



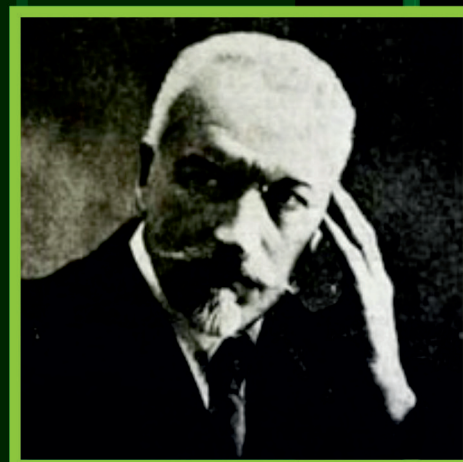
Научный журнал

Восточно-Европейского института торфяного дела
Тверского государственного технического университета



№7 (60) 2013

ТРУДЫ ИНСТОРОФА



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

№ 7 (60)

Январь–июнь 2013 г.

Тверь 2013

УДК 622.331(05)
ББК 26.343.4я5

Труды Инсторфа: научный журнал. № 7 (60)
(январь–июнь 2013 г.). Тверь: ТвГТУ, 2013. 60 с.

Учредитель и издатель: Тверской государствен-
ный 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. Сири-
н; 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 27.12.12

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, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Филоненко И.В., Филиппов Д.А.

Оценка площади болот Вологодской области..... 3

Панов В.В.

Временной фактор в моделях прочности
торфяных отложений 12

Иванов Г.Н.

Изучение акустических свойств
сапропеля и торфа..... 18

Гамаюнов Н.И., Гамаюнов С.Н.

Новая трактовка поверхностных явлений 43

Зюзин Б.Ф., Фомин Д.С.

О влиянии физико-механических
свойств исходного торфа на процесс
механического диспергирования 49

Яблонев А.Л.

Адаптирование гусеничных торфяных
транспортных машин к работе
на пневмоколесном ходу..... 53

Копенкина Л.В.

Изобретатель торфяной техники
(к 140-летию со дня рождения
И.А. Рогова (1873–1943))..... 57

УДК 556.56 (470.12)

Филоненко И.В.

Филоненко Игорь Владимирович, к. б. н., старший научный сотрудник Вологодской лаборатории ФГБНУ «Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства» (ГосНИОРХ). 160012, Вологда, ул. Левичева, 5, igorfilonenko@gmail.com

Филиппов Д.А.

Филиппов Дмитрий Андреевич, к. б. н., старший научный сотрудник лаб. высшей водной растительности ФГБУН Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН (ИБВВ РАН). 152742, Ярославская обл., Некоузский район, пос. Борок, philippov_d@mail.ru

ОЦЕНКА ПЛОЩАДИ БОЛОТ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. Болота на территории Вологодской области занимают площадь 24 812,485 км², составляя 17,03% ее площади. Приводится распределение болот в пределах Вологодской области согласно современному административному делению, ландшафтному и болотному районированию.

Ключевые слова: болота, районирование болот, площадь болот, дешифрирование

Filonenko I.V.

Filonenko Igor V., PhD, senior researcher of Vologda Laboratory of State Research Institute on Lake and River Fisheries. 160012, Vologda, Levicheva, 5, igorfilonenko@gmail.com

Philippov D.A.

Philippov Dmitriy A., PhD, senior researcher of Laboratory of Higher Aquatic Vegetation of I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences, 152742, Yaroslavl Region, Nekouz District, Borok, philippov_d@mail.ru

ESTIMATION OF THE AREA OF MIRES IN THE VOLOGDA REGION

Abstract. Mires of the Vologda Region have a territory of 24 812.485 square kilometers and constitute 17,03% of the area. In the article distribution of mires in the Vologda Region under current administrative division, landscape and peatland regionalization is given.

Keywords: mire, distribution of mires, area of mires, decoding

Введение

Актуальные и достоверные сведения о площадях болот и их распределении по территории страны в целом и регионов в частности необходимы для решения ряда научных и практических задач, включая вопросы рационального использования и охраны болот, болотного районирования. Опубликованные материалы по данной теме часто противоречивы [1–9 и др.] по причине несопадающих по объемам понятий «болото» и «торфяное месторождение», неполной фактографии, а также различий в методических подходах [10].

Целью настоящей работы является оценка площади торфяных болот в границах Вологодской области согласно административному делению, а также ландшафтному и болотному районированию.

Методика исследований

Основой настоящей работы послужили результаты дешифрирования космических снимков, сделанных камерой ETM+ спутника Landsat 7 Геологической службы США (USGS) в 2000–2003 гг. Анализировали данные мультиспектральной (6 диапазонов) съемки 30-метрового разрешения. Полученные материалы сопоставлялись с растровыми топографическими картами масштаба 1:100 000, картами лесоустройства и данными «Торфяного фонда...» [11; 12], а также с результатами натурных исследований. Для работы с пространственными данными использован программный пакет ArcGIS 10. Тематическая обработка снимков Landsat проводилась с помощью Windows-приложения ScanEx Image Processor методом ISODATA.

Непосредственно процесс дешифрирования болот Вологодской области осуществляли в следующей последовательности.

I. Обрисовка контуров болот производилась на основании использования снимков и достижения контрастного изображения интересующих нас объектов, путем комбинации каналов (в нашем случае в основном 1,55–1,75; 0,77–0,90; 0,63–0,69 мкм). Цветовая классификация снимков Landsat позволяла снизить субъективность в определении контуров объектов. Исследованиями сотрудников Калининского политехнического института был установлен основной диапазон выявления торфяных месторождений 0,7–0,8 км [13].

II. Идентификация объектов с различной отражающей характеристикой проводилась на основе полученных ранее тематических карт, их

сопоставлением с топографическими картами, картами лесоустройства, данными «Торфяного фонда...» [11; 12] и векторизацией контуров болот с присвоением им соответствующих атрибутов. Начальное определение объектов исследования на снимках было связано с их условным разделением на следующие группы (подробнее в работе [14]): 1) моховые болота (на снимках идентифицируются синим цветом), 2) травяные болота (малиново-сиреневым), 3) травяно-гипновые (малиново-сиреневым; объекты сильно вытянутые и имеют исчерченные контуры), 4) облесенные болота (фиолетовым с различными оттенками красного, синего или коричневого – в зависимости от соотношения пород деревьев), 5) окрайки болот (сходны с предыдущим цветом, но располагаются на периферии массива), 6) подтопленные участки (розовым), 7) приречные (старичные) болота (алым), 8) чисты (белым), 9) мелиорированные участки (дренажные каналы регулярной структуры). Принятые атрибутивные данные позволили оптимизировать процесс дешифрирования.

III. Корректировка атрибутивной информации. Верификация полученных результатов проводится в полевых условиях на ключевых или тестовых участках (с установленным набором спектральных характеристик) с использованием тематических карт, загруженных в мобильные ГИС, и намеченных маршрутов.

Последние два этапа (идентификация объектов и корректировка атрибутивной информации) рекомендуется повторять несколько раз, до результата, приемлемого специалистам разных профилей.

При подсчетах в отличие от прежнего опыта учитывались площади всех дешифрированных объектов, включая болота с площадью менее 100 га [6] или 10 га [7].

Результаты и их обсуждение

Вологодская обл. расположена на севере Европейской территории России, почти в центре Нечерноземной зоны, между 58° и 62° северной широты и 35° и 47° восточной долготы. Протяженность области с запада на восток 650 км, что в два раза больше, чем с севера на юг (250–380 км). Общая площадь региона составляет 145,7 тыс. км². Вологодская обл. в нынешних ее границах была образована в сентябре 1937 г. и а настоящее время разделена на 26 муниципальных районов [15].

Оценка общей площади болот. В литературе общая площадь торфяных болот или месторождений от всей площади Вологодской области

составляет от 8,5 до 14%: 8,5% [11], ~10% [16], 10–12% [17], 8,8% [12], 14% [6; 7], 13,85% [18], 12,87% [14], 12,6% [19]. После повторного пересчета существующих значений мы получили несколько иные показатели: 11,63% [11], 12,11% [12], 13,95% [6; 7], 14,0% [18], 12,56% [19]. Стоит отметить, что доля площади «оторфованных земель» в «Торфяном фонде ...» [11; 12] рассчитывались на основании площадей «торфяных месторождений» в границах «промышленной», а не «нулевой» залежи.

По нашим данным (табл. 1), торфяные болота и заболоченные земли (слой торфа менее 0,3 м) на территории Вологодской области занимают площадь 24 812,485 км², составляя 17,03% ее площади.

Распределение болот по муниципальным районам. Болота в Вологодской области, согласно административному делению (по состоянию на 1 декабря 2013 г.), распределены по территории крайне неравномерно (рис. 1, табл. 1). В отдельно взятых муниципальных районах болота занимают площадь от 17 998 га до 366 916 га или от 2,33% до 39,83% их территории. Наибольшие площади болот сосредоточены в Бабаевском (366,92 тыс. га.), Вытегорском (248,17 тыс. га), Кирилловском (180,89 тыс. га), а также Череповецком (157 727,8 га), Белозерском (136 404,3 га), Кадуйском (131 889,6 га), Устюженском (128 923,6 га), Междуреченском (110 313,6 га), Тотемском (104 779,7 га) и Вожегодском (103 132,9 га). От 50 до 100 тыс. га болот

Таблица 1. Распределение болот по муниципальным районам Вологодской области

Table 1. Distribution of mires municipal districts of the Vologda region

№	Муниципальный район	Площадь и доля болот					
		1955 ¹		1970 ²		2013 ³	
		S, га	%	S, га	%	S, га	%
1	Бабаевский	328 119,3	35,13	378 447,4	40,52	366 919,7	39,28
2	Бабушкинский	25 495,9	34,29	25 902,0	3,48	73 637,3	9,90
3	Белозерский	73 448,6	11,99	53 729,0	8,77	136 404,3	22,27
4	Вашкинский	14 716,4	3,94	14 710,4	3,93	65 322,8	17,47
5	Великоустюгский	16 547,6	2,12	16 907,2	2,16	57 544,6	7,35
6	Верховажский	1015,2	0,24	1658,2	0,38	42 337,6	9,83
7	Вожегодский	60 488,0	10,48	62 743,5	10,88	103 132,9	17,88
8	Вологодский	33 025,6	6,90	34 865,3	7,29	41 766,3	8,73
9	Вытегорский	127 761,1	8,97	123 196,2	8,65	248 169,5	17,42
10	Грязовецкий	22 375,9	4,46	22 470,9	4,48	20 904,8	4,17
11	Кадуйский	59 418,1	17,94	66 526,7	20,09	131 889,6	39,83
12	Кирилловский	139 206,6	24,38	138 143,1	24,25	180 888,6	31,76
13	Кич.-Городецкий	6 358,8	0,88	7555,4	1,05	44 278,1	6,14
14	Междуреченский	67 314,3	18,83	75 186,3	21,03	110 313,6	30,85
15	Никольский	1203,0	0,16	1355,7	0,18	17 998,0	2,33
16	Нюксенский	40 863,1	7,93	41 285,1	8,01	85 562,8	16,61
17	Сокольский	57 435,4	13,32	57 888,3	13,42	68 213,8	15,82
18	Сямженский	16 276,0	3,74	16 642,4	3,82	75 457,9	17,32
19	Тарногский	9194,2	1,82	9320,4	1,85	27 054,8	5,37
20	Тотемский	39 664,8	4,93	50 064,6	6,22	104 779,7	13,03
21	Усть-Кубинский	31 182,6	11,33	30 998,2	11,27	52 273,9	19,00
22	Устюженский	176 573,8	48,28	191 202,9	52,28	128 923,6	35,25
23	Харовский	33 072,7	9,56	33 114,4	9,58	51 690,0	14,95
24	Чагодощенский	102 631,0	42,74	89 531,9	37,29	65 491,3	27,27
25	Череповецкий	189 826,3	25,06	200 558,9	26,47	157 727,8	20,82
26	Шекснинский	20 694,6	7,93	20 605,7	7,90	22 565,1	8,65
	Всего:	1 693 908,9	11,63	1 764 610,1	12,11	2 481 248,5	17,03

Примечание: № 1–26 – номера районов на карте (рис. 1); 1955¹ – по [10], 1970² – по [11], 2013³ – оригинальные данные; S, га – площадь болот в районе, % – доля болот от территории района

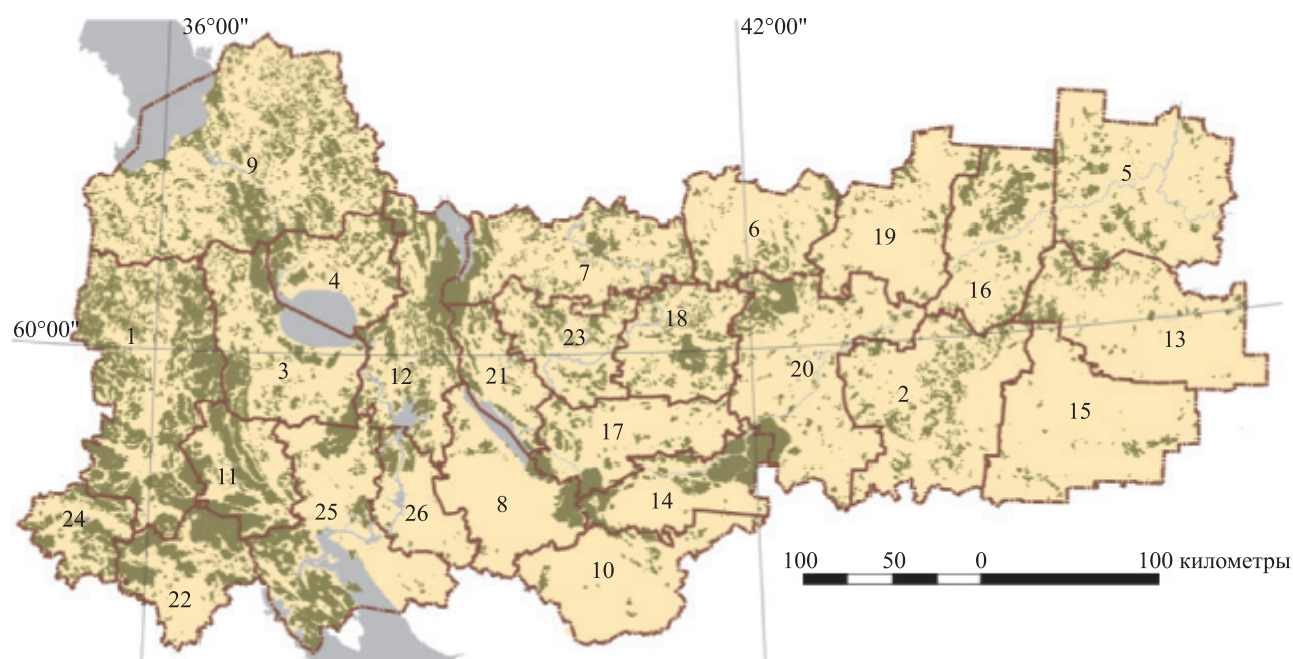


Рис. 1. Болота в структуре административного районирования Вологодской обл.

Fig. 1. Mires in the structure of administrative zoning Vologda region.

имеется в 9 районах, а менее 50 тыс. га – в 7. Наименьшие площади болот сосредоточены в трех муниципальных районах (Шекснинский, Грязовецкий, Никольский), расположенных в подзоне южной тайги с высоким уровнем хозяйственной освоенности.

Наибольшие относительные значения заболоченности муниципальных районов зафиксированы для Кадуйского (39,83%), Бабаевского (39,28%), Устюженского (35,25%), Кирилловского (31,76%) и Междуреченского (30,85%). Меньше 30% – Чагодощенский (27,27%), Белозерский (22,27%), Череповецкий (20,82%), Усть-Кубинский (19,00%), Вожегодский (17,88%), Вашкинский (17,47%), Вытегорский (17,42%), Сямженский (17,32%). Близкие значения у Нюксенского (16,61%), Сокольского (15,82%) Харовского (14,95%) и Тотемского (13,03%). Остальные 9 районов, расположенных в центральной и восточной части области, имеют общую площадь болот менее 10%. Восемь районов имеют долю меньшую 20%, но большую, чем среднестатистическую по области.

В целом приведенные нами данные отличаются более высокими значениями по сравнению с материалами «Торфяного фонда...» [11; 12]. Это не противоречит приводимым в этих справочниках уточнениям относительно общей заболоченности территории (до 23%), о наличии неразведанных объектов (из 4534 торфяных месторождений в [12] включена информация лишь о 2228) и неучтенных площадей (не менее 300 тыс. га).

В 1983–1984 гг. по заданию ПГО «Торфгеология» выполнялись работы по выявлению торфяных месторождений Вологодской области на космических фотоснимках [20]. Было установлено, что на существующих картах и в списках торфяных месторождений Вологодской области не учтены десятки месторождений всех типов, включая крупные площадью от 1 до 7 тыс. га.

В связи с особенностями составления справочников [11; 12] площади некоторых крупных болот, находящихся на границах муниципальных районов, отнесены лишь к одному из них. Например, болото Гришутинское-Столупинское отнесено лишь к Череповецкому району (тогда как его часть расположена еще в Белозерском и Кирилловском) или болото Уломское-2 – лишь к Устюженскому (северная часть болота расположена в Бабаевском и Кадуйском).

Некоторые несоответствия площадей могут быть связаны также с хозяйственной деятельностью и уничтожением торфяных болот. Прежде всего это осушение болот с последующей торфодобычей. Так, на территории Вологодской обл. добыча торфа проводилась более чем на 400 торфяных месторождениях, а торфяные ресурсы свыше 60 болот площадью более 10 га полностью выработаны [12; 21]. Существенные площади болот были потеряны и при создании водохранилищ: водами Рыбинского водохранилища затоплено более 50 крупных болот общей площадью не менее 15 тыс. га, Шекснинского – не менее 15 болот общей площадью более 2 тыс. га [12; 21].

Распределение болот по ландшафтным районам. Следует понимать, что распределение болот в регионе согласно административному устройству имеет значение лишь при принятии и урегулировании нормативно-правовых решений в сфере рационального природопользования и охраны природы. Однако, с точки зрения выявления пространственных закономерностей, наиболее подходящим является анализ распространения болот согласно ландшафтному и болотному районированию. Именно эти районирования позволяют отследить связь распространения болот Вологодской области с различиями в рельефе,

литологическом составе четвертичных отложений, гидрологическими условиями территории.

В соответствии с ландшафтным районированием [22; 23] на территории Вологодской обл. выделено 33 ландшафтных района, расположенных в пределах 2 подзон и 3 ландшафтных областей (Северо-Западной, Сухонско-Двинской, Верхне-волжья и Северных Увалов). Каждый район характеризуется преобладанием одного из шести генетических типов ландшафтов и отличается своеобразием сочетания генетических комплексов урочищ. Оценка площадей болот по ландшафтными районам приведена на рис. 2 и в табл. 2.

