивается с минеральными грунтами и имеет более богатое питание по сравнению со сфагновыми торфами в верхних и средних слоях торфяных массивов.

Т а б л и ц а 1

Характеристики торфяных грунтов верховых болот Томской области

Вид торфа	Количество определений	Коэффициент пористости, e_0 , д. е. д.	Степень разложения, $D_{др}$, %	Зольность, D_{as} , %	pH	Плотность твердых частиц, ρ_s , г/см ³	Плотность скелета, ρ_d , г/см ³
1	2	3	4	5	6	7	8
Фускум	21	$\frac{17,25}{8,60-37,49}$	$\frac{9}{5-15}$	$\frac{4,2}{1,68-10,1}$	$\frac{2,9}{2,9-3,0}$	$\frac{1,53}{1,51-1,57}$	$\frac{0,093}{0,041-0,158}$
Ангустифолиум	6	$\frac{18,93}{15,48-22,50}$	$\frac{13}{10-15}$	$\frac{2,7}{2,45-3,0}$	$\frac{3,4}{2,9-4,0}$	$\frac{1,52}{-}$	$\frac{0,077}{0,065-0,092}$
Магелланикум	18	$\frac{19,03}{10,57-25,80}$	$\frac{16}{10-25}$	$\frac{3,1}{0,80-4,8}$	$\frac{3,0}{2,9-3,0}$	$\frac{1,52}{1,51-1,53}$	$\frac{0,081}{0,057-0,133}$
Комплексный	9	$\frac{19,42}{12,31-31,69}$	$\frac{7}{5-10}$	$\frac{3,7}{3,49-4,0}$	$\frac{3,1}{2,9-3,2}$	$\frac{1,52}{-}$	$\frac{0,083}{0,047-0,115}$
Сфагновый мочажинный	10	$\frac{12,81}{9,26-16,56}$	$\frac{13}{10-15}$	$\frac{3,3}{2,49-4,2}$	$\frac{3,7}{-}$	$\frac{1,53}{-}$	$\frac{0,116}{0,087-0,149}$
Пушицево-сфагновый	15	$\frac{14,83}{7,30-23,72}$	$\frac{28}{10-50}$	$\frac{2,7}{0,90-4,8}$	$\frac{2,9}{2,8-2,9}$	$\frac{1,52}{1,51-1,52}$	$\frac{0,111}{0,061-0,183}$
Травяно-сфагновый	5	$\frac{10,9}{9,29-13,97}$	$\frac{25}{-}$	$\frac{2,7}{2,71-2,7}$	$\frac{3,3}{3,3-3,3}$	$\frac{1,52}{-}$	$\frac{0,132}{0,109-0,148}$

1	2	3	4	5	6	7	8
Пушицевый	9	$\frac{10,66}{7,41-17,28}$	$\frac{38}{15-50}$	$\frac{3,4}{2,75-4,6}$	$\frac{3,0}{3,0-3,0}$	$\frac{1,53}{1,52-1,53}$	$\frac{0,137}{0,083-0,180}$
Шейхцериевый	13	$\frac{14,43}{9,77-20,66}$	$\frac{22}{20-25}$	$\frac{3,2}{2,64-4,3}$	$\frac{4,1}{4,0-4,2}$	$\frac{1,53}{-}$	$\frac{0,103}{0,071-0,142}$
Древесно-сфагновый	11	$\frac{17,37}{10,73-31,28}$	$\frac{15}{5-25}$	$\frac{7,6}{3,69-16,1}$	$\frac{2,9}{2,9-3,0}$	$\frac{1,55}{1,52-1,62}$	$\frac{0,091}{0,047-0,130}$
Сосново-сфагновый	5	$\frac{8,21}{6,59-9,81}$	$\frac{40}{-}$	$\frac{3,9}{3,88-3,9}$	$\frac{2,9}{-}$	$\frac{1,52}{-}$	$\frac{0,169}{0,141-0,201}$
Сосновый	3	$\frac{12,85}{6,79-17,23}$	$\frac{40}{-}$	$\frac{4,8}{4,76-4,8}$	$\frac{2,8}{2,8-2,8}$	$\frac{1,52}{-}$	$\frac{0,158}{0,084-0,195}$
Кустарничковый	4	$\frac{13,96}{12,72-15,79}$	$\frac{15}{-}$	$\frac{3,2}{3,18-3,2}$	$\frac{3,4}{3,4-3,4}$	$\frac{1,52}{-}$	$\frac{0,103}{0,091-0,111}$

Примечание. В числителе приведены средние значения характеристик, в знаменателе – минимальные и максимальные значения.