Таблица 2. Распределение болот по ландшафтными районам Вологодской области

Table 2. Distribution of wetlands in the landscaped areas of the Vologda region

№	Ландшафтный район	Генетические типы ландшафтов	Площадь и доля болот	
			2013 ¹	
			S, га	%
1	Прионежский	озерно-ледниковый	45 252,5	12,28
2	Мегорско-Андомский	моренно-озерно-холмистый	171 295,5	18,07
3	Кемский	моренно-равнинный	115 597,5	26,11
4	Ковжинско-Белозерский	озерно-ледниковый	126 709,0	29,62
5	Кирилловский	моренно-озерно-холмистый	26 437,7	15,19
6	Вожеозерский	озерно-ледниковый	120 543,7	49,49
7	Коношский	моренно-холмистый	10 543,1	8,33
8	Верхне-Судский	моренно-равнинный	150 372,7	36,62
9	Молого-Судский	озерно-ледниковый	578 310,7	41,97
10	Андогский	моренно-холмистый	40 563,6	13,37
11	Белозерский	моренно-озерно-холмистый	63 510,4	14,66
12	Пришекснинский	озерно-ледниковый	86 255,7	18,15
13	Кубеноозерский	озерно-ледниковый	63 186,8	17,40
14	Верхне-Моложский	моренно-холмистый	6497,5	6,69
15	Уфтюгский	моренно-равнинный	74 599,4	16,76
16	Харовский	моренно-равнинный	48 935,3	8,82
17	Верхне-Кубенский	моренно-равнинный	68 855,6	16,82
18	Кулойский	моренно-равнинный	93 335,1	16,48
19	Нижне-Сухонский	озерно-ледниковый	135 863,9	10,96
20	Нижне-Югский	водно-ледниковый	6600,7	3,28
21	Верхне-Важский	моренно-холмистый	17 266,1	10,59
22	Нижне-Важский	водно-ледниковый	15 845,4	7,28
23	Верхне-Ергинский	моренно-равнинный	6888,9	4,89
24	Грязовецкий	моренно-эрозионный	17 643,9	2,44
25	Верхне-Сухонский	озерно-ледниковый	181 395,5	25,00
26	Средне-Сухонский	моренно-равнинный	44 213,9	16,26
27	Кичменгский	моренно-эрозионный	67 249,3	8,87
28	Верхне-Лежский	моренно-холмистый	1253,3	1,25
29	Авнигский	моренно-холмистый	9419,1	7,12
30	Галичский	моренно-холмистый	22 431,3	5,86
31	Верхне-Унженский	моренно-эрозионный	42 377,4	9,57
32	Верхне-Югский	моренно-эрозионный	18 480,6	2,38
33	Пычуг-Ветлужский	водно-ледниковый	3517,6	3,45

Примечание: № 1–33 – номера районов на карте (рис. 2); 2013¹ – оригинальные данные; S, га – площадь болот в районе, % – доля болот от территории района

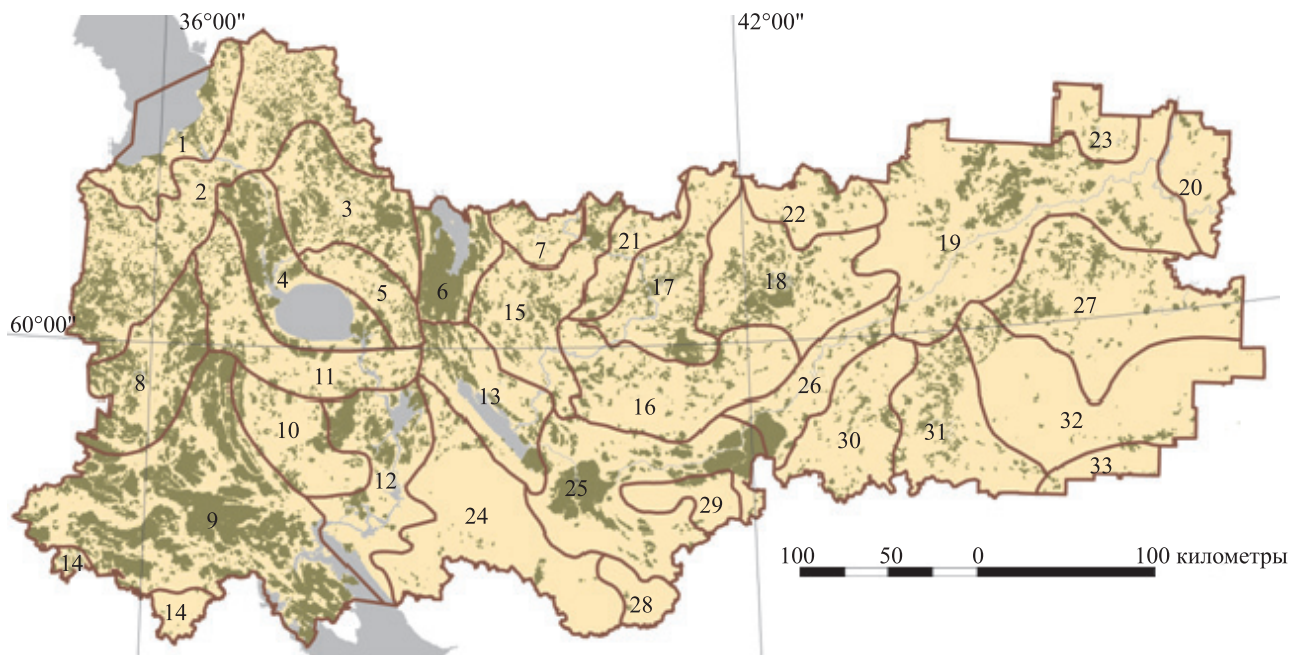


Рис. 2. Болота в структуре ландшафтного районирования Вологодской обл.

Fig. 2. Mires in the structure of the landscape zoning Vologda region.

По абсолютным и относительным показателям занимаемых болотами площадей выделяется Молого-Судский озерно-ледниковый ландшафтный район (578,3 тыс. га или 41,97% площади района). На его территории располагается одно из самых крупных болот в Европейской части России – Уломское, общей площадью 179 264 га. В «Торфяном фонде...» [13] оно (на основании формальных критериев нахождения объекта на территории нескольких административных районов) условно было разделено между двумя районами – Череповецким (Уломское 1, 55 481 га) и Устюженским (Уломское 2, 123 783 га).

Более 100 тыс. га болот имеется также еще в 7 ландшафтных районах: 2 моренно-равнинных (Кемский, 115,6 тыс. га, Верхне-Судский, 150,4 тыс. га), 1 моренно-озерно-холмистый (Мегорско-Андомский, 171,3 тыс. га) и 4 озерно-ледниковых (Вожеозерский, 120,5 тыс. га, Ковжинско-Белозерский, 126,7 тыс. га, Нижне-Сухонский, 135,9 тыс. га, Верхне-Сухонский, 181,4 тыс. га). От 50 до 100 тыс. га болот имеется в 7 районах (Кубеноозерском, Белозерском, Кичменгском, Верхне-Кубенском, Уфтюгском, Пришекснинском, Кулойском), от 10 до 50 тыс. га болот – в 12, менее 10 тыс. га – в 6. Низкая степень заболоченности последних 6 районов связана не столько с ландшафтными особенностями, сколько с краевым положением на территории области (значительная часть территории ландшафтного района располагается в сопредельных регионах).

Анализ распределения ландшафтных районов по относительным показателям (доля болот в районе) показал, что лишь 9 районов имеют заболоченность выше средних показателей по Вологодской обл. в целом (более 17,03%). Наибольшая доля болот характерна для Вожеозерского ландшафтного района (49,49%), Молого-Судского (41,97%) и Верхне-Судского (36,62%). Значительные площади занимают болота в Ковжинско-Белозерском (29,62%), Кемском (26,11%), Верхне-Сухонском (25,00%), Пришекснинском (18,15%), Мегорско-Андомском (18,07%) и Кубеноозерском (17,40%). В основном это районы центральной и западной части области. Еще 10 районов имеют долю болот в районе от 10 до 17%, 8 – от 5 до 10%, 6 – менее 5%. Самые низкие абсолютные (1253,3 га) и относительные (1,25%) показатели характерны для Верхне-Лежского ландшафтного района. Это связано с высокой степенью хозяйственной освоенности его территории, а также краевым и южным положением района.

В целом, самой сильно заболоченной ландшафтной областью является Северо-Западная (1 605 076,3 га, 25,92%). Причем наибольшие площади болот сосредоточены не в среднетаежной подзоне (616 379 га, 22,57%), а в южнотаежной (988 697,4 га, 28,57%). Почти в два раза по абсолютным показателям Северо-Западной ландшафтной области уступает Двинско-Сухонская (789 365,3 га, 11,88%). В пределах последней большее количество болот сосредоточено уже в среднетаежной

подзоне (468 190,4 га, 11,89%), а не в южнотаежной (321 175 га, 11,82%). Самые низкие значения заболоченности наблюдаются в ландшафтной области Верхневолжье и Северные Увалы (86 806,9 га, 5,09%). Несколько большие площади болот в Вологодской области сосредоточены в южнотаежной подзоне (1 393 161,6 га, 17,92%), нежели в средне-таежной (1 084 569,3 га, 16,26%).

В ландшафтном районировании [22; 23] существуют неточности при выделении границ. На карте (рис. 2) видно, что часть границ районов проходит непосредственно через крупные болотные массивы (например, в Верхне-Судском, Молого-Судском, Андогском, Пришекснинском, Кубеноозерском, Верхне-Сухонском, Авнигском). Устранение этих неточностей несколько изменит приведенные относительные и абсолютные значения в отдельно взятых ландшафтных районах, однако общие закономерности пространственного размещения болот в регионе сохранятся.

Районирование болот. Единственное региональное районирование болот было предложено в 1965 г. *Т.Г. Абрамовой* [17]. В его основу были положены степень заболоченности территории и преобладание определенного типа болот в ее пределах. Было выделено 24 болотных района, объединенных по общности типов рельефа, геологического строения и водно-минерального питания болот в 5 типов болотных районов. Данное болотное районирование лишь частично соответствует границам болотных районирований более крупных территорий [24; 25]. Стоит заметить, что в северной части Вологодской обл. границы болотного районирования не стыкуются с границами болотного районирования Архангельской обл. (выделенные самой же *Т.Г. Абрамовой* совместно с *В.Н. Кирюшкиным*) [26].

При анализе полученных результатов (табл. 3, рис. 3) необходимо учитывать, что в работе *Т.Г. Абрамовой* [17] отсутствует обоснование границ районов, чрезмерная краткость характе-

Таблица 3. Площадь и доля болот по болотным районам Вологодской области

Table 3. Area and percentage of wetlands mire areas of the Vologda region

№	Болотный район	Площадь и доля болот		
		1965 ¹	2013 ²	
		%	S, га	%
1	Южно-Прионежский	18,5	35 809	12,83
2	Ковжинско-Белозерский	28	129 474	26,37
3	Вожеозерский	30	100 671	48,60
4	Кубеноозерско-Верхнесухонский	30	248 766	24,96
5	Молого-Судско-Андогский	39	571 904	43,53
6	Среднешекснинский	23	86 958	22,49
7	Лежско-Тутсовский	<5	13 009	6,49
8	Кокшеньгско-Тотемско-Толшмский	1,5–2	67 064	8,12
9	Уфтюго-Сухоно-Югский	>15	125 420	15,17
10	Югско-Малосеверодвинский	1,0–1,5	16 845	3,10
11	Кемско-Иткольский	8,2	203 795	26,71
12	Андозерско-Шогдинский	33	225 011	32,76
13	Уфтюго-Кубенский	15	67 169	14,96
14	Вожего-Важско-Царевский	2–5	134 672	10,92
15	Шиченгско-Кулойский	10–12	76 701	19,11
16	Илезско-Ергинский	5	5147	3,15
17	Унженско-Югско-Ентальский	<1	18 168	1,71
18	Шимозерско-Андомский	7	93 553	12,43
19	Андозерско-Кириллово-Череповецкий	4,3	68 372	12,37
20	Южно-Устюженский	2,3	24 314	13,44
21	Вожего-Верхнекубенский	1	10 943	15,99
22	Куножско-Кичменьгский	8,2	123 427	11,53
23	Мяксинско-Кубеноозерско-Грязовецкий	2	31 685	3,20
24	Верхнемонзенско-Шуйский	1	2373	2,33

Примечание: № 1–24 – номера районов на карте (рис. 3); 1965¹ – по [15], 2013³ – оригинальные данные; S, га – площадь болот в районе, % – доля болот от территории района.

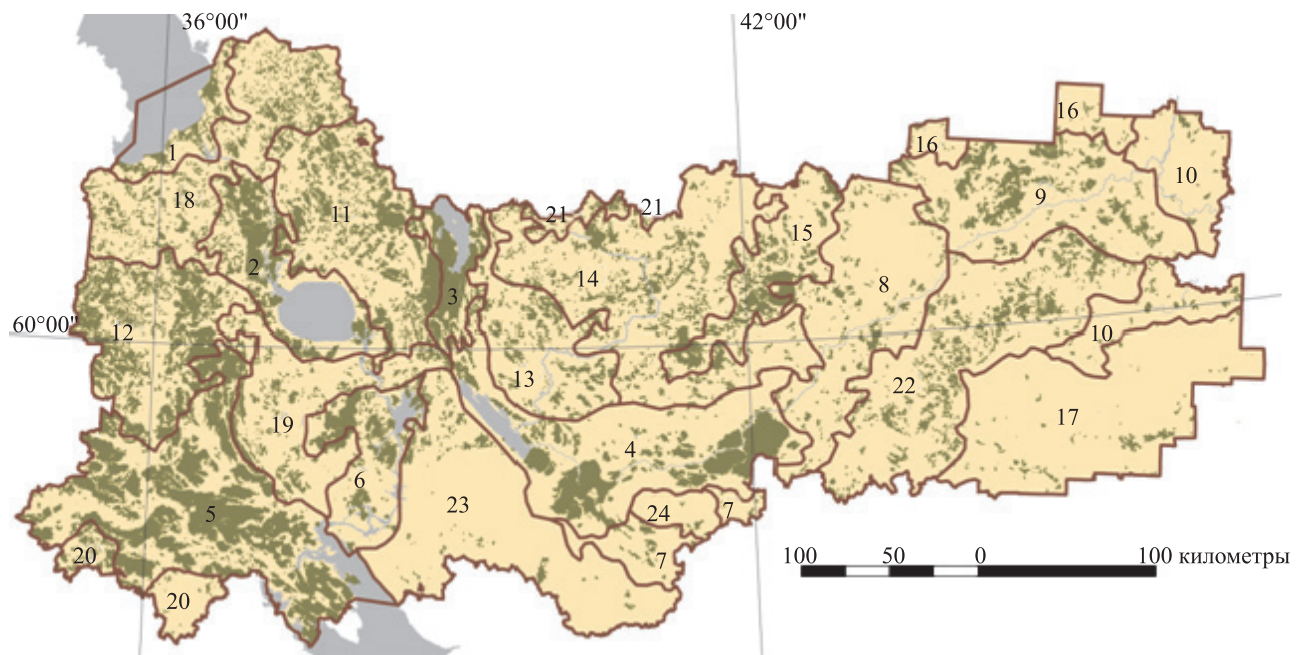


Рис. 3. Болота в структуре болотного районирования Вологодской обл.

Fig. 3. Mires in the structure of mire zoning Vologda region.

ристики болотных районов, их мелкомасштабная картосхема не дают полного представления о распределении болот. Это затрудняет сравнение полученных данных с существующими, а значительные расхождения можно в равной степени относить к недостаткам самого болотного районирования и к способу его представления.

Площадь болот в болотных районах колеблется от 2373 до 571,9 тыс. га, а в относительных показателях – от 1,71% до 48,60%. Более 100 тыс. га болот имеется в 9 болотных районах (Вожеозерский, 100 671 га, Куножско-Кичменьгский, 123 427 га, Уфтюго-Сухоно-Югский, 125 420 га, Ковжинско-Белозерский, 129 474 га, Вожего-Важско-Царевский, 134 672 га, Кемско-Иткольский, 203 795 га, Андозерско-Шогдинский, 225 011 га, Кубеноозерско-Верх-несухонский, 248 766 га и Молого-Судско-Андогский, 571 904 га).

В 10 болотных районах площадь болот не превышает 50 тыс. га, причем лишь для Мяксинско-Кубеноозерско-Грязовецкого, Унженско-Югско-Ентальского и отчасти для Южно-Прионежского и Югско-Малосеверодвинского это объясняется естественными особенностями ландшафта и характером природопользования, а не краевым положением на территории области.

Самой высокой долей болот в болотных районах характеризуются Андозерско-Шогдинский болотный район (32,76%), Молого-Судско-Андогский (43,53%) и Вожеозерский (48,60%). Причем последний по абсолютным значениям

находится лишь на 9-м месте. Велика доля болот в Кемско-Иткольском (26,71%), Ковжинско-Белозерском (26,37%), Кубеноозерско-Верхнесухонском (24,96%), Среднешекснинском (22,49%), а также в Шиченгско-Кулойском (19,11%), Вожего-Верхнекубенском (15,99%) и Уфтюго-Сухоно-Югском (15,17%) болотных районах. Еще по 7 районов имеют долю болот менее 10% и от 10 до 15%.

На картах видно, что болотное районирование по [17] на рис. 3 и ландшафтное [22; 23] на рис. 2 требуют дополнительной корректировки границ. Особенно для Вожеозерского, Среднешекснинского и Шиченгско-Кулойского болотных районов (рис. 2 и 3).

Библиографический список

1. Торфяной фонд РСФСР. М., 1957. 774 с.
2. Романов В.В. Гидрофизика болот. Л.: Гидрометеиздат, 1961. 365 с.
3. Сабо Е.Д., Иванов Ю.Н., Шатило Д.А. Справочник по гидроресурсамелиорации. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 200 с.
4. Торфяные ресурсы РСФСР. М., 1991. 99 с.
5. Боч М.С., Кобак К.И., Кольчугина Т.П., Винсон Т. Содержание и скорость аккумуляции углерода в болотах бывшего СССР // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1994. Т. 99, вып. 4. С. 59–69.

6. *Новиков С.М., Усова Л.И.* Новые данные о площади болот и запасах торфа на территории России // Динамика болотных экосистем северной Евразии в голоцене: Материалы симп. Петрозаводск, 2000. С. 49–52.
7. *Новиков С.М., Усова Л.И.* К оценке площади болот, заболоченных земель и прогнозных запасов торфа на территории Российской Федерации // Сборник работ по гидрологии. СПб., 2002. Вып. 25. С. 3–10.
8. *Вомперский С.Э., Сирин А.А., Цыганова О.П., Валяева Н.А., Майков Д.А.* Болота и заболоченные земли России: попытка анализа пространственного распределения и разнообразия // Известия РАН. Сер. геогр. 2005. № 5. С. 39–50.
9. *Вомперский С.Э., Сирин А.А., Сальников А.А., Цыганова О.П., Валяева Н.А.* Оценка площади болотных и заболоченных лесов России // Лесоведение. 2011. №5. С. 3–11.
10. Торфяные болота России: к анализу отраслевой информации (Под ред. А.А. Сирина и Т.Ю. Минаевой). М.: Геос, 2001. 190 с.
11. *Пряничников Б.И., Никаноров С.В.* Выявление и возможная оценка торфяных месторождений по космическим фотоснимкам // Материалы VII Всесоюзного совещания по болотоведению. Калинин: КГУ, 1984. С. 42–48.
12. Торфяной фонд РСФСР. Вологодская область. М., 1955. XXIII+652 с.
13. Торфяной фонд РСФСР. Вологодская область. М., 1970. LIV+617 с.
14. *Филоненко И.В.* Дешифровка водноболотных угодий Вологодской области по космическим снимкам Landsat в рамках программы «ГЭП-анализ сети ООПТ на северо-западе России» // Организмы, популяции, экосистемы: проблемы и пути сохранения биоразнообразия: Материалы Всероссийской конф. с междунар. участием (Вологда, Россия, 24–28 ноября 2008 г.). Вологда, 2008. С. 317–319.
15. Природа Вологодской области / Гл. ред. Г.А. Воробьев. Вологда: Вологжанин, 2007. 434 с.
16. *Бобровский Р.В.* Растительный покров Вологодской области // Природа Вологодской области: Сб. ст. Вологда: Обл. кн. ред., 1957. С. 210–299.
17. *Абрамова Т.Г.* Болота Вологодской области, их районирование и сельскохозяйственное использование // Северо-Запад европейской части СССР. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1965. Вып. 4. С. 65–93.
18. *Ившин В.А.* Мелиорация на Вологодчине. Вологда, 2006. 52 с.
19. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Вологодской области в 2011 году / Отв. ред. А.М. Завгородний. Вологда, 2012. 248 с.
20. *Предтеченский А.В., Хорошев П.И., Пряничников Б.И.* Современное состояние и перспективы использования космофотоснимков при изучении торфяных ресурсов // Методы исследования торфяных и сапропелевых отложений. Межвуз. сб. науч. тр. Калинин: КГУ, 1987. С. 5–12.
21. *Филиппов Д.А.* Антропогенные сукцессии болотных экосистем на водосборах таежной зоны Европейского Севера // Антропогенные сукцессии водосборов таежной зоны: биоиндикация и мониторинг. Сб. ст. Вологда, 2007. С. 56–64.
22. *Воробьев Г.А.* Основные черты природы Вологодской области // Особо охраняемые природные территории, растения и животные Вологодской области. Вологда: Русь, 1993. С. 7–18.
23. *Максимова Н.К., Скупинова Е.А.* Ландшафтный мониторинг охраняемых природных территорий: Учеб.-метод. пособие. Вологда: Полиграфист, 2003. 117 с.
24. *Кац Н.Я.* Типы болот СССР и Западной Европы и их географическое распространение. М.: ОГИЗ, 1948. 320 с. + 8 л. вкл.
25. *Тюрмнов С.Н.* Торфяные месторождения и их разведка. 2-е изд., испр. и доп. М.–Л.: Энергоиздат, 1949. 464 с.
26. *Абрамова Т.Г., Кирюшкин В.Н.* Районирование болот Архангельской области // Северо-Запад европейской части СССР. Вып. 6. Природное и хозяйственное районирование. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1968. С. 81–113.

УДК 622.331

Панов В.В.

Панов Владимир Владимирович, д. г. н., зав. кафедрой геологии, переработки торфа и сапропеля ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет», 170023, Тверь, Академическая, 12, vvpanov61@gmail.com

**ВРЕМЕННОЙ
ФАКТОР В МОДЕЛЯХ
ПРОЧНОСТИ
ТОРФЯНЫХ
ОТЛОЖЕНИЙ**

Аннотация. Представлен анализ моделей, рассмотренных через оценку роли фактора времени. Все модели предлагается разделить на нульмерные, в разработку которых не включаются факторы эволюции системы и ее масштаба, пространственные, для которых важна оценка протяженности или масштаба неоднородности торфяных отложений, а время считается второстепенным фактором и учитывается косвенно, а также пространственно-временные модели, характерной особенностью которых является включение факторов времени и масштаба системы как взаимозависимых в ее развитии и функционировании.

Ключевые слова: прочность торфа, классификация моделей

Panov V.V.

Panov Vladimir V., D.Sc., Prof., Head of Chair Geology, Peat Processing and Sapropel Tver State Technical University, 170023, Tver, Academicheskaya, 12

**TIME FACTOR IN
MODELS OF STRENGTH
PEAT DEPOSITS**

Abstract. Presents an analysis of the models discussed through evaluation of the role of the time factor. All models are proposed to divide by zero-dimensional, in which development does not include factors of evolution system and its scale, spatial, which is important for the assessment of the extent or magnitude of heterogeneity of peat deposits, and it is considered a minor factor, as well as space-time model in which the time factor and scale systems are considered as interdependent in its development and operation.

Keywords: strength peat, classification models

Утилитарная доминанта в изучении торфяных отложений вынуждает на момент использования торфа рассматривать его как окончательно сформированное природное образование. Фактор времени в представлениях о природе торфа присутствует только как условный и предполагается, что изменение свойств торфа или торфяных отложений под техногенным воздействием по скорости значительно превышает его естественные изменения. В результате представления о природе прочности торфа формировались без учета фактора времени и без определения торфа как части континуальной структуры торфяного тела в естественном состоянии, отличительным признаком которого является его рост или увеличение мощности торфяной залежи в традиционном понимании.

Фактор времени выражается и в функциональном значении фрагмента торфяной залежи, которое следует понимать как зависимость свойств части торфяной залежи от ее положения в растущем торфяном теле. В зависимости от возраста, условий образования и места положения степень изменения разных свойств торфа может быть периодически или постоянно неодинаковой.

К настоящему времени накоплен значительный опыт в изучении природы прочности торфа и его отложений, но как будет показано далее, в основе исследовательской работы всегда присутствует одно главное исходное предположение или априорное знание (идея или априорная модель (далее по тексту – модель)), построенное в зависимости от цели исследования или методов экспериментальной работы. Сравнительный анализ этих моделей, выполненный по основополагающим научным работам в области торфа, удобно рассматривать через оценку роли фактора

времени. В результате все модели (рис. 1) предлагается разделить на нульмерные, в разработку которых не включаются факторы эволюции системы и ее масштаба, пространственные, для которых важна оценка протяженности или масштаба неоднородности торфяных отложений, а время считается второстепенным фактором и учитывается косвенно, а также пространственно-временные модели, характерной особенностью которых является включение факторов времени и масштаба системы как взаимозависимых в ее развитии и функционировании.

Нульмерные модели (рис. 2) между собой отличаются оценкой исходного торфообразующего материала – волокна отмерших растений – и по-разному рассматривают механизмы трансформации торфа в зависимости от ее характера и цели (сжатие-растяжение, переработка-диспергирование, нарушение физико-химического равновесия в системе).

В основе модели структурированной среды (рис. 1) лежит представление о доминанте механического взаимодействия структурных элементов торфа (рис. 2). Наиболее полно признаки этой модели отражены в работе [1], следуя которой прочность торфа определяют прочностью и количеством волокна, сопротивлением скольжению частиц и сцеплением частиц различных размеров при уплотнении системы.

Последние два признака компенсируют снижение прочности волокон и способствуют вовлечению в процесс упрочнения новых волокон торфа. Одновременно в упрочнении участвуют 4–5% всех волокон торфа. На снижение прочности торфа влияют степень его разложения, уменьшение содержания целлюлозы и пористость торфа. Однако основной механизм упрочнения

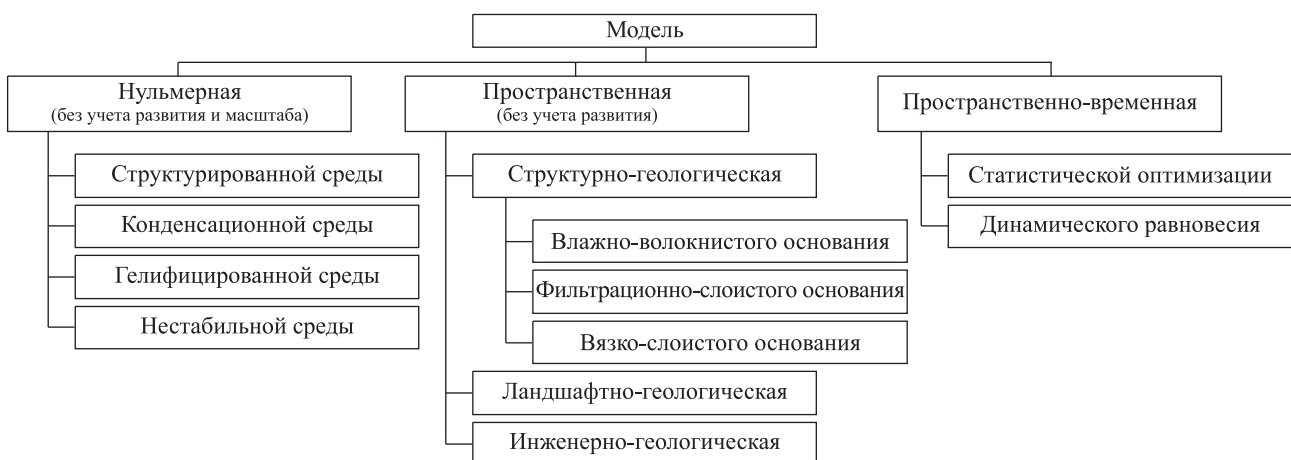


Рис. 1. Классификация априорных моделей или исходных представлений о природе прочности торфа и торфяных отложений

Fig. 1. Classification priori models or ideas about the nature of initial strength of peat and peat deposits

торфа, при котором часть волокна теряет прочность в количестве, равном участию в этом процессе нового волокна, остается неясным. Если не предположить, что процесс уплотнения торфа во времени зависит от сопротивления ему именно 4–5% волокон и тогда время развития системы является топологическим, отражающим не величину уменьшения пористости торфа, а характер уменьшения пористого пространства.

Для представления модели конденсированной среды (рис. 2), основанной на идее рассматривать любую торфяную систему в ее конечном состоянии, можно воспользоваться взглядами С.Г. Солопова и Н.В. Чураева на прочность торфа как функцию связи между его фазами. В результате предельная прочность торфа определяется появлением конденсированных сред – совокупности контактирующих частиц при влажности, определяемой только физико-химическими связями [2]. Для увеличения истинного сцепления в торфе необходимо иметь развитую удельную кинетическую поверхность с расстоянием между частицами (0,25–0,5 мкм) [3].

Основу их исследований составляет неудовлетворительный с позиций физикохимии параметр – степень разложения торфа, который вместе с химическим (групповым) составом торфа и в отличие от дисперсности торфа, не отражает адекватно механизм формирования конденсированной среды. Причина этой неадекватности объясняется [2] влиянием в общем смысле фактора времени: химические свойства меняются за длительный срок, а физические зависят от современного состояния торфяной залежи. Следовательно, прочность торфа в модели конденсированной среды в естественных пространственно-временных условиях не зависит от конечной развитости кинетической удельной поверхности торфа, размер которой может колебаться в соот-

ветствии с термодинамическими параметрами. Поэтому использование этой модели ограничено условием искусственного кратковременного воздействия на торфяную систему.

Колебаниями термодинамических параметров залежи можно объяснить волнообразную текстуру торфа, в которой волокно и высокодисперсная часть составляют одно целое по структуре. Волокно в этом случае ограничивает трансформации гумусной части, вызываемые аномальной плотностью частиц, ее составляющих [4], которая и создает напряжения в каркасе волокон. Так в целом объясняется природа прочности торфа как нестабильной среды (по [3, 5]) – понятие, которое можно принять в качестве названия следующей модели.

Содержание этой модели будет составлять представление о торфе как реологической системе, прочность которой зависит от распределения и динамики давления в торфяной системе, что во многом аналогично понятию потенциала влаги как основы массопереноса. Выравнивание давления в торфе отражает скорость релаксации напряжения в нем, вызываемого постоянными изменениями термодинамических условий в окружающей среде и ее химического состава.

Следуя положениям [5], эта модель может быть дополнена представлением о квазиравновесном состоянии структуры торфяной системы, возникающей за счет разницы скорости накопления энергии и ее рассеивании, что в свою очередь ведет к временной локализации части энергии в форме связей, определяющих существование частично набухающей системы – ассоциата макромолекул. Поэтому на прочность торфа влияют как энергетические потоки, так и кинетические взаимодействия в торфяной системе. Таким образом, в модели нестабильной среды прочность торфа меняется в соответствии с факторами, дей-

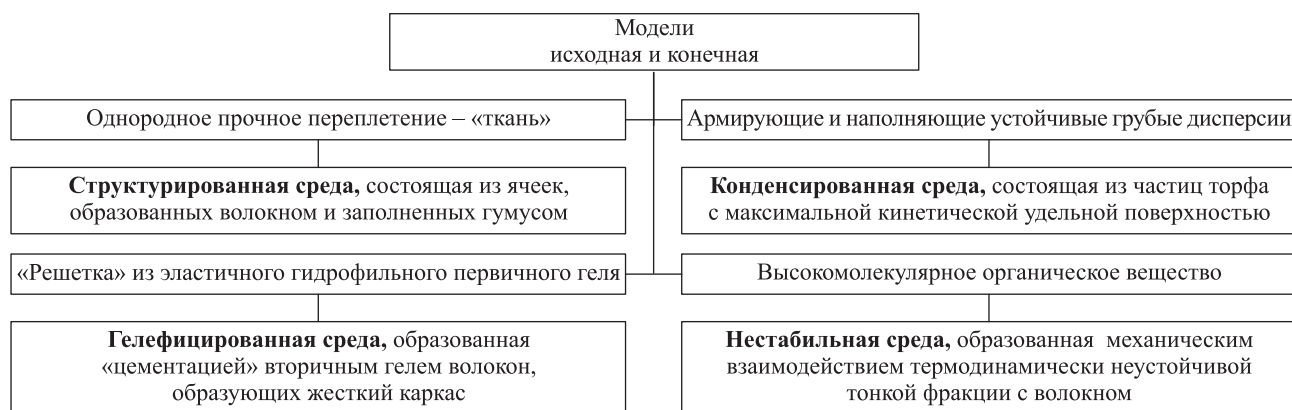


Рис. 2. Классификация нульмерных моделей прочности торфа

Fig. 2. Classification of zero-strength models of peat

ствующими на границе некоторого условно изотропного объема торфа и в продолжительном интервале времени являющиеся обратимыми и не рассматривающие тем самым эволюцию торфа в целом. Основу упрочнения торфа в этой модели составляют обновляющиеся физико-химические и химические модификации ее дисперсионной среды. Перспективным в этой модели является исследование взаимодействия условно между собой изотропных частей торфяной залежи и препятствие к полному выравниванию свойств торфяной среды. Это могло бы перевести эту модель из нульмерной в пространственно-временную эволюционирующую.

Модель гелефицированной среды (рис. 1) в отличие от модели конденсированной среды основана на устойчивой связи вещественного состава торфа с его структурой и прочностью, а в отличие от модели структурированной среды допускает влияние на прочность высокодисперсной фракции, но в отличие от модели нестабильной среды это влияние в естественных условиях имеет необратимый характер. Этим условиям в большей степени соответствует гипотеза о природе прочности торфа, изложенная в [6].

Ее основу составляет образование в торфяной среде «частиц», представляющих собой остатки волокна, постепенно покрываемые за счет адсорбции вторичным гелем. Каждая такая частица может содержать несколько волокон, защемленный газ, «цемент» – высокодисперсные фракции, минеральные компоненты и жидкий раствор. Замкнутый газ определяет упругость частицы, а осмотические силы определяют ее развитие. Среда вблизи частицы представляется «слабым» гелем – источник ресурсов для вторичного геля. Для упрочнения торфа как гелефицированной среды необходима механическая переработка с последующей сушкой. Однако и в этой модели время учитывается только как фактор, отражающий интенсивность техногенного воздействия. В естественных условиях прочность торфа по этой модели увеличивается очень медленно, почти незримо.

Ряд пространственных моделей основан на оценке прочности торфяной залежи как несущего основания и характеризуется влиянием прочности залежи на передвижение техники, строительство и транспортные коммуникации. В этих моделях природа прочности торфяных отложений рассматривается как функция ориентации и протяженности их однородных частей. Временной фактор в них рассматривается как признак генезиса свойств торфяных отложений (относительное время), а не как фактор развития их свойств (абсолютное время).

Пространственные модели включают структурно-геологические модели, ландшафтно-геологическую и инженерно-геологическую. Основу первых составляет вертикальная структура (стратификация) залежи, особенности которой определяют характер ее прочности. В ландшафтно-геологической модели добавляется горизонтальная оценка неоднородности торфяных отложений, получаемая по границам болотных микроландшафтов, а в инженерно-геологической модели торфяные отложения стратифицируются вместе со всей верхней минеральной грунтовой толщей, а в плане составляют с ней единое пространство.

Разница между структурно-геологическими моделями природы прочности торфяной залежи достаточно условная и зависит в основном от параметров, учитываемых для расчета и интерпретации механических свойств торфяных отложений. Поэтому названия этих моделей приведены по главным признакам описываемой ими структуры.

Для модели влажно-волокнистого грунта можно воспользоваться параметрами, определяющими его прочность по [7]. К ним относятся природная влажность грунта и вид торфяного грунта по степени волокнистости, коррелированные с полевым значением сопротивления сдвигу. Время рассматривается как фактор скорости нагружения залежи.

При описании модели фильтрационно-слоистого основания воспользуемся гипотезой прочности торфяных отложений *В.Д. Казарновского* [7], включающей оценку влияния на прочность мощности торфяного слоя, его выдержанности по простиранию, количество слоев, выделяемых по степени отжатия из них воды, характер дренированности подстилающих торфяное основание пород. Основу упрочнения торфяной залежи определяет характер водопроводимости и водообмена торфяных отложений и их окружения, в скорости которых учитывается фактор времени.

При выделении модели вязко-слоистого основания использовано представление [2] о влиянии на прочность торфяной залежи прочного на растяжение верхнего слоя болот и консистенции нижерасположенного торфяного слоя, а также уклона дна залежи, водных прослоек и сапропеля. В целом прочность залежи определяется пористостью, прямолинейно зависимой от мощности залежи. В результате фактор времени косвенно учитывается в устойчивости залежи под нагрузкой.

В следующей пространственной модели – ландшафтно-геологической – рассматривается

влияние на прочность торфяных отложений горизонтальной структуры торфяного болота. По предположению [8], каждому микроландшафту соответствуют свои механические свойства торфяной залежи в зависимости от рельефа, растительности, обводненности и мощности залежи. Фактор времени косвенно учитывается в мощности торфяной залежи.

За основу инженерно-геологической модели прочности можно принять в целом картографическую модель торфяного массива [9], построенную с использованием классификации видов строения залежей МТИ, несущей способности по видам залежи, возраста, генезиса и состава подстилающих минеральных пород. Фактор времени в этой гипотезе отражает только общегеологическую основу описания торфяных отложений. Прочность торфяных отложений предположительно коррелирует с комплексностью общетехнических свойств торфа и их сочетанием в видах торфяных залежей.

Таким образом, для нульмерных моделей явным недостатком является отсутствие в интерпретации полученных результатов по исследованию прочности торфа его возраста и характер залегания в торфяной залежи. Недостатком пространственных моделей является недостаточное внимание к взаимосвязанности целостности торфяного тела, не позволяющее прогнозировать процессы упрочнения торфяного болота в виде закономерного поля распределения в трехмерном виде.

К пространственно-временным относятся модели, принципиальное отличие которых состоит в том, что фактор времени в них играет определяющую роль в развитии и функционировании торфяных отложений и, как следствие, в развитии их прочностных свойств.

Модель статистической оптимизации свойств торфяных отложений предполагает подробное исследование поля распределения значений прочности в торфяной залежи на основе статистической природы ее неоднородности, включающей закономерную и случайные составляющие. Принципиальным отличием этой модели является замена номинального объекта (слоя торфа, вида залежи, торфяного грунта) с определенными значениями их механических свойств на унифицированные типы изменчивости этих свойств в торфяной залежи. При этом предполагается учитывать исторические особенности формирования свойств торфа в неосушенной залежи и характере их изменения при ее осушении. Временной фактор в этой модели непосредственно влияет на распределение свойств в торфяной залежи,

меняющихся в каждый момент времени, за который может произойти изменение, например влагосодержания.

Наиболее полно признаки этой модели отражены в работе [10]. Для нее установлены следующие особенности. С ростом прочности залежи снижается вариация изменения их значений. У низинных торфов и залежей изменчивость значений прочности ниже и меньше. У верховых залежей наблюдается снижение прочности в нижнем слое при наличии сапропеля, низинного или переходного торфа (для глубоких залежей), а также при приближении к центральной и наиболее глубокой части болотного массива. В целом изменение прочности в плане болотного массива отвечает изменению степени разложения и влажности торфяной залежи.

Деятельный слой прочный, средний имеет повышенную влажность и связность, придонный упрочняется за счет процессов коагуляции. Торф со степенью разложения до 20% и залегающий в верхней части залежи подобен деятельному горизонту, имеющему из-за структур переплетения волокон повышенную прочность. В слаборазложившихся слоях торфяной залежи определяющую роль в упрочнении играет армирование ее пнями. Отмечено снижение прочности придонного слоя торфяника, залегающего на водоупорных породах.

Последняя модель динамического равновесия или растущего торфяного тела основана на идее о генетическом единстве формы торфяной залежи и структуры ее механического напряжения с формированием и изменением во времени ее свойств. В результате роста торфяного тела в нем постоянно происходят перестройки его механической системы. В этом случае прочность торфяного тела в каждой его точке отражает скорректированный характер его роста. В разных частях процессы упрочнения и разупрочнения могут протекать параллельно или сменять друг друга. Главными силами, обеспечивающими разработку такой модели прочности, являются силы тяжести и давления. Следует учитывать взвешивающее усилие гидростатического давления на твердую фазу торфяной системы и прочность деятельного слоя.

Прочность в каждой точке торфяного тела в естественном залегании отвечает континуальному характеру, т.е. отражает характер напряжений вокруг себя. Нестационарность прочности в залежи отражает кроме естественной неоднородности и коллективный характер влияния пространства, включающего в себя совокупность более частных неоднородностей, на соседние

пространства подобной природы плотности и динамики, суммарное действие последних ведет к взаимодействию более крупных частей торфяного тела, формируя, в конце концов, напряжение во всем торфяном теле и направляя тем самым его рост.