Плотность твердых частиц торфа (растительных остатков и минеральной составляющей) мало изменяется и равна в среднем $1,52-1,55 \text{ г/см}^3$. Плотность скелета изменяется от $0,041$ до $0,201 \text{ г/см}^3$, максимальные средние значения – у сосново-сфагнового торфа ($D_{dp}=40\%$), минимальные – у сфагновых торфов ($D_{dp}=10-20\%$).

Одной из наиболее важных характеристик грунтов, которая определяет механические свойства, является коэффициент пористости. Его значения изменяются от

$6,59$ до $37,5$ д. ед., среднее значение – $15,6$. Самые высокие средние значения коэффициентов пористости (более 17 д. ед., табл. 1), отмечены у сфагновых видов торфа, относящихся к моховой группе, минимальные значения у более разложившегося сосново-сфагнового торфа (рис. 2). Максимальные значения e_0 получены для фускум-торфа, комплексного и древесно-сфагнового торфов (табл. 1). Фускум-торф имеет также самый широкий разброс значений коэффициентов пористости.

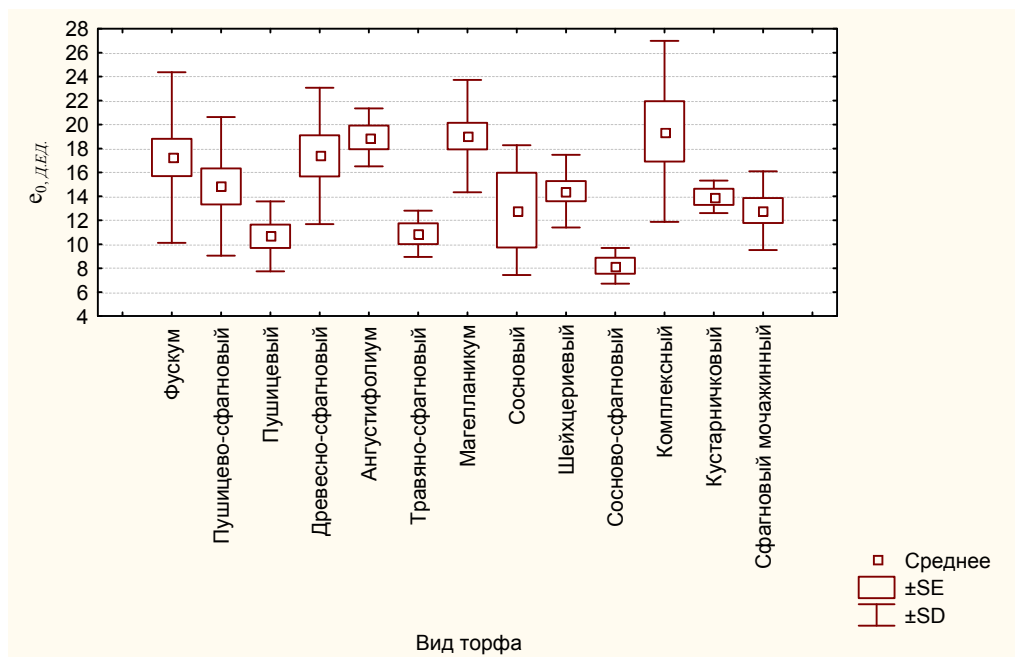


Рис. 2. Распределение коэффициентов пористости в разных видах торфа: SE – стандартная ошибка; SD – стандартное отклонение

Значения pH определены как низкие (pH от $2,8$ до $4,2$), и торф в среднем относится к средне- и сильноагрессивным грунтам по отношению к бетону [13].

Для выявления зависимости между показателями состава и физическими характеристиками, зольностью и степенью разложения был проведен корреляционный анализ (табл. 2). Результаты показали, что кислотность торфа, которая определяет агрессивность грунтов, увеличивается с содержанием травяных остатков и уменьшается с повышением древесных.

Степень разложения убывает с повышением содержания в торфе моховых остатков и с увеличением содержания древесных.

Плотность твердых частиц возрастает с повышением зольности и уменьшается с повышением степени разложения. Не выявлены связи между степенью разложения и зольностью.