Библиографический список

1. *Амарян Л.С.* Прочность и деформируемость торфяных грунтов. М.: Недра, 1969.
2. *Солопов С.Г.* Влияние дисперсности на структуру и физико-механические свойства торфа в связи с задачей получения качественного кускового топлива из залежей с пониженной влажностью // Тр. ин-та / Моск. торф. ин-т. 1958. Вып. 8. С. 140–166.
3. *Абрамец А.М., Лиштван И.И., Чураев Н.В.* Массоперенос в природных системах. Мн.: Навука і тэхніка, 1992. 288 с.
4. *Воларович М.П., Чураев Н.В.* Исследование степени дисперсности торфа // Тр. ин-та/ Моск. торф. ин-т. 1955. Вып. III. С. 33–58.
5. *Гамаюнов Н.И., Миронов В.А., Гамаюнов С.Н.* Тепломассоперенос в органогенных материалах. Процессы обезвоживания. Тверь: ТГТУ, 1998. 272 с.
6. *Березин А.А., Беловидов И.Д.* Структура торфа-сырца и ее изменение в процессе механической переработки // Тр. ин-та / Моск. торф. ин-т. 1958. Вып. 8. С. 167–208.
7. *Евгениев И.Е., Казарновский В.Д.* Земляное полотно автомобильных дорог на слабых грунтах М.: Транспорт, 1976. 271 с.
8. *Шапошников М.А.* Принципы построения инженерно-строительной классификации торфяных оснований неосушенных болот // Типы торфяных оснований неосушенных болот СССР и принципы их классификации. М.: Наука, 1974. С. 228–233.
9. *Сергеев А.И.* Методика инженерно-геологического изучения торфяных массивов. М.: Наука, 1974. 135 с.
10. *Лиштван И.И., Базин Е.Т., Косов В.И.* Физические процессы в торфяных залежах. Минск, 1989. 287 с.

УДК 550.837:621.396.98

Иванов Г.Н.

Иванов Григорий Николаевич, к. г.-м. н., доцент кафедры природообустройства и экологии ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет», 170023, Тверь, Академическая, 12

Ivanov G.N.

Ivanov Gregory N., Ph.D, Associate Professor of Chair Environmental and Ecology Tver State Technical University, 170023, Tver, Akademicheskaya, 12

**ИЗУЧЕНИЕ
АКУСТИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ САПРОПЕЛЯ
И ТОРФА****STUDY OF ACOUSTIC
PROPERTIES AND PEAT
SAPROPEL**

Аннотация. При изучении торфяных месторождений применимы сейсмические и низкочастотные акустические методы из-за большого поглощения в торфе высокочастотных колебаний. Для изучения и разведки озерных отложений сапропеля применимы акустические и ультразвуковые методы, так как поглощение упругих колебаний в воде минимально. В большинстве случаев скорость распространения упругих волн в различных горных породах не зависит от частоты в диапазоне звуковых и ультразвуковых колебаний. Это позволяет применять для ее определения ультразвуковые методы, что дает возможность избежать создания громоздких установок при лабораторных исследованиях на низких частотах.

Abstract. In the study of peat deposits applicable seismic and low frequency acoustic methods because of the large absorption of high frequency oscillations in the peat. For the study and exploration of lake sediments sapropel apply acoustic and ultrasonic methods, since the absorption of elastic waves in water is minimal. In most cases, the speed of propagation of elastic waves in various rocks is independent of frequency in the range of sonic and ultrasonic vibrations. This enables the use of ultrasonic methods for determining that avoids the creation of bulky plants in laboratory studies at low frequencies.

Ключевые слова: акустические методы исследования, торф, сапропель

Keywords: acoustic methods, peat, sapropel

Одним из существенных и практически малоиспользуемых ресурсов органического сырья в нашей стране является сапрпель – порода, генетически тесно связанная с торфом. Сапрпели – это отложения пресноводных водоемов – продукт накопления остатков населяющих водоем растительных и животных организмов, содержание органического вещества в котором больше 15%. Таким образом, этим термином охватывается большое разнообразие органоминеральных отложений, различных по своим свойствам и составу.

С учетом сапрпелей палеозер (под торфом) общий предполагаемый запас сапрпеля оценивается примерно в 200 млрд. м³. Эффективное освоение таких огромных запасов невозможно без применения современных методов поиска и разведки, без всестороннего изучения физико-механических и других свойств сапрпеля.

При изучении четвертичных отложений широкое применение находят сейсмоакустические методы, то есть комплекс разночастотных методов: ультразвуковых на частотах от 10 до 300 кГц и выше; акустических – на частотах от 0,3 до 10 кГц и сейсмических – на частотах от 10 до 300 Гц. В зависимости от решаемых задач применяется весь комплекс методов или отдельные из них.

Работы по применению методов сейсмоакустики для изучения торфяных и сапрпелевых отложений проводятся в ТГГУ (ранее КПИ, ГвПИ) с середины шестидесятых годов. При изучении торфяных месторождений применимы сейсмические и низкочастотные акустические методы из-за большого поглощения в торфе высокочастотных колебаний. Для изучения и разведки озерных отложений сапрпеля применимы акустические и ультразвуковые методы, так как поглощение упругих колебаний в воде минимально.

Изучение акустических свойств сапрпеля, торфа, а также подстилающих их пород имеет прикладное значение: во-первых, для обоснования и выяснения принципиальной (физической) возможности применения сейсмоакустических методов разведки этих полезных ископаемых; во-вторых, для определения оптимальных параметров аппаратуры, применяемой при разведке; в-третьих, для интерпретации результатов разведки.

Под термином «акустические свойства» здесь подразумевается:

1. Скорость распространения упругих волн.
2. Коэффициент поглощения энергии упругих колебаний.
3. Коэффициент отражения упругой волны на границе раздела (вода–сапрпель).

В большинстве случаев скорость распространения упругих волн в различных горных породах не зависит от частоты в диапазоне звуковых и

ультразвуковых колебаний. Это позволяет применять для ее определения ультразвуковые методы, что дает возможность избежать создания громоздких установок при лабораторных исследованиях на низких частотах.

Методики изучения акустических свойств сапрпеля, торфа и подстилающих пород

Измерение скорости распространения ультразвука проводилось в сапрпелях при влажностях 92–100% и температурах от 0 до 95 °С на интерферометре, который состоит из двух частей: электронного блока и интерферометрической камеры (рис. 1). При возбуждении пьезокварцевой пластинки 1 ультразвуковые волны передаются от мембраны 6 в исследуемую среду 7. Навстречу ультразвуковой волне перемещается плоский рефлектор 5 при помощи микрометрического винта 4. Ультразвуковая волна отражается от рефлектора и, интерферируя с падающей, образует стоячую волну. Это явление вызывает изменение колебаний пьезокварцевой пластинки и, соответственно, входного импеданса, а также напряжения высокой частоты (4 МГц) на контуре. Максимумы и минимумы этого напряжения повторяются через одинаковые промежутки перемещения рефлектора, равные половине длины волны. Изменения напряжения фиксируются стрелочным индикатором.

Электрическим термостатом 2, 3 интерферометра можно поддерживать температуру в диапазоне 18–50 °С с точностью $\pm 0,1^\circ$. При температурах, выходящих за пределы этого диапазона, термостатирование осуществлялось с помощью внешнего термостата путем прокачивания нагретой или охлажденной до определенной температуры жидкости через рубашку 8 интерферометрической камеры.

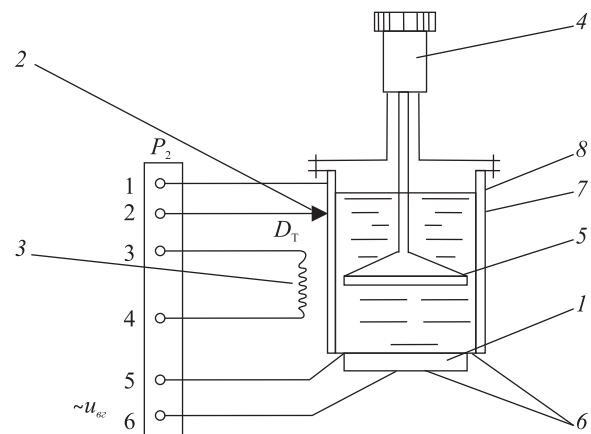


Рис. 1. Схема интерферометрической камеры

Fig. 1. Interferometric scheme camera

Для определения скорости распространения ультразвука в сапропелях различной концентрации готовились специальные суспензии. При этом сначала определялась концентрация (влажность) исходного сапропеля $C_{исх}$ методом термостатной сушки. Затем навеска этого сапропеля A_1 разбавлялась дистиллированной водой до массы A_2 , суспензия размешивалась до получения равномерной концентрации, которую рассчитывают по формуле:

$$C = A_1 \times C_{исх} / A_2. \quad (1)$$

Добавляя различное количество дистиллированной воды к навеске, можно получать различные концентрации сапропеля. Исследуемая суспензия заливалась в стакан интерферометрической камеры, который закрывался крышкой, имеющей рефлектор с микрометрическим винтом. Плоскость рефлектора вводилась в стакан под наклоном, чтобы на ней не оставалось пузырьков воздуха. Стрелка индикатора устанавливалась в крайнее левое или правое положение при перемещении рефлектора и снимался отсчет L_1 по шкале микрометра. Затем отсчитывались « n » отклонений стрелки от крайнего положения (принималось $n = 80$), стрелка устанавливалась в прежнее положение и снимался отсчет L_2 по шкале микрометра. Скорость ультразвука V , м/с рассчитывалась по формуле:

$$V = 2f(L_1 - L_2) / n, \quad (2)$$

где L_1 – начальное положение рефлектора, м; L_2 – конечное положение рефлектора, м; n – количество максимумов или минимумов, то есть число полуволн; f – частота колебаний, Гц.

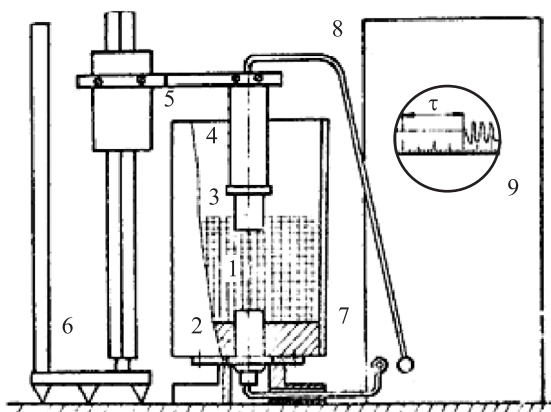


Рис. 2. Схема расположения аппаратуры при изучении акустических свойств торфа и сапропеля импульсным методом

Fig. 2. Arrangement of equipment in the study of the acoustic properties of peat and sapropel pulse method

Акустические свойства сапропеля изучались также с помощью приборов ИПА-59 и ДУК-20 импульсным методом, который позволяет изучать скорости и поглощение звука в сапропеле при любой влажности образца и на разных частотах. Схема расположения аппаратуры приведена на рис. 2.

Сапропель при естественной влажности помещался в стакан 1 из оргстекла диаметром 200 мм и высотой 300 мм, в дно которого вмонтирован излучатель 2. Приемник упругих колебаний 3 жестко закреплен в трубе 4, которая специальным кронштейном крепится на каретке 5 катетометра 6. Импульс высокого напряжения на излучатель подается от генератора акустической аппаратуры 8 по высокочастотному кабелю 7.

Принцип акустических измерений заключается в определении времени прохождения упругим импульсом известного расстояния L , а также в сравнении амплитуд первых вступлений импульсов при двух разных расстояниях между приемником и излучателем L_1 и L_2 .

Измерения проводились с пятикратной повторностью при трех-четыре базах – расстояниях между излучателем и приемником. Скорость распространения упругих колебаний в сапропеле определялась по формуле:

$$V = L / (\tau - \tau_0), \quad (3)$$

где L – расстояние между излучателем и приемником, м; τ – время распространения упругого импульса от излучателя до приемника при базе L , мкс; τ_0 – время задержки упругого импульса в материале корпусов датчиков и переходных слоев, определяемое путем соприкосновения излучателя и приемника, мкс.

Поглощение энергии упругих колебаний определялось по изменению амплитуды сигнала при различных расстояниях между излучателем и приемником по формуле:

$$\alpha = [1/(L_2 - L_1)] \times \ln(A_1/A_2), \quad (4)$$

где α – амплитудный коэффициент поглощения, m^{-1} ; L_1 и A_1 – соответственно, расстояние между датчиками в метрах и амплитуда сигнала в первом случае; L_2 и A_2 – то же во втором случае.

По такой же методике проводились измерения акустических параметров для торфа. Образцы торфа влажностью более 90% помещали в стакан, при влажности торфа менее 90% образцы различной длины вырезали из монолитов. Датчики прижимали с обеих сторон образца 1.

Одной из важнейших характеристик при оценке возможностей метода звуколокации при

разведке озер на сапропель является коэффициент отражения на границе вода-сапропель. При слишком малом его значении граница будет нечеткой, и отраженный сигнал может оказаться ниже порога чувствительности приемного устройства аппаратуры. Если коэффициент отражения стремится к единице, то преломленная волна будет иметь небольшую долю энергии и глубина проникновения ее окажется недостаточной для определения толщины слоя сапропеля.

Коэффициент отражения K на границе двух сред можно определить косвенным путем, измеряя акустические жесткости для двух сред.

$$K = \frac{\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1}{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1}, \quad (5)$$

где $\rho_i v_i$ – акустические жесткости (волновое сопротивление) среды ($i = 1, 2$); ρ_i – плотности и v_i – скорости звука в средах.

В экспериментах на гидроакустической трубе коэффициент отражения определяется непосредственно по экрану осциллографа. Метод основан на том, что в трубе с акустически жесткими стенками, представляющей собой акустический волновод, из всего возможного в нем спектра нормальных волн при возбуждении на частотах, удовлетворяющих условию:

$$f = \frac{0,586 \times v}{d}, \quad (6)$$

где v – скорость звука в воде; d – внутренний диаметр трубы (распространяется только квазиплоская волна основной моды, аналогичная плоской волне в неограниченном полупространстве). Помещая на одном конце трубы излучатель и приемник, а на другом – исследуемый образец, можно, сравнивая отраженные импульсы от образца и от свободной поверхности воды, измерять коэффициент отражения от него. Если же приемник поместить со стороны образца, то можно определить и коэффициент поглощения в нем акустической энергии.

Подобные установки применяются в гидроакустике для измерения акустических сопротивлений материалов, в частности, при исследовании звукопоглотителей. Требуемая жесткость стенок может быть получена, если применять стальные трубы с толстыми стенками. Недостаточная жесткость приводит к уменьшению фазовой скорости звука.

Условие 6, а также требование жесткости стенок легче удовлетворить с трубами небольших диаметров. С другой стороны, диаметр должен

быть не слишком мал. В противном случае образец окажется непредставительным. Требования к длине трубы определяются условием возможности отдельного наблюдения импульсов, отраженных от концов трубы на самой низкой применяемой частоте.

При проведении экспериментов использовалась стальная труба с внутренним диаметром 58 мм, толщиной стенок 28 мм и длиной 180 см. Исходя из приведенных размеров трубы, рабочие частоты, удовлетворяющие условию (6), находятся в диапазоне 5–15 кГц.

Схема лабораторной установки показана на рис. 3.

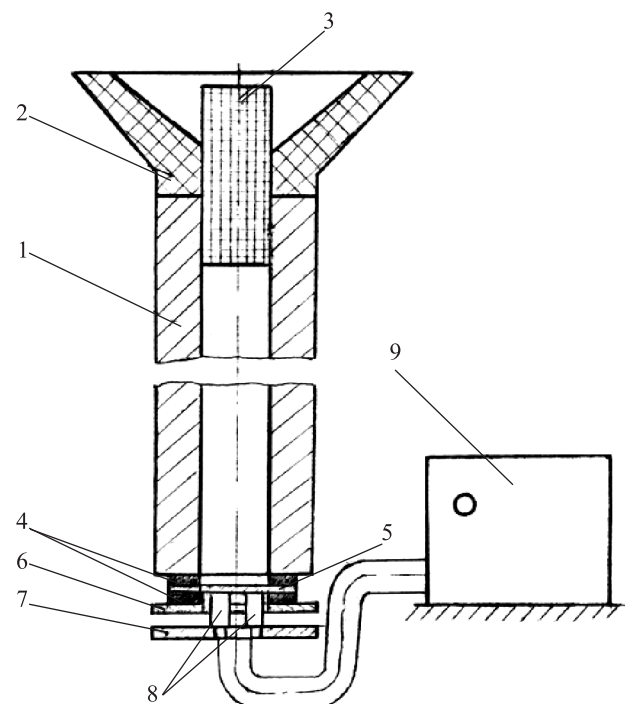


Рис. 3. Схема установки с гидроакустической трубой

Fig. 3. Installation scheme with sonar pipe

К нижнему концу трубы 1, заполненной водой, с помощью прижимной шайбы 6 и резиновых прокладок 4 крепилась медная или дюралюминиевая мембрана 5 толщиной 1 мм, к которой прижимались с помощью шайбы 7 излучатель и приемник 8. Образец 3, помещенный в специальный контейнер из оргстекла, вводился в трубу сверху. Для облегчения этой операции к верхнему концу трубы прикрепляется прозрачный раструб 2, позволяющий наклонно погружать контейнер с сапропелем в воду и визуально контролировать, чтобы на дне контейнера не образовывались пузырьки воздуха.

В качестве возбуждающего генератора и регистратора волновой картины использовался се-

рийный прибор 9 – ультразвуковой дефектоскоп ДУК-20. Фильтр на 15 кГц имеется в схеме усилителя прибора, на частотах меньше 15 кГц применялся специально изготовленный выносной LC-фильтр – параллельный контур, настроенный на нужную частоту.

Практика измерений показала, что состояние торцовых граней и внешней поверхности не оказывает заметного влияния на акустические измерения. Свойства трубы не ухудшаются от сверления отверстий в стенках для ее установки и крепления мембраны. Сила и равномерность прижатия датчиков к мембране значительно влияют на параметры системы и подбираются опытным путем. Нижняя поверхность мембраны для лучшего акустического контакта смазывается маслом. В качестве преобразователей использовались: на излучении – пьезопакеты из сегнетовой соли 45°-го среза размером 10×10×10 мм из 10 элементов; на приеме – целый куб размером 5×5×5 мм.

Коэффициент отражения от алюминиевой мембраны достаточно высок, поэтому упругий импульс распространяется внутри трубы, попеременно отражаясь на ее концах и постепенно уменьшаясь по амплитуде. Длина трубы и скважность следования импульсов удовлетворяют условию свободного их прохождения без наложения прямого и отраженного сигналов. При измерении коэффициента поглощения излучатель и приемник находились на разных концах трубы. Сравнивались амплитуды импульсов – прошедшего через образец и без образца.

Амплитуда измеряемого импульса

$$A_{\text{изм}} = A_0(1 + K) e^{-\alpha H}, \quad (7)$$

где A_0 – амплитуда импульса, при отсутствии в трубе образца; α – коэффициент поглощения, м^{-1} ; H – длина образца, м ($H = 0,3\text{м}$); K – коэффициент отражения от образца.

Из соотношения (7) следует, что

$$\alpha = \frac{1}{H} \times \ln \frac{A_0 \times (1 + K)}{A_{\text{изм}}}. \quad (8)$$

По этой формуле рассчитывался коэффициент поглощения в сапропеле.

Для изучения упругих характеристик торфов использовали установку, разработанную в КПИ, позволяющую измерять скорости звука в образце торфа при промораживании [3]. Образец размерами 40×40×250 в специальной кювете помещали вертикально в теплоизолированную камеру. В верхней части он контактировал с охлаждающим агентом, в результате чего образец торфа

промерзал направленно сверху вниз. Для снятия температурных зависимостей скорости звука в образец торфа на уровне оси пьезоэлектрических преобразователей помещали термопару. Расстояние от оси пьезопреобразователей до хладагента составляло 50 мм, между пьезопреобразователями (база) – 27 мм.

Методика определения количества незамерзшей воды в торфе заключается в измерении скорости продольных волн путем ультразвукового «просвечивания» в предварительно замороженных образцах при их оттаивании. Одновременно с ультразвуковыми измерениями регистрировали температуру образца. Брели образцы одного и того же вида торфа, но разной влажности, для чего исходную навеску торфа разбавляли дистиллированной водой или подсушивали. Влажность образцов изменялась от 10 до 80%. Готовый образец помещали в специальный корпус и с торцов зажимали ультразвуковыми датчиками. В корпусе просверлены два отверстия диаметром 1,5 мм, через которые в образец вводили две термопары. Спай одной термопары находился на оси образца, а другой – в 10 см от оси.

Для определения скорости продольных волн V_p при ультразвуковом «просвечивании» образцов использовали серийную аппаратуру ДУК-20 с датчиками ЦТС диаметром 30 мм собственной частоты 60 кГц.

Лабораторные исследования не дают полного представления об акустических свойствах пород, так как при извлечении, и тем более при длительном хранении, образцы теряют свои структурные свойства, уменьшается их влажность, происходит защемление воздуха в свободных порах. Поэтому акустические свойства сапропеля и торфа исследовались непосредственно в полевых условиях.

Исследования проводились с помощью аппаратуры ИПА-59 и ДУК-20. Схема расположения аппаратуры на специальном понтоне приведена на рис. 4. Источник питания – бензоэлектрический агрегат АБ-1-0/230. Измерения были выполнены в намеченных точках закрепленных профилей при двух базах 200 и 300 мм. Скорость распространения упругих колебаний рассчитывалась по формуле 3.

При измерении амплитуд импульсов на различных базах для определения коэффициента поглощения учитывалось, что при получении волн цилиндрическим излучателем уменьшение интенсивности, а следовательно, и амплитуды импульса происходит также за счет увеличения поверхности фронта волны. Для этого кажущийся коэффициент поглощения для сапропеля α'_c рассчитывался по формуле 4. С ее помощью определялся коэффициент ослабления для воды $\alpha'_в$,

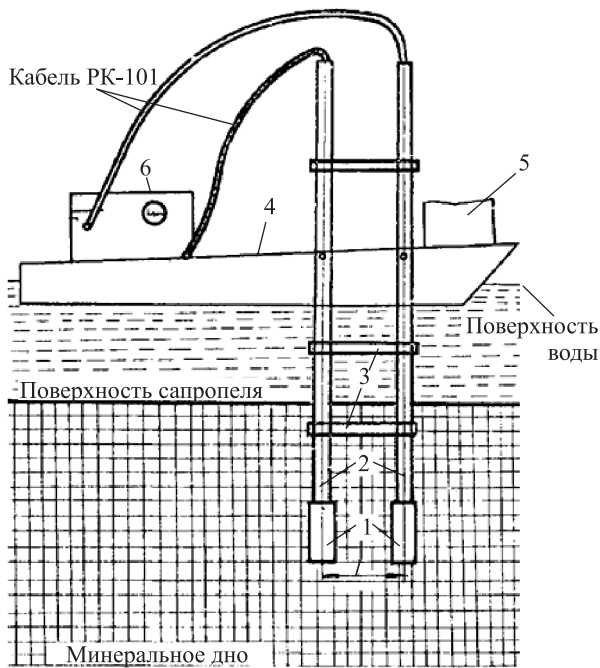


Рис. 4. Схема расположения аппаратуры при изучении акустических свойств сапропеля в условиях естественного залегания

Fig. 4. Arrangement of equipment in the study of the acoustic properties of sapropel in terms of natural occurrence

поглощение в которой минимальное и им можно пренебречь. Истинный коэффициент поглощения для сапропеля отделялся по формуле:

$$\alpha = \alpha'_c - \alpha'_b \quad (9)$$

Для работы по методу акустического каротажа была разработана конструкция акустического зонда (рис. 5), который состоит из трех пьезоэле-

ментов 6, работающих как в режиме излучателя, так и приемника. Расстояние между датчиками – 100 мм. Методика работы с акустическим зондом в принципе не отличается от упругого «просвечивания», описанного выше.

Результаты изучения акустических свойств сапропеля и торфа

Исследование акустических свойств сапропеля проводилось на образцах, извлеченных из различных водоемов средней полосы европейской части России. На каждый образец имеются данные биохимического анализа. Влажность сапропелей определялась методом термостатновесовой сушки, а зольность – методом сжигания.

По результатам экспериментов на интерферометре переменной длины волны подсчитаны объемная сжимаемость и модуль объемной упругости сапропелей. Если взвешенные частицы малы по сравнению с длиной волны, для скорости звука в суспензиях можно написать следующее уравнение:

$$v_0 = \frac{1}{\sqrt{\rho_0 \times \beta_0}}, \quad (10)$$

где ρ_0 – плотность суспензии;

$$\rho_0 = \rho_2 \times \alpha + \rho_1 \times (1-\alpha), \quad (11)$$

ρ_0 – плотность жидкости; ρ_2 – плотность твердой фазы; α – объемная концентрация твердых частиц; β_0 – объемная сжимаемость суспензии:

$$\beta_0 = \beta_2 \times \alpha + \beta_1 \times (1-\alpha), \quad (12)$$

β_0 и β_2 – соответственно, объемные сжимаемости жидкости и взвешенных частиц.

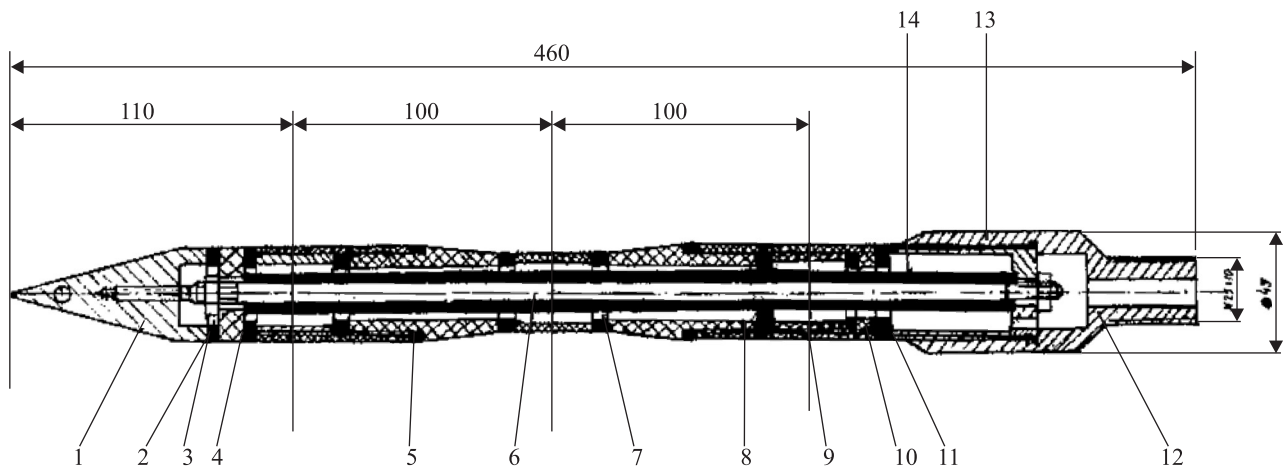


Рис. 5. Трехэлементный зонд акустического каротажа

Fig. 5. Three-element probe acoustic logging

Объемная сжимаемость сапропеля определялась из формулы (10), а модуль объемной упругости из соотношения:

$$E = \frac{1}{\beta_0} = \rho_0 \times v_0^2. \quad (13)$$

Результаты исследований и расчетов по формулам 10, 13 совместно с данными биохимического анализа приведены в таблице 1.

На рис. 6 представлена зависимость скорости распространения ультразвука v в различных сапропелях от концентрации (влажности). Из рисунка следует, что скорость ультразвука возрастает с увеличением концентрации (уменьшением влажности) сапропеля по зависимости, близкой к линейной вследствие уменьшения сжимаемости и увеличения модуля объемной упругости E . Скорость звука в сапропеле с изменением концентрации от 0 до 10%:

$$V = V_B + aC, \quad (14)$$

где V_B – скорость звука в воде, м/с; C – концентрация, %; $a = 2,38 \text{ м/(с\%)}^{-1}$ – постоянный коэффициент.

Влажность сапропеля уменьшается с глубиной залежи (а концентрация увеличивается) также по зависимости, близкой к линейной (рис. 7), для случая малой загазованности сапропеля

$$C = bH, \quad (15)$$

где H – глубина залегания сапропеля, м; $b = 1,05\% \text{ м}^{-1}$ – постоянный коэффициент.

Таким образом, на основании полученных результатов зависимость скорости звука от глубины залегания сапропеля имеет вид:

$$V = V_B + KH, \quad (16)$$

где $K = 2,5 \text{ с}^{-1}$ – постоянный коэффициент.

Поскольку разведка на сапропель с применением звуколокатора может проводиться в разное

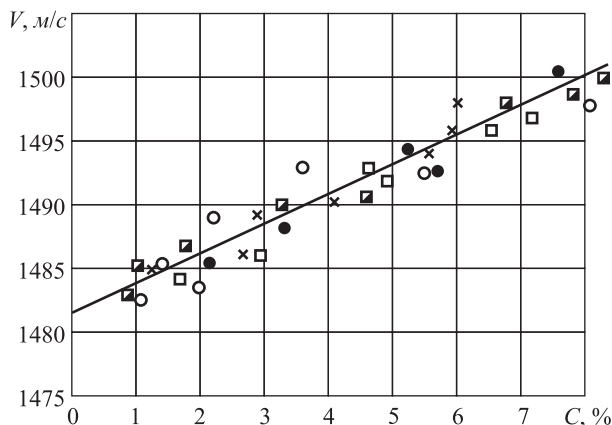
Таблица 1. Результаты изучения акустических свойств сапропелей

Table 1. Results of the study of the acoustic properties of sapropel

№ пп	Вид сапропеля	A ^c , %	pH	CaO, %	ρ г/см ³	W, %	V, м/с	β, м ² /с	E, Н/м ²
1	Зоогеновый оз. Задельское Новгородской области	11,90	6,8	1,54	1,001	96,4	1493	0,450*10 ⁻⁹	2,22*10 ⁹
					–“–	97,8	1489	0,454*10 ⁻⁹	2,20*10 ⁹
					–“–	98,6	1485	0,456*10 ⁻⁹	2,19*10 ⁹
					–“–	98,9	1482	0,458*10 ⁻⁹	2,20*10 ⁹
2	Известковистый оз. Татаровское Владимирской области	43,16	8,2	33,49	1,149	89,8	1503	0,387*10 ⁻⁹	2,58*10 ⁹
					1,131	91,9	1498	0,395*10 ⁻⁹	2,53*10 ⁹
					1,124	94,3	1493	0,399*10 ⁻⁹	2,51*10 ⁹
					1,105	98,0	1484	0,412*10 ⁻⁹	2,43*10 ⁹
3	Песчанисто-зоогеновый оз. Ташное Рязанская обл.	41,80	6,0	2,40	1,125	90,7	1501	0,396*10 ⁻⁹	2,53*10 ⁹
					1,114	92,8	1497	0,403*10 ⁻⁹	2,49*10 ⁹
					1,102	94,5	1493	0,407*10 ⁻⁹	2,46*10 ⁹
					1,037	98,3	1484	0,439*10 ⁻⁹	2,28*10 ⁹
					1,021	99,1	1483	0,447*10 ⁻⁹	2,24*10 ⁹
4	Глинисто-зоогеновый оз. Коломенское	49,29	5,6	2,79	1,005	94,1	1496	0,447*10 ⁻⁹	2,24*10 ⁹
					–“–	95,4	1493	0,449*10 ⁻⁹	2,23*10 ⁹
					–“–	96,7	1490	0,451*10 ⁻⁹	2,22*10 ⁹
					–“–	97,1	1485	0,455*10 ⁻⁹	2,20*10 ⁹
5	Известково-водорослевый оз. Островно	39,78	7,4	16,30	1,125	91,8	1500	0,396*10 ⁻⁹	2,53*10 ⁹
					1,117	93,5	1496	0,400*10 ⁻⁹	2,50*10 ⁹
					1,101	95,1	1492	0,407*10 ⁻⁹	2,46*10 ⁹
					1,059	97,1	1486	0,427*10 ⁻⁹	2,35*10 ⁹
6	Глинисто-зоогеновый, оз. Мец Тверской области	30,60	6,1	2,50	1,060	94,0	1498	0,423*10 ⁻⁹	2,37*10 ⁹
					1,058	94,4	1494	0,425*10 ⁻⁹	2,36*10 ⁹
					1,048	95,5	1493	0,428*10 ⁻⁹	2,34*10 ⁹
					1,032	95,9	1490	0,437*10 ⁻⁹	2,29*10 ⁹
					1,022	97,1	1489	0,443*10 ⁻⁹	2,26*10 ⁹
					1,021	97,3	1486	0,445*10 ⁻⁹	2,25*10 ⁹
					1,014	98,7	1485	0,450*10 ⁻⁹	2,23*10 ⁹

время года (от ледохода до ледостава) и в разных климатических условиях, была исследована температурная зависимость скорости ультразвука в сапропелях. Кривая зависимости скорости распространения ультразвука от температуры (рис. 8) имеет два экстремума: минимум при температуре 4 °С и максимум при температуре 70 °С. Минимум на температуре 4 °С объясняется наибольшей плотностью воды и исследуемой системы в целом при этой температуре.

При повышении температуры плотность системы уменьшается, вследствие чего наблюдается увеличение скорости звука. Однако с ростом



На рис. 6–8: ○ – известковистый; × – песчано-зоогеновый; □ – глинисто-зоогеновый; ● – торфянистый; ■ – смешанноводораслевый

Рис. 6. Зависимости скорости распространения ультразвука в сапропеле от концентрации

Fig. 6. Depending on the speed of propagation of ultrasound in sapropel concentration

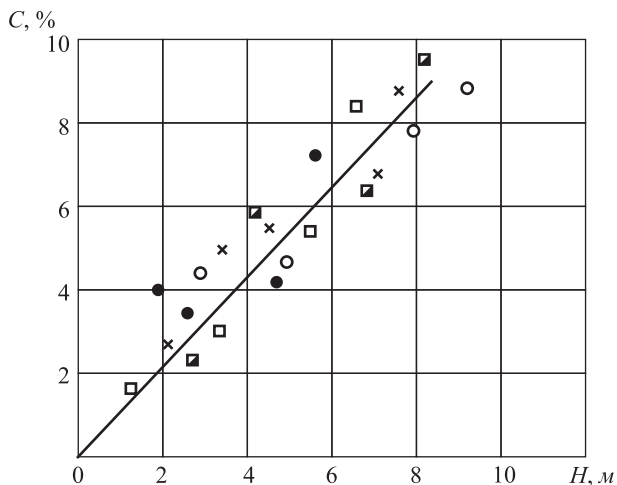


Рис. 7. Зависимости концентрации от глубины отложения сапропеля

Fig. 7. Concentration versus depth sapropel deposits

температуры становится интенсивней процесс внутреннего испарения жидкости с образованием микропузырьков пара. Это явление ведет к увеличению сжимаемости системы. Уменьшение плотности и увеличение парообразования происходят одновременно. С преобладанием последнего при температуре ($t = 70$ °С) скорость ультразвука начинает уменьшаться.

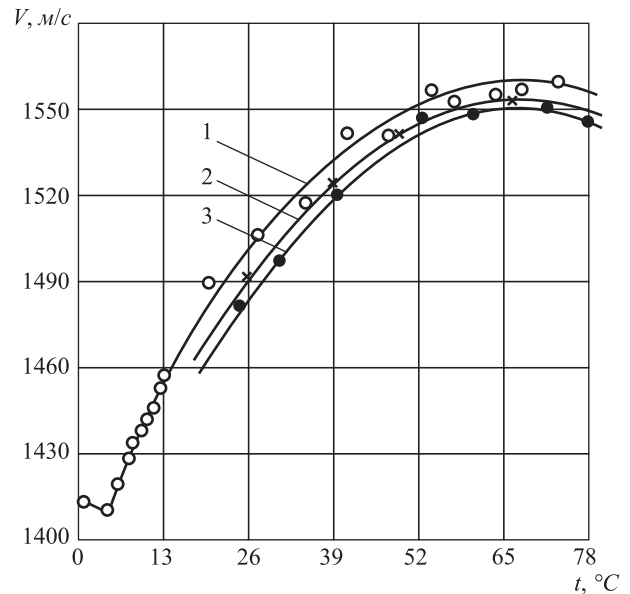


Рис. 8. Зависимость скорости распространения ультразвука в сапропеле от температуры при концентрации C : 1 – 5%; 2 – 2%; 3 – вода

Fig. 8. The dependence of the propagation velocity of ultrasound in sapropel the temperature at a concentration of C 1 – 5% 2 – 2%, 3 – water

Данные по определению скорости и поглощения ультразвука импульсным методом с помощью аппаратуры ИПА-59 в ДУК-20 в различных сапропелях с указанием их свойств представлены в таблице 2. Из таблицы следует, что скорость распространения акустических колебаний в сапропелях изменяется от 1100 до 1620 м/с. Минимальное значение скорости связано, по-видимому, с газонасыщенностью данного сапропеля, присутствие даже небольшого количества нерастворенного в воде газа резко снижает скорость распространения в нем упругих колебаний.

Коэффициент поглощения при тех же условиях изменяется от 7 до 230 м^{-1} и от 15 до 370 м^{-1} соответственно на частотах 15 и 100 кГц. Причем максимальное поглощение характерно для того же сапропеля, в котором наблюдалось уменьшение скорости ультразвука. Это подтверждает предположение о газонасыщенности данного вида сапропеля.

Качественные характеристики сапропелей (влажность, плотность, зольность) влияют на акустические свойства. При уменьшении влажности и увеличении плотности с глубиной слоя сапропеля наблюдается незначительное увеличение скорости, а коэффициент поглощения при этом увеличивается в полтора-два раза. С увеличением зольности возрастает скорость звука и уменьшается коэффициент поглощения.

Однако существенное влияние на окислительные свойства оказывает загазованность образцов, что ведет к увеличению сжимаемости или уменьшению модуля объемной упругости сапропеля. Изменение содержания газовой фазы на 1–2% изменяет акустические свойства сапропеля значительно больше, чем изменение влажности и зольности на 10% и более. Это показано при исследовании вакуумированных образцов сапропеля.

Для пресной воды скорость звука равна 1480–1490 м/с; коэффициент поглощения при частоте $f = 100$ кГц равен 10^{-3} м^{-1} . Для водонасыщенного песка скорость звука равна 1580–1800 м/с, а коэффициент поглощения при 30–50 кГц равен 18 м^{-1} . Из этого следует, что сапропель по своим акустическим свойствам отличается от воды и

песка, который часто является подстилающей сапропель породой. В результате экспериментов на гидроакустической трубе получены данные, позволяющие судить об акустических свойствах сапропеля и их изменениях при различных параметрах акустического поля, а также при изменении физико-механических свойств самого сапропеля.

Для изменения влажности образец сапропеля разбавлялся дистиллированной водой. Если вес исходного образца сапропеля P_1 , влажность W_u , а плотность r_u , то влажность и плотность полученной суспензии при доливании некоторого количества воды P_2 определяется, соответственно, по следующим формулам:

$$W = \frac{P_1 \times W_u + P_2 \times 100}{P_1 + P_2} \quad (17)$$

$$\rho = \frac{P_1 \times \rho_u + P_2}{P_1 + P_2} \quad (18)$$

Результаты измерений сведены в таблицы 3 и 4.