Коэффициент пористости уменьшается с повышением содержания травяных остатков, степени разложения и увеличивается с повышением содержания моховых остатков, зольности и плотности твердых частиц. Выявленные зависимости позволили вывести следующие уравнения для расчетов коэффициентов пористости по показателям состава и степени разложения для верхового торфа:

$$e_0 = 20,91 - 4,64lg(h),$$

$$e_0 = 10,06 + 0,085lg(m),$$

$$e_0 = 27,8 - 10,3lg(D_{dp}),$$

где h – процентное содержание травяных остатков, m – процентное содержание моховых остатков в торфах.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции (r) между ботаническим составом, зольностью, степенью разложения, кислотностью и физическими свойствами верховых торфов

Параметры	Растительные остатки			Коэффициент пористости, e_0	Степень разложения, D_{dp}	Зольность, D_{as}	Кислотность, pH	Плотность твердых частиц, ρ_s	Плотность скелета, ρ_d
	травяные	древесные	моховые						
Растительные остатки	травяные	1,00							
	древесные	-0,14	1,00						
	моховые	-0,78	-0,51	1,00					
Коэффициент пористости, e_0	-0,41	-0,14	0,46	1,00					
Степень разложения, D_{dp}	0,68	0,23	-0,74	-0,58	1,00				
Зольность, D_{as}	-0,17	0,15	0,03	0,20	-0,11	1,00			
Кислотность, pH	0,36	-0,24	-0,17	-0,12	-0,14	-0,16	1,00		
Плотность твердых частиц, ρ_s	-0,12	0,06	0,05	0,24	-0,21	0,95	0,01	1,00	
Плотность скелета, ρ_d	0,43	0,21	-0,52	-0,84	0,67	-0,07	0,00	-0,15	1,00

Примечание. Значимые коэффициенты корреляции выделены жирным шрифтом.

Таким образом, результаты исследований физических свойств верховых торфов Томской области, которые определяют деформационные и прочностные характеристики, показали, что они являются весьма неоднородными и зависят от степени разложения, зольности, ботанического состава. Верховые торфа отличаются малой зольностью, небольшой плотностью скелета, высокими коэффициентами пористости, особенно когда в их составе преобладают сфагновые мхи. При доминировании травяных остатков и при повышении степени разложения (она выше в

травяных и древесных торфах) коэффициенты пористости уменьшаются. Соответственно в этом случае торфа упрочняются и являются более благоприятными основаниями для сооружений при прочих равных условиях. Полученные результаты исследования и регрессионные зависимости рекомендуется использовать для предварительной оценки прочностных и деформационных свойств верховых типов торфа, а также они станут основой для дальнейшего изучения взаимосвязей между показателями механических свойств.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 21123–85. Торф. Термины и определения М.: Изд-во стандартов, 1985. 47 с.
- Удодов П.А., Рассказов Н.М., Емельянова Т.Я., Солодовникова Р.С. Обобщение материалов по гидрогеологии и гидрологии торфяных месторождений в районе г. Сургут. Фонды ТПУ. Томск, 1966. 248 с.
- Амарян Л.С., Базин Е.Т., Чураев Н.В. Изучение процессов переноса влаги в деформируемых пористых телах // Инж.-физ. журнал. 1965. Т. 8, № 5. С. 639–644.
- Емельянова Т.Я., Крамаренко В.В. Фильтрационные свойства торфяных грунтов Томской области // Обской вестник. 2001. № 1. С. 36–40.
- Пичугин А.В., Платон В.М. Торфяные месторождения и их разведка. М.: Гос. энерг. изд-во, 1951. 496 с.
- Тюрин С.Н. Торфяные месторождения. М.: Недра, 1976. 487 с.
- Справочник по торфу / Под ред. В.А. Миненковой. М.: Сельхозгиз, 1960. 320 с.
- Емельянова Т.Я., Крамаренко В.В. Обоснование методики изучения деформационных свойств торфа с учетом изменения степени его разложения // Известия ТПУ. 2004. № 5. С. 28–32.
- Кот Н.А., Рахубо Т.А. Микрофлора затопленного верхового торфа // Торфяная промышленность. 1981. № 6. С. 24–25.
- Коновалов П.А. Устройство фундаментов на заторфованных грунтах. М.: Стройиздат, 1980. 160 с.
- Классификация торфов и торфяных залежей Западной Сибири / Р.Г. Матухин, В.Г. Матухина, И.П. Васильев и др.; Под ред. Н.Н. Уланова. Новосибирск: СО РАН, НИЦ ОИГИМ, 2000. 90 с.
- Торфяные месторождения Томской области: Справочник / Отв. ред. В.Д. Марков. М.: Геолторфразведка, 1971. 306 с.
- СНиП 2.03.11-85. Защита строительных конструкций от коррозии. 1985. 57 с.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 6 февраля 2009 г.