Таблица 2. Акустические свойства сапропелей по данным лабораторных исследований с помощью аппаратуры ИПА-59 и ДУК-20

Table 2. Acoustic properties of sapropel from laboratory studies using instruments IPA and DUK-59-20

Место отбора пробы	Вид сапропеля	W	A ^c	ρ	V	α					
						f = 100 кГц	f = 80 кГц	f = 40 кГц	f = 25 кГц	f = 15кГц	
Озеро Бельское	Смешанно-водорослевый	98,3	26,2	1,01	1610	15	14	12	10	7	
		96,0	18,3	1,03	1620	40	36	25	19	12	
	Водорослево-глинистый	90,3	40,7	1,08	1600	62	56	38	29	20	
91,1		49,1	1,09	1560	37	33	22	16	11		
Озеро Белое	Водорослево-песчаный	92,3	36,5	1,07	1590	28	25	18	13	9	
		90,8	53,4	1,19	1530	34	30	20	15	10	
		85,3	55,9	1,16	1580	50	46	34	25	19	
Озеро Неро	Песчаный	82,3	71,6	1,23	1600	50	46	33	24	17	
		Глинистый	81,0	66,3	1,21	1100	280	268	200	160	130
			Водорослево-известковый	76,8	44,5	1,23	1430	212	203	160	133
Известковистый	83,0	75,9		1,22	1480	180	160	120	92	62	
Оз. Великое	Водорослево-железистый	86,2	64,8	1,16	1100	370	354	305	268	230	
Оз. Тихмень	Глинистый	87,6	75,8	1,16	1490	90	83	60	45	30	
Оз. Волково	Глинисто-зоогеновый	89,3	62,3	1,09	1540	15	14	13	10	8	

Примечание. A^c – зольность в % к сухому веществу; W – влажность относительная, %; ρ – плотность, гсм⁻³; α – коэффициент поглощения, м⁻¹; V – скорость распространения упругих колебаний, м/сек.

Таблица 3. Изменения коэффициента отражения и поглощения для различных образцов сапропеля в зависимости от влажности и плотности

Table 3. Changes in the reflectance and absorption for different samples sapropel depending on moisture content and density

№ пп	Вид сапропеля	A^c	CaO	pH	W	ρ	K	α
1	Известковистый, оз. Татаровское Владим. обл.	47,1	33,49	8,2	69,0	1,19	0,40	8,5
					75,0	1,15	0,34	5,3
					80,3	1,13	0,32	4,5
2	Глинисто-зоогеновый, оз. Коломенское Тверской обл., глуб. 4–4,5 м	50,1	2,79	5,6	94,1	1,02	0,18	2,5
					95,2	1,01	0,17	6,4
					96,2	1,01	0,14	3,2
3	Песчано-зоогеновый, оз. Ташное Рязанской обл.	52,3	2,40	6,0	87,7	1,25	0,34	5,2
					89,8	1,10	0,31	8,2
					91,3	1,09	0,30	7,7

Примечание. A^c – зольность в % к сухому веществу; CaO – содержание окиси кальция в % к сухому веществу; pH – кислотность; W – влажность относительная, %; ρ – плотность, г/см⁻³; K – коэффициент отражения; α – коэффициент поглощения, м⁻¹.

Таблица 4. Изменения коэффициентов отражения и поглощения в зависимости от частоты заполнения импульса для разных видов сапропеля

Table 4. Changes in reflection and absorption coefficients depending on the filling pulse frequency for different types of sapropel

№ пп	Вид сапропеля	Зольность A^c в % к сухому веществу	Содер. окиси CaO в % к сух. вещест.	Влажность W , %	Плотность ρ	Частота, кГц							
						6,7		7,5		8,5		15	
						K	α	K	α	K	α	K	α
1	Известковистый, оз. Татаровское	47,1	33,49	80	1,13	0,45	6,0	0,52	4,2	0,56	4,0	0,32	4,5
2	Глинисто-зоогеновый, оз. Коломенское Тверской области	50,1	2,79	96	1,01	0,40	4,8	0,47	4,6	0,56	3,2	0,15	3,6
3	Песчано-зоогеновый, оз. Ташное Рязанской обл.	52,3	2,40	91	1,09	0,46	8,4	0,52	7,5	0,54	4,0	0,30	8,4

Примечание. A^c – зольность в % к сухому веществу; CaO – содержание окиси кальция в % к сухому веществу; W – влажность относительная, %; ρ – плотность, г/см⁻³; K – коэффициент отражения; α – коэффициент

Из приведенных данных видно, что коэффициент отражения от образцов сапропеля, как правило, выше расчетного. Это обстоятельство объясняется, во-первых, неравномерным распределением плотности сапропеля по высоте образца, а, во-вторых, присутствием газообразной фазы во всех видах сапропеля в том или ином количестве. Следствием этого является увеличение коэффициента отражения по модулю, хотя знак его будет различным.

Из таблицы 3 следует, что с увеличением влажности сапропелей уменьшается коэффициент отражения звуковой волны, так как акусти-

ческая жесткость или волновое сопротивление сапропеля стремится к акустической жесткости воды, а величина коэффициента отражения от какой-либо границы определяется разностью акустических жесткостей сред по обе стороны от нее (табл. 4). Увеличение влажности предполагает для одного и того же типа сапропеля уменьшение его плотности ρ_c и приближение к плотности воды ρ_b . То же самое можно сказать и о скорости распространения упругих волн.

Таким образом, $\rho_c V_c \rightarrow \rho_b V_b$, что влечет выравнивание акустических жесткостей. Изменение волновой картины при отражении от свободной

поверхности воды и от образца сапропеля приведено на рис. 9, в котором единицей обозначен отраженный от образца импульс.

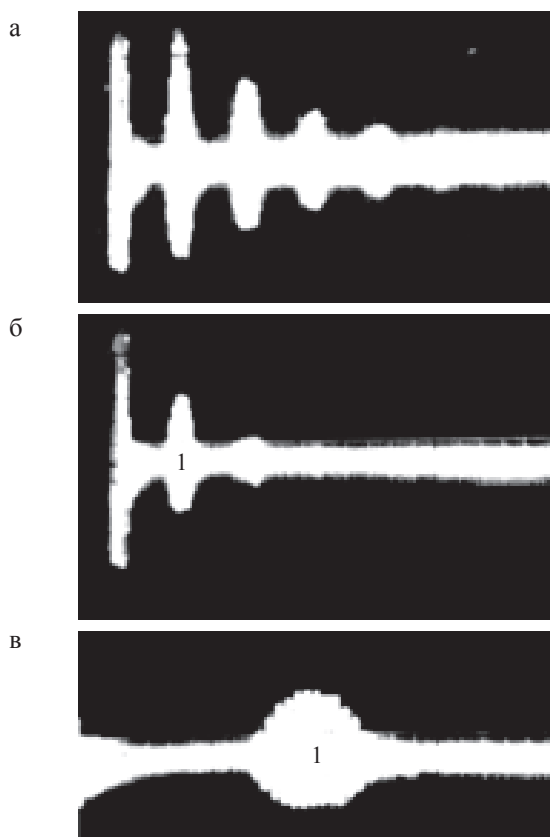


Рис. 9. Изменение волновой картины при отражении от свободной поверхности воды (а) и от образца сапропеля (б) на частоте 15 кГц, первый отраженный импульс от образца сапропеля (в). Метки времени через 0,8 с

Fig. 9. Change the wave pattern in the reflection from the free surface of water (а) and from a sample of sapropel (б) at 15 kHz, the first reflected pulse from the sample sapropel (в). Timestamp after 0.8 seconds

Коэффициент поглощения, как видно из таблицы 3, также изменяется с изменением влажности образца. Для первого образца коэффициент поглощения уменьшается с увеличением влажности. Для второго и третьего образцов наблюдается сначала увеличение коэффициента поглощения при увеличении влажности, а затем его уменьшение, что связано с различием физико-химических свойств сапропелей. При разбавлении суспензии сапропеля водой в ней образуются мельчайшие пузырьки воздуха, которые затем выделяются при отстаивании. Все образцы сапропеля выдерживались одно и то же время. Сила сцепления пузырьков воздуха с частицами сапропелей различных видов неодинаковая. В первом образце время отстаивания было

достаточным для выделения образовавшихся пузырьков воздуха, в связи с этим коэффициент поглощения с увеличением влажности снижается. Для второго и третьего образцов значения сначала повышаются (табл. 3) из-за «загазованности» суспензии, а при дальнейшем увеличении влажности уменьшаются.

Экспериментально установлены зависимости коэффициентов отражения и поглощения от частоты заполнения упругих колебаний в импульсе.

В таблице 4 приведены результаты этих опытов, по которым построены зависимости коэффициентов отражения и поглощения от частоты (рис. 10).

Опытные точки хорошо укладываются на кривые, проходящие через максимум для зависимостей коэффициента отражения и минимум для коэффициента поглощения. Наблюдается явление квазирезонанса на частотах 8–13 кГц для всех исследованных образцов сапропеля. Экспериментальные исследования процессов волнового движения в материалах сопровождаются дисперсионными явлениями, они обуславливаются геометрической формой и размерами волновода и физико-механическими свойствами материала. Основными видами физико-механической дисперсии являются релаксационная, температурная и резонансная.

В основе релаксационной дисперсии лежит процесс установления статистического равновесия системы, который требует определенных затрат времени. Это обусловлено соотношением времени процесса и времени релаксации системы:

$$y = y_0 e^{-t/\tau}, \quad (19)$$

где y и y_0 – начальное и конечное значения релаксирующего показателя (деформация или напряжение); t – время процесса (период колебаний); τ – время релаксации системы.

Время релаксации определяется физико-механическими свойствами и для большинства материалов не является величиной постоянной. Во многих материалах наблюдается спектр времени релаксации.

Аналогичные явления лежат в основе температурной дисперсии, которая обусловлена изменениями условий обмена энергии между областями сжатия и разрежения. Однако результаты температурной дисперсии часто оказываются противоположными релаксационной.

Резонансная дисперсия наблюдается в материалах, которые содержат в себе включения в виде резонаторов, физико-механические свойства которых значительно отличаются от свойств

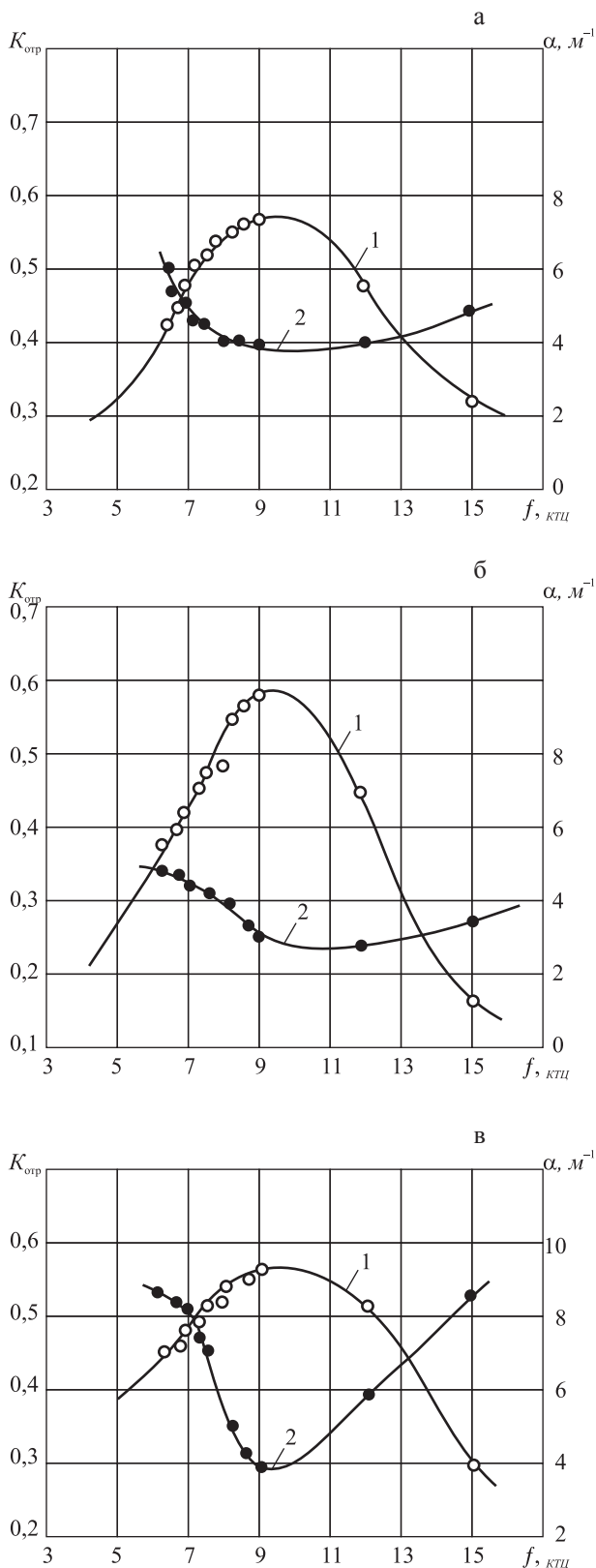


Рис. 10. Зависимости коэффициентов отражения 1 и поглощения 2 от частоты: а – известковый сапропель; б – глинисто-зоогеновый сапропель; в – песчано-зоогеновый

Fig. 10. Dependence of the reflection coefficients 1 and 2 from the absorption frequency: а – calcareous sapropel б – clay zoogenov sapropel, в – sandy zoogenov

окружающей среды. В максимуме такая дисперсия проявляется при совпадении частотной характеристики волн с собственной частотой резонаторов. В реальных материалах резонансная дисперсия может проявляться в широком спектре частот из-за структурных микро- и макронеоднородностей.

Модель сапропеля, как колебательной системы, должна отражать всевозможные комбинации последовательно-параллельного соединения составных элементов, которые моделируют упругие H , вязкие h , инерционные g , пластические x и структурные S свойства, а также сухого трения T .

При малых деформациях и напряжениях вязкостные, пластические свойства и сухое трение проявляются незначительно, поэтому для анализа прохождения упругого импульса через сапропель достаточно рассмотреть элементы модели $(\gamma + H)$. Решению поставленной задачи вполне удовлетворяет дифференциальное рассмотрение работы элементов модели при прохождении через них упругих импульсов. Анализ работы элементов в волновом движении может быть сведен к решению задачи по определению деформации системы $(\gamma + H)$, так как ее изменение во времени отражает форму зондирующего импульса после прохождения через рассматриваемые элементы модели.

Если зондирующий импульс представляет собой отрезок синусоиды, то для случая, когда $t \leq a$, выражение для деформации системы $(\gamma + H)$ имеет вид

$$Y = \frac{P}{\gamma(\omega^2 - \kappa^2)} \times \left(\sin \kappa t - \frac{\kappa}{\omega} \times \sin \omega t \right). \quad (20)$$

Из выражения 20 следует, что при совпадении частоты зондирующего импульса ω с собственной частотой системы κ наступает условие резонанса, что приводит к поглощению волны (нагреву образца).

Собственная частота сапропеля, как колебательной системы:

$$k = \sqrt{\frac{K}{m}}, \quad (21)$$

где K – условная жесткость упругих связей, Нм^{-1} ; m – масса частицы сапропеля, кг.

Размер частицы сапропеля непостоянен даже для одного его вида. Согласно результатам исследований *М.П. Воляровича* и *В.Н. Тропина*, сапропели являются полидисперсными системами, на кривой распределения частиц для сапропелей многих видов по размерам имеется два макси-

мума (рис. 11). Первый максимум располагается в интервале размеров частиц с эффективным радиусом 0,5–2,5 мкм, второй, более выраженный – 25–125 мкм. Форма более 90% частиц высокодисперсных фракций сапропелей округлая и овальная. Плотность скелета сапропеля составляет 1,5–1,6 г/см³. Масса частицы сапропеля основной фракции составляет 1,3 · 10⁻⁸ кг.

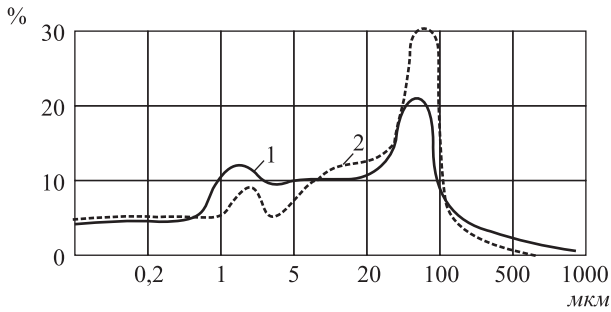


Рис. 11. Кривые распределения частиц сапропеля по размерам: 1 – водорослевый сапропель; 2 – глинисто-известковый сапропель

Fig. 11. Distribution curves of particle size sapropel: 1 – algal sapropel, 2 – clay-calcareous sapropel

Условный коэффициент жесткости связей частиц сапропеля можно определить из соотношения:

$$K = E \cdot S / L, \quad (22)$$

где E – модуль объемной упругости, $H \cdot м^{-2}$; S – эффективное сечение зоны взаимодействия частиц, $м^2$; L – длина образца, $м$.

Частицы сапропеля, как отмечается, имеют форму, близкую к шарообразной, с некоторым эффективным диаметром. Воспользовавшись соотношением теории Герца, силу взаимодействия частиц сапропеля можно определить следующим образом:

$$P = m \times w, \quad (23)$$

где m – масса частицы сапропеля, $кг$; $w = A \times \omega^2$ – ускорение частицы в колебательном движении; ω – циклическая частота колебаний; $A = d U$ – амплитуда колебаний, $м$; d – пьезомодуль материала датчика (для сегнетовой соли 8×10^{-12} м/В); U – напряжение, приложенное к датчику, $U = 300$ В.

Площадь эффективного сечения зоны взаимодействия частиц сапропеля (площадь контакта) составляет

$$S = \pi a^2 = \pi^3 \sqrt{\left(\frac{3m \times A \omega^2 r}{4E_{cm}} \right)^2} = 2,2 \times 10^{-10} (м^2), \quad (24)$$

где a – условный коэффициент жесткости связей, приведенный к длине исследуемого образца, $K = 1,75$ Н/м. Собственная частота колебаний системы, вычисленная по формуле 21, составит 11,6 кГц, то есть того же порядка, при котором отмечается максимум на рис. 10. Это свидетельствует о том, что результаты расчета находятся в согласии с экспериментальными данными, и увеличение коэффициента отражения звуковой волны от образца сапропеля возрастает вследствие резонансной дисперсии скорости распространения упругих колебаний.

Дисперсия скорости может наблюдаться также за счет присутствия в образцах сапропеля воздушных пузырьков, которые способны пульсировать в жидкости с определенной частотой. На резонансной частоте коэффициент поглощения проходит через максимум (рис. 12), а затем быстро уменьшается при отклонении от резонансной частоты.

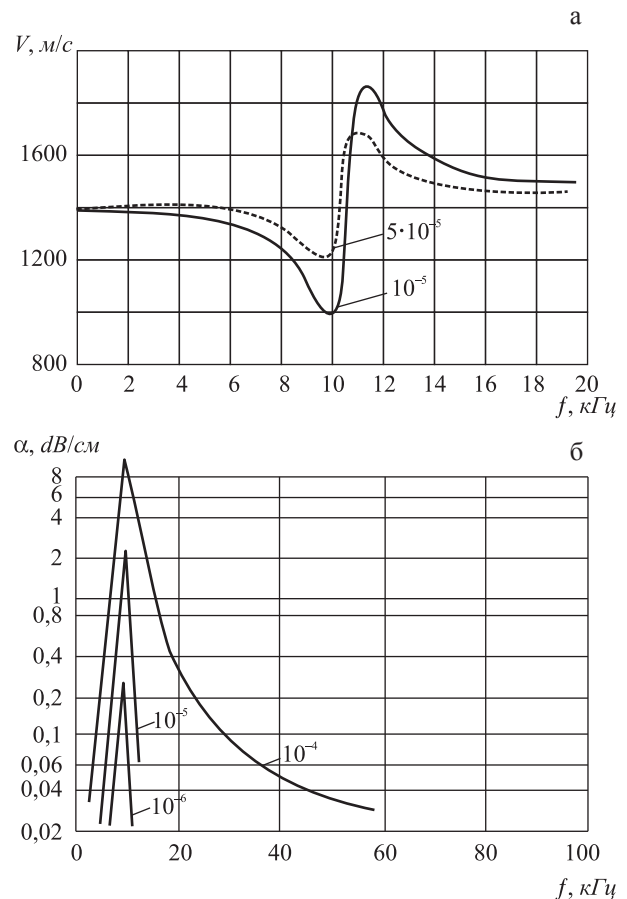


Рис. 12. Зависимость фазовой скорости звука (а) и коэффициента поглощения (б) в воде, содержащей газовые пузырьки с собственной частотой пульсации 10 кГц, от частоты

Fig. 12. The dependence of the phase velocity of the sound (а) and the absorption coefficient (б) in water, containing gas bubbles with a natural frequency of 10 KHz ripple, the frequency

Фазовая скорость звука значительно увеличивается на частотах несколько более резонансных, так как изменения объема пузырьков и звукового давления в них при этих частотах происходят не синфазно. Если давление возрастает, то сжимаемость воды, содержащей пузырьки, уменьшается. При содержании пузырьков различных размеров фазовые скорости звука были 2500 м/с и выше. Полученные зависимости коэффициента отражения от образцов сапропеля и коэффициента поглощения в них колебаний можно объяснить присутствием в них пузырьков воздуха с собственной частотой несколько меньше той, что соответствует максимуму коэффициента отражения.

Таким образом, дисперсия скорости распространения звука в образцах сапропеля и изменение акустических свойств в интервале частот 8–13 кГц вызывается различными физическими причинами, обусловленными непостоянством его физико-механических свойств при воздействии внешних нагрузок.

Некоторые результаты изучения упругих свойств торфа представлены в таблице 5 и на рис. 13.

Для всех исследованных торфов в диапазоне влажностей от 70 до 90% скорость звука аномально мала и составляет 90–120 м/с. Коэффициент поглощения упругих колебаний в торфе

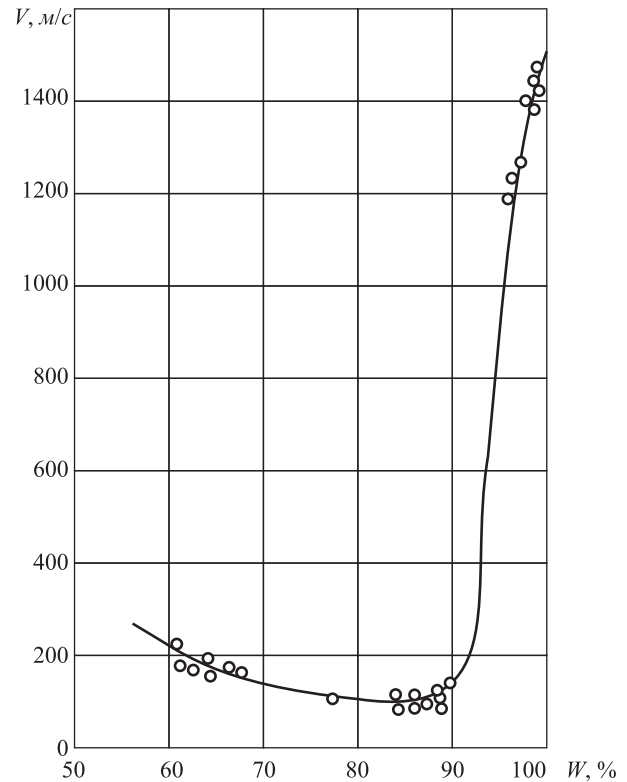


Рис. 13. Зависимость скорости распространения звука в низинном осоковом торфе от его влажности

Fig. 13. Dependence of the velocity of sound in the lowland sedge peat from its humidity

Таблица 5. Изменение фазовой скорости звука в различных видах торфов

Table 5. Changes in the phase velocity of sound in different types of peat

№ пп	Вид торфа	ρ	W	R	A^c	V
1	Древесно-осоковый	0,95	84,3	20	11,48	84
2	Древесно-осоковый	0,98	97,0	20	11,48	1400
3	Древесно-осоковый	1,03	86,3	30	8,91	119
4	Шийхцериевый низинный	1,05	89,6	20	16,09	130
5	Древесно-осоковый	1,00	86,0	35	7,11	83
6	Древесно-осоковый	1,00	95,0	35	7,11	1280
7	Древесный	1,06	85,6	35	11,01	172
8	Осоково-сфагновый переходный	1,02	94,0	15	5,21	1200
9	Древесно-осоковый низинный	1,08	85,0	25	8,72	114
10	Древесно-тростниковый	1,04	62,6	35	12,06	116
11	Древесно-тростниковый	1,04	63,5	35	11,89	123
12	Осоковый	1,02	77,0	25	8,09	99
13	Осоковый	1,03	85,7	30	8,22	121
14	Осоковый	0,99	85,1	30	8,51	85
15	Осоковый	1,00	96,5	30	8,51	1350
16	Древесно-тростниковый	0,98	86,4	35	11,64	100
17	Осоковый	1,02	68,2	35	14,35	137

Примечание. A^c – зольность в % к сухому веществу; R – степень разложения, %; W – влажность относительная, %; ρ – плотность, г/см³; V – скорость распространения упругих колебаний, м/с

намного превышает значения, полученные для сапропеля. При этом определяется прямая зависимость коэффициента поглощения от частоты колебаний. Так, при частоте $f = 80$ кГц значение коэффициента поглощения для различных видов торфа изменяется от 20 до 500 м^{-1} , а на частоте $f = 15$ кГц – от 10 до 150 м^{-1} .

Следует отметить существенное влияние влажности на скорость распространения упругих волн во всех видах торфа. Как видно из табл. 5, скорость звука в торфе при относительной влажности более 90% по своему значению приближается к скорости звука в воде. При уменьшении относительной влажности наблюдается резкое ее снижение (рис. 13). Причем при влажности 70–75% прослеживается минимум скорости распространения звука. Дальнейшее уменьшение относительной влажности торфа приводит к постепенному увеличению скорости упругих волн. Так, в абсолютно сухом веществе торфа скорость звука составляет от 30 до 100% скорости звука во влажном торфе ($W > 90\%$). Главную роль в этом играет такой структурный показатель, как пористость, а также размер пор и степень заполнения их водой.

В общем случае торф можно представить как трехкомпонентную дисперсную систему, состоящую из твердой (скелета), жидкой (воды) и газообразной (воздуха) фаз. При влажности более 90% пустоты между агрегатами твердой фазы (поры) почти полностью заполнены водой. Благодаря несовершенству упругих связей между агрегатами твердой фазы основным «носителем» упругой волны является жидкая фаза. Поэтому скорость звука во влажном торфе мало отличается от скорости звука в воде.

По мере снижения влажности уменьшается и степень заполнения пор водой, что, естественно, приводит к уменьшению скорости звука. При влажности 70–75% основным «носителем» упругой волны становится газообразная фаза, так как связь между агрегатами твердой фазы при этой влажности еще недостаточно жесткая, а поры в значительной степени заполнены воздухом. Размеры пор, заполненных воздухом, соизмеримы с длиной волны в воздухе, что вызывает многократное преломление волны на границах пор. Таким образом, упругая волна проходит как бы большее расстояние, чем базовое между излучателем и приемником упругих колебаний. Поэтому скорость звука в таком образце меньше, чем в воздухе. Это предположение подтверждается также тем, что при указанной влажности наблюдается максимальное поглощение энергии упругих колебаний в торфе.

При влажности менее 70% происходит, с одной стороны, повышение жесткости скелета и, как следствие, рост упругих связей между агрегатами твердой фазы, а с другой – уменьшение размера пор за счет деструкции торфа при формировании образца. Все это вызывает постепенное увеличение скорости распространения упругих волн при дальнейшем уменьшении влажности.

Зависимость скорости распространения продольных упругих волн в образце торфа от температуры приведена на рис. 14.

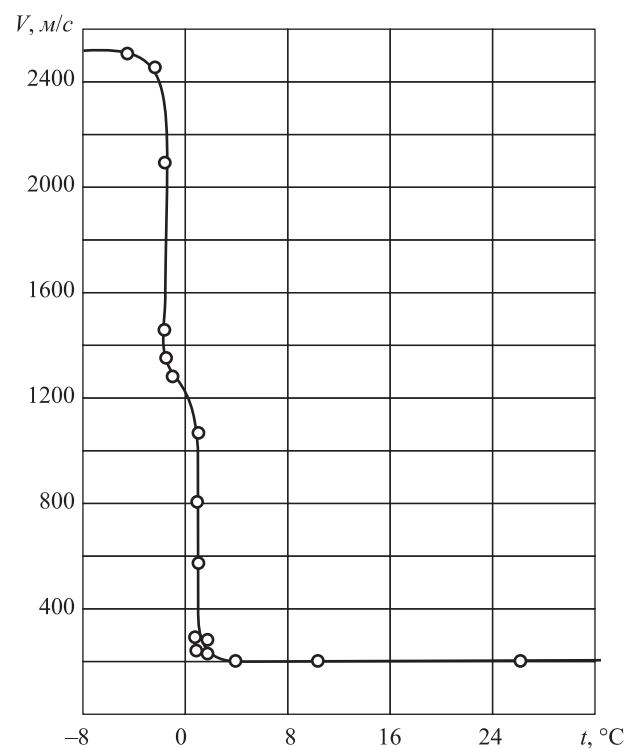


Рис. 14. Зависимость скорости распространения продольных волн в торфе при промерзании от температуры

Fig. 14. Dependence of the velocity of propagation of longitudinal waves in the peat during the freezing temperature

Необходимо отметить, что ввиду направленного промораживания образца сверху вниз температура, определяемая с помощью термопары, помещенной на уровне оси датчиков, несколько отличается от температуры на краях датчиков. У верхнего края температура ниже, у нижнего – выше. На рис. 9 четко выделяются два скачка скорости продольных волн при температурах $+1,5$ и -1 °C. Изменение скорости звука при уменьшении температуры от $+20$ до $+2$ °C незначительно и составляет приблизительно 8%. Это увеличение скорости происходит, по-видимому, за счет постепенного повышения влажности торфа в зоне распространения упругих волн в результа-

те миграции влаги к месту промерзания, то есть снизу вверх.

По мере приближения фронта промерзания к зоне распространения упругих волн влажность в ней достигает 85–90%, чем и обусловлен первый скачок скорости упругих волн, приходящийся на температуру $+1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ в центре зоны распространения упругих волн. Дальнейшее повышение влажности при понижении температуры вызывает плавное увеличение скорости звука. При вступлении фронта промерзания в зону распространения упругих волн наблюдается новый скачок скорости звука, приходящийся на температуру $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ в центре зоны распространения упругих волн. При уменьшении температуры значения скорости звука стабилизируются на величинах 2300–2500 м/с.

Характер изменения скорости звука при направленном равномерном охлаждении образца хорошо иллюстрирует зависимость скорости распространения звука от времени охлаждения (рис. 15).

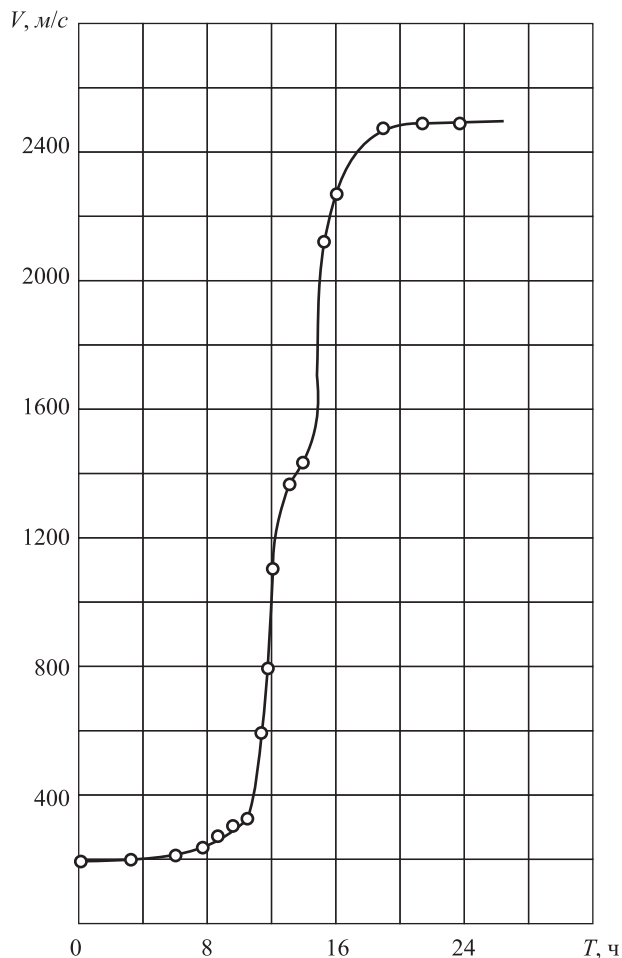


Рис. 15. Зависимость скорости распространения продольных волн в торфе от времени охлаждения

Fig. 15. Dependence of the velocity of propagation of longitudinal waves in the peat from the cooling time

Пока фронт промерзания находится далеко от зоны распространения упругих волн, изменение скорости незначительно. При приближении фронта промерзания влажность увеличивается за счет миграции влаги к месту промерзания. Вначале она достигает значений, существенно влияющих на скорость звука (90%) в верхней части зоны распространения упругих волн. При этом скорость звука возрастает в течение примерно 2,5 часов до 1200–1300 м/с. Затем она увеличивается менее интенсивно до примерно 1500 м/с, что обусловлено, по-видимому, ростом влажности до 90% во всем объеме зоны распространения упругих колебаний.

При достижении фронта промерзания зоны распространения упругих волн наблюдается еще один скачок скорости звука, который продолжается около 4,5 часов. За это время промерзает вся зона распространения упругих колебаний. После этого скорость звука стабилизируется и становится равной 2300–2500 м/с.

Превращение физически и водно-химически связанной воды торфа в лед происходит в 2 этапа. Вначале (в течение 1 ч) формируются крупные кристаллы и прослойки льда в микрополостях в порах торфа. В последующие 3,5 часа происходит образование мелких кристаллов за счет «отжатия» воды из набухших волокон и частиц торфа и миграции ее к кристаллам. Известно, что по мере снижения температуры количество незамерзшей воды уменьшается. При температуре в зоне распространения упругих волн $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ большая часть воды переходит в лед.

Модуль упругости E при промерзании торфа изменяется от $5 \times 10^6\text{ Н/м}^2$ в талом состоянии до $5 \times 10^9\text{ Н/м}^2$ в мерзлом, то есть увеличивается в 1000 раз.

Многочисленными исследованиями показано, что при данной отрицательной температуре определенное количество воды в грунтах находится в незамерзшем (жидком) виде. Это объясняется, прежде всего, взаимодействием ее молекул с поверхностью частиц твердой фазы, проявляющимся в виде адсорбции на поверхности смачивания, капиллярных и других поверхностных эффектов. Количественные характеристики этих видов взаимодействия изменяются в зависимости от отрицательной температуры и вместе с концентрацией растворенных в поровой влаге веществ определяют фазовый состав воды. Следовательно, фазовый состав воды в мерзлых грунтах – это достаточно строгое количественное соотношение между твердой и жидкой фазами воды, возникающее при данных термодинамических условиях.

Фазовый состав воды является важнейшей характеристикой мерзлых грунтов, поэтому

его изучение находится в числе основных вопросов геокриологии. Он определяет физико-механические, тепловые, электрические и другие свойства мерзлых грунтов. Изменение фазового состава при промерзании и оттаивании тесно связано с возникновением и развитием различных криогенных физико-геологических явлений.

Для определения количества незамерзшей воды в мерзлых грунтах применяется главным образом калориметрический метод [5]. Менее широко используются методы, основанные на физико-химических свойствах мерзлых пород: дилатометрический; криоскопический, гигроскопический, растворения. В последнее время все большее применение находят методы, основанные на различии физических свойств влаги в твердой и жидкой фазах. К ним относится ультразвуковой метод, преимуществами которого являются простота, экспрессность, возможность применения в полевых условиях.

Применение ультразвука для определения физического состояния влаги в мерзлых грунтах обусловлено тем, что переход грунтов из талого состояния в мерзлое сопровождается существенным изменением их сейсмоакустических свойств, в частности резким увеличением скорости распространения продольных волн V_p . Характер увеличения V_p при переходе от положительных температур к отрицательным зависит от типа грунта и его влажности. Возрастание скорости продольных волн происходит как за счет замещения воды льдом в порах грунта (т. е. замещения низкоскоростного компонента высокоскоростным), так и за счет цементирующего действия льда. Поскольку для грунта данной пористости и влажности увеличение льдистости равносильно уменьшению количества незамерзшей воды $W_{H.3}$, а изменение льдистости полностью контролируется изменением величины V_p , определить количество незамерзшей воды в каждом конкретном грунте можно по величине скорости продольных волн.

В основе методики определения количества незамерзшей воды лежит использование ряда кривых $V_p = f(W_{H.3})$, относящихся к водонасыщенным грунтам различных типов, наиболее часто встречающимся в природе [6]. При этом эталонные кривые $V_p = f(W_{H.3})$ можно получить исключением температуры t из зависимостей $V_p = f(t)$ и $W_{H.3} = f(t)$, полученной, например, калориметрическим методом хотя бы при двух-трех значениях температуры. Возможность такого подхода к определению количества незамерзшей воды в мерзлом торфе показана на

рис. 16а. Эталонная зависимость (см. рис. 16 б) справедлива до начальной влажности $W_0 = 85-90\%$.

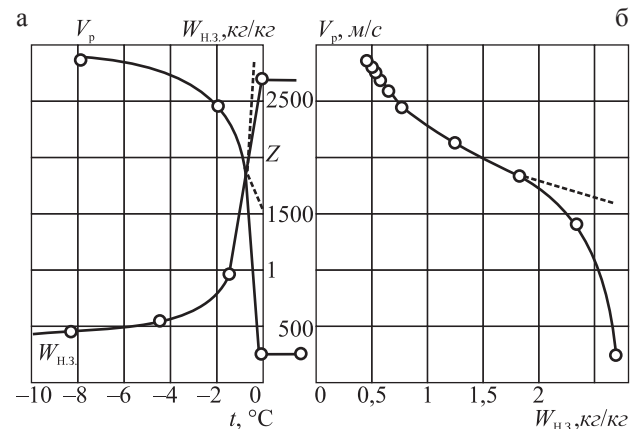


Рис. 16. Зависимость продольной скорости ультразвука V_p от количества незамерзшей воды в низинном торфе: а – температурная зависимость; б – зависимость V_p от $W_{H.3}$

Fig. 16. Dependence of the longitudinal ultrasonic velocity V_p of the amount of unfrozen water in low-lying peat: a – temperature dependence of; b – dependence of V_p on $W_{H.3}$

При больших влажностях значение скорости распространения упругих волн в торфе в талом состоянии увеличивается примерно на порядок. Количество же незамерзшей воды для торфа практически не зависит от начальной влажности. Следовательно, эталонная зависимость скорости ультразвука от количества незамерзшей воды в торфе будет отличаться только в нижней части (в начале промерзания). Эта зависимость представлена пунктирной линией.

Однако практическая реализация такого подхода встречает ряд существенных трудностей. Несмотря на то, что характер кривых $V_p = f(t)$ тесно связан с изменением количества незамерзшей воды, на абсолютные значения скорости V_p существенно влияют плотность грунта, криогенная текстура, трещиноватость и другие факторы, без учета которых трудно рассчитывать на воспроизводимые результаты.

Другой подход заключается в получении ряда кривых $V_p = f(t)$ на образцах одного и того же грунта с различной влажностью и с последующим использованием только одной точки каждой из этих кривых – начала или конца изменения скорости V_p , соответствующих началу или окончанию фазовых переходов воды [7].

В связи с этим принципиальное значение имеют следствия, вытекающие из сопоставления зависимостей между количеством не-

замерзшей воды и температурой $W_{н.з} = f(t)$, с одной стороны, и общим влагосодержанием грунта и температурой фазовых переходов поровой воды в нем $W = f(t_{ф.п})$ – с другой. Физическая идентичность этих двух зависимостей следует из непосредственного их сопоставления. Следовательно, зависимость количества незамерзшей воды от температуры тождественно отражает зависимость температуры оттаивания мерзлых грунтов от исходной влажности, и наоборот. В связи с такой однозначностью зависимость количества незамерзшей влаги от температуры можно определить на основе зависимости температуры фазовых переходов от влажности.

Следует отметить, что из-за переохлаждений, которые в реальных условиях, как правило, всегда предшествуют кристаллизации, а также из-за некоторых других причин температуры заморозания несколько ниже температур оттаивания. Поэтому определение зависимости количества незамерзшей воды целесообразнее проводить по температурам оттаивания мерзлых грунтов.

Образцы замораживали в морозильной камере при температуре 10–12 °С в течение 1–2 сут. Частота измерения продольной скорости V_p и температуры t при оттаивании образца равнялась 1–5 мин. Полное оттаивание образцов в зависимости от их влажности происходило за 2–6 ч. При построении зависимостей $V_p = f(t)$ использовали температуру в центре образца.

На рис. 17а показана зависимость продольной скорости ультразвука в образце торфа влажностью 50% от температуры. Довольно большой наклон кривой при подходе к температуре окончания фазовых переходов свидетельствует о хорошей разрешающей способности ультразвукового метода, причем разрешающая способность увеличивается с увеличением влажности образца. Однако быстротечность процесса фазовых переходов в образце на заключительной его стадии при больших влажностях затрудняет точное определение температуры полного оттаивания образца при использовании дискретного способа наблюдений, при котором частота замеров не превышает 1 мин.

На рис. 17б приведен график зависимости количества незамерзшей воды от температуры в низинном торфе степенью разложения 25%, зольностью 30%.

Для выражения этой зависимости использовали графики $V_p = f(t)$, построенные для образцов различной исходной влажности. Полученные результаты согласуются с данными по определению количества незамерзшей воды в мерзлом

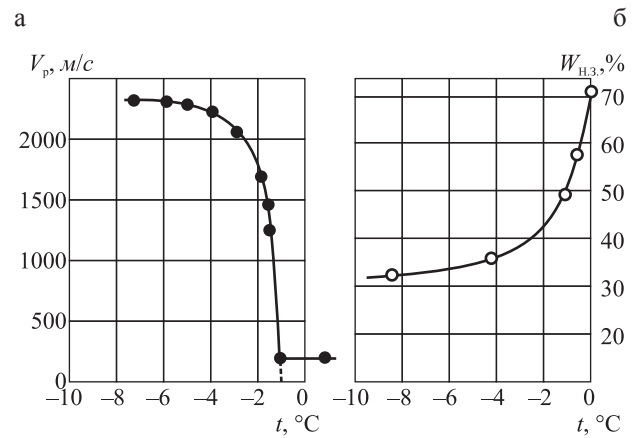


Рис. 17. Зависимости продольной скорости ультразвука в торфе влажностью $W_0 = 50\%$ от температуры (а) и количества незамерзшей воды $W_{н.з}$ в торфе от температуры (б)

Fig. 17. Depending longitudinal velocity ultrasound peat humidity $W_0 = 50\%$ of the temperature (а) and the amount of unfrozen water in the peat $W_{н.з}$ temperature (б)

торфе калориметрическим методом, приведенным в литературе [8].

Таким образом, описанная методика позволяет, довольно просто и с хорошей точностью определять количество незамерзшей воды в мерзлом торфе с помощью ультразвука.

Результаты экспериментов, проведенных с помощью аппаратуры ИПА-59 с датчиками, имеющими резонансную частоту 100 кГц, приведены в таблице 6.

Согласно экспериментам, время распространения упругого импульса плавно изменяется в зависимости от глубины погружения в сапрпель, а при переходе из одной среды в другую изменяется скачкообразно. При переходе из чистой воды в разжиженный слой сапрпеля амплитуда принимаемого сигнала резко уменьшается, но изменения скорости распространения на этой границе практически не наблюдается. При переходе из сапрпеля в водонасыщенный песок всегда имеет место увеличение амплитуды сигнала и уменьшение времени его распространения, то есть увеличение скорости звука. Это свидетельствует о том, что поглощение упругих колебаний в сапрпеле значительно больше, чем в воде, и больше, чем в водонасыщенных песках. Скорость распространения в сапрпеле плавно изменяется с увеличением глубины его залегания, а на границе с подстилающей породой – скачкообразно, что хорошо согласуется с аналогичными исследованиями различных горных пород.

Таблица 6. Акустические свойства сапропелей и подстилающих их пород на озере Мец, полученные с применением аппаратуры ИПА-59

Table 6. Acoustic properties of sapropel and their underlying rocks on the lake Mets obtained using equipment IPA-59

№ пп	h , м	A^c , %	W , %	γ , г/см ³	τ/τ_0	A/A_0	A , мм	V , м/с	α , м ⁻¹	Характеристика среды
ПУНКТ №1										
1	3,00	–	100,0	1,00	1,00	1,00	25	1485	–	Вода
2	3,25	35,0	92,0	1,02	0,98	0,96	24	1510	0,3	Сапропель грубодетритовый торфянистый
3	3,50	49,6	88,3	1,06	0,99	0,92	23	1500	0,8	–“–
4	3,75	45,6	85,2	1,15	0,99	0,84	21	1500	2,0	Торф с песком
5	4,00	57,6	83,8	1,18	0,99	0,84	21	1500	2,0	–“–
6	4,25	63,6	82,6	1,21	0,98	0,68	17	1510	3,0	–“–
7	4,50	71,8	76,2	1,31	0,98	0,60	15	1510	9,0	–“–
8	4,60	95,3	19,4	2,17	0,83	1,04	26	1740	9,0	Супесь
ПУНКТ №2										
9	3,50	–	100,0	1,00	1,00	1,00	25	1485	–	Вода
10	3,75	40,2	91,4	1,08	1,00	0,96	24	1485	12,0	Сапропель глинисто- зоогеновый
11	4,00	42,1	89,0	1,09	1,00	0,92	23	1485	18,0	–“–
12	4,25	45,2	88,5	1,11	0,99	0,36	9	1500	21,0	–“–
13	4,50	48,3	89,5	1,13	0,99	0,40	10	1500	20,0	–“–
14	4,75	47,3	88,8	1,16	0,98	0,44	11	1510	24,2	–“–
15	5,00	61,5	84,2	1,26	0,98	0,44	11	1510	25,2	Глина-сапропель
16	5,25	89,9	68,0	1,48	1,01	0,44	11	1470	23,5	–“–
17	5,50	80,4	73,1	1,40	1,02	0,92	23	1455	8,5	Супесь
18	5,75	96,8	35,5	2,01	0,98	0,96	24	1510	11,7	–“–
19	6,00	98,0	35,5	2,10	0,97	1,00	25	1540	14,0	–“–
ПУНКТ №3										
20	3,25	–	100,0	1,00	1,00	1,00	25	1484	–	Вода
21	3,50	50,4	89,7	1,10	1,02	1,00	25	1460	9,0	Органоминеральный ил
22	3,75	51,7	89,3	1,12	1,04	1,00	25	1430	10,0	–“–
23	4,00	53,5	86,0	1,15	1,04	0,96	24	1430	11,0	–“–
24	4,25	87,4	61,7	1,90	1,06	0,96	24	1410	15,0	Песок с гравием
25	4,50	90,3	49,1	2,20	1,06	1,00	25	1410	15,0	–“–

Полученные результаты можно объяснить, основываясь на представлениях о распространении упругих волн в многофазных дисперсных системах. Сапропель, находящийся под слоем воды, можно рассматривать как двухкомпонентную среду, состоящую из жидкой и твердой фаз. Размеры отдельных частиц сапропеля во взвешенном состоянии изменяются от долей до нескольких сотен микрометров, а концентрация сапропеля в верхнем слое – от 1 до 6%. Сжимаемость скелета агрегатов сапропеля значительно больше, чем воды. С другой стороны, растворение в воде некоторых веществ, находящихся в сапропеле, уменьшает сжимаемость суспензии сапропеля, что

подтверждается увеличением скорости распространения звука в нем. Плотность системы вода-сапропель в верхнем слое изменяется в зависимости от его концентраций от 1,01 до 1,3 г/см³. При распространении акустических колебаний в таких средах наблюдается повышенное поглощение их энергии вследствие рассеяния и более высокой вязкости по сравнению с чистой водой.

В таблице 7 и на рис. 18–21 приведены результаты полевых исследований, проведенных с помощью аппаратуры ДУК-20. Приведены также показатели зависимости коэффициента поглощения от частоты упругих колебаний и от глубины залегания сапропеля (рис. 22–25).

Таблица 7. Результаты полевых исследований акустических свойств сапропеля методом просвечивания

Table 7. Results of field studies of acoustic properties of sapropel by radiographic

Вид сапропеля	Глубина воды h_B , м	Глубина погружения датчиков H , м	А ^с в % к сухому веществу	Влажность W , %	V , м/с при $f = 25$ кГц	Частота, кГц							
						2	3,4	6	12	15	25	40	80
						Коэффициент поглощения, α м ⁻¹							
1. Грубодетритовый торфяной	1,7	3,0 3,5	– –	– –	1500 1520	0,3	0,6	1,0	1,7	2,0	3,4	5,2	6,5
						0,4	0,8	1,3	2,8	3,2	5,7	7,4	8,7
2. Тонкодетритовый, глинисто-зоогеновый	3,7	4,0 4,5 5,5 6,0	38,5	92,1	1470	0,1	0,2	0,4	0,6	0,7	1,4	1,7	1,8
			36,8	91,5	1500	0,3	0,5	0,9	1,7	2,0	3,4	4,3	4,6
			37,0	89,7	1100	3,0	3,7	4,7	6,7	7,3	8,2	9,0	10,0
			37,3	89,1	1550	1,0	2,5	3,8	5,9	6,6	7,8	8,6	9,5
3. Двухслойная залежь; водорослевый, глинисто-зоогеновый	3,0	3,4 4,0 4,5	–	–	1490	0,3	0,5	0,8	1,3	1,4	1,9	2,3	3,0
			–	–	1510	0,4	1,0	1,7	2,8	3,3	4,7	5,8	6,6
			–	–	1520	0,5	1,2	1,9	3,2	4,0	5,6	7,0	8,4
4. Тонкодетритовый зоогеновый	3,8	4,0 4,5 5,0 5,5 6,0	38,3	95,3	1480	0,1	0,15	0,2	0,4	0,6	0,9	1,3	1,6
			36,5	94,6	1500	0,2	0,5	0,9	1,6	1,9	2,8	3,7	5,0
			31,0	93,9	1050	2,0	2,4	4,0	6,2	6,7	7,9	8,7	9,7
			35,4	92,1	1530	0,5	1,4	2,0	3,6	4,3	5,9	7,2	8,6
			44,5	90,0	1600	0,6	1,5	2,5	4,5	5,7	7,5	8,4	9,2

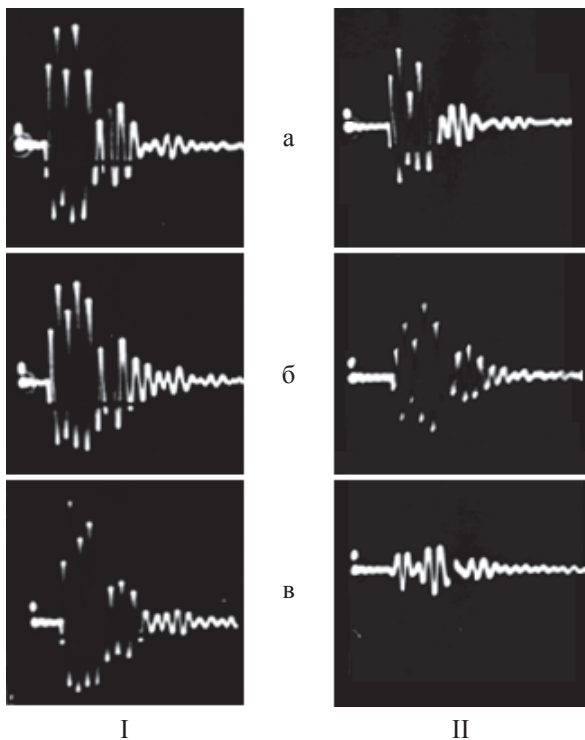


Рис. 18. Изменение амплитуды импульса при погружении датчиков: на а – 1,5 м; б – 2 м; в – 2,5 м ($h_B = 1,7$ м, сапропель грубодетритовый, $f = 25$ кГц) при базах I – 0,2 мм; II – 0,3 мм

Fig. 18. Changing the pulse amplitude immersion sensors: а – 1.5 m, б – 2 m, в – 2.5 m ($H_B = 1.7$ m, roughly sapropel detrital, $f = 25$ kHz) with the bases I – 0.2 mm ; II – 0,3 mm

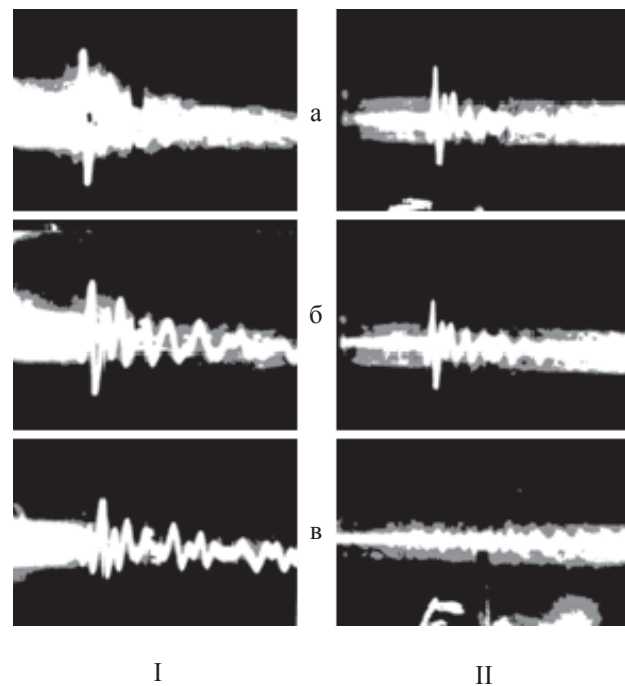


Рис. 19. Изменение амплитуды импульса при погружении датчиков: на а – 3,5 м; б – 4 м; в – 4,5 м ($h_B = 3,7$ м, сапропель глинисто-зоогеновый, $f = 25$ кГц) при базах I – 0,2 мм; II – 0,3 мм

Fig. 19. Changing the pulse amplitude immersion sensors: а – 3.5 m, б – 4 m, в – 4.5 m ($H_B = 3.7$ m, sapropel clay zoogenovy, $f = 25$ kHz) with the bases I – 0.2 mm; II – 0,3 mm

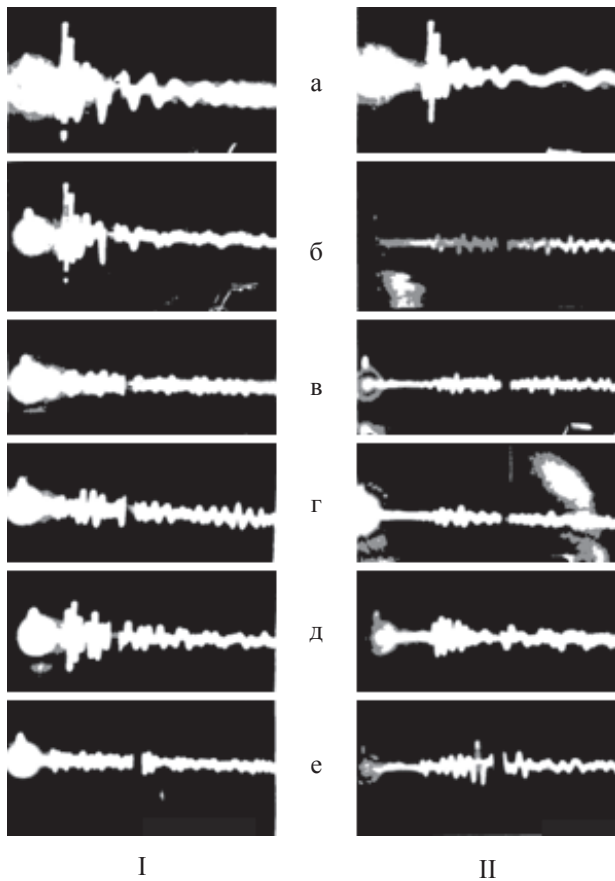


Рис. 20. Изменение амплитуды импульса при погружении датчиков: на а – 3,5 м; б – 4 м; в – 4,5 м; г – 5 м; д – 5,5 м; е – 6 м ($H_b = 3,8$ м, сапрпель тонкодетритовый, $f = 6$ кГц) при базах I – 0,2 мм; II – 0,3 мм

Fig. 20. Changing the pulse amplitude immersion sensors: а – 3.5 m, б – 4 m, в – 4.5 m, г – 5 m, д – 5.5 m, е – 6 m ($H_b = 3.8$ m, sapropel fine detrital, $f = 6$ kHz) at the bases I – 0.2 mm; II – 0.3 mm

При увеличении глубины погружения датчиков в сапрпель (от «а» к «е» рис. 18–21) амплитуда импульса довольно быстро уменьшается. Это свидетельствует о том, что коэффициент поглощения возрастает с увеличением глубины залегания сапрпелевых отложений, и, следовательно, с увеличением плотности и уменьшением влажности сапрпеля. Однако характер изменения коэффициента поглощения по глубине залежи неодинаков в разных местах залегания сапрпеля.

Имеется два типа сапрпелевых отложений, отличающихся по акустическим свойствам. Первый тип залежи – с монотонным изменением коэффициента поглощения и скорости распространения звука по глубине (рис. 18 и рис. 22, 24). Для второго типа залежи характерно скачкообразное изменение акустических свойств при переходе из одного слоя сапрпеля в другой

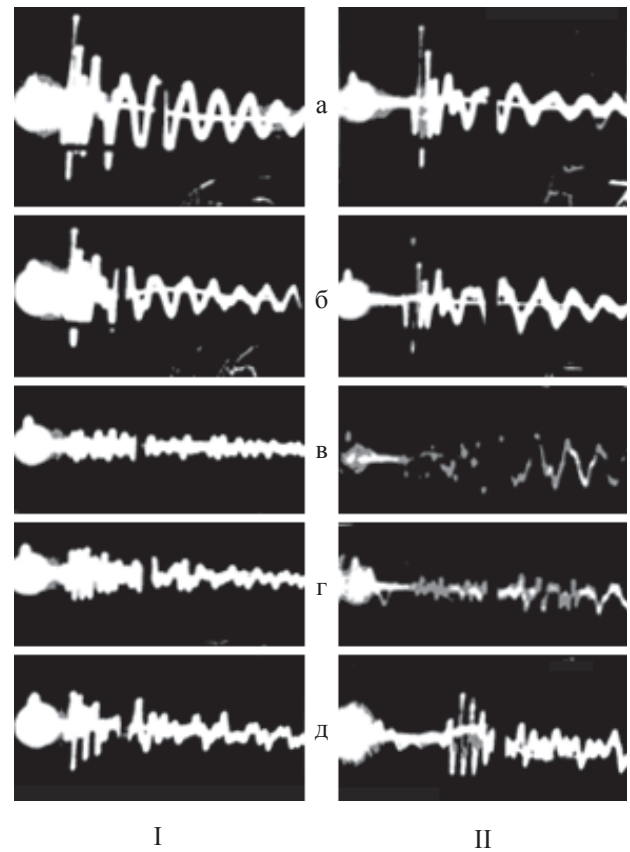


Рис. 21. Изменение амплитуды импульса при погружении датчиков: на а – 3,5 м; б – 4 м; в – 4,5 м; г – 5 м; д – 5,5 м ($H_b = 3,8$ м, сапрпель тонкодетритовый, $f = 12$ кГц) при базах I – 0,2 мм; II – 0,3 мм

Fig. 21. Changing the pulse amplitude immersion sensors: а – 3.5 m, б – 4 m, в – 4.5 m, г – 5 m, д – 5.5 m ($H_b = 3.8$ m, sapropel fine detrital, $f = 12$ kHz) at the bases I – 0.2 mm; II – 0.3 mm

(рис. 20 и рис. 23, 25). Такие значительные изменения акустических свойств внутри залежи можно объяснить повышенной загазованностью отдельных слоев, которая является следствием различной биохимической активности слоев сапрпеля. Полученные результаты позволяют проследить зависимость коэффициента поглощения звуковой энергии в сапрпеле от частоты заполнения упругого импульса. На рис. 22а–25а показаны такие зависимости для сапрпелей озера Мец Тверской области. Наклон кривых к оси абсцисс увеличивается во всех случаях с ростом частоты от 2 до 80 кГц.

Изменение коэффициента поглощения по глубине залежи сапрпеля близко к линейной зависимости (рис. 22б и 24б) для залежи первого типа. При наличии загазованных слоев в сапрпеле график зависимости коэффициента поглощения от глубины представляет собой ломаную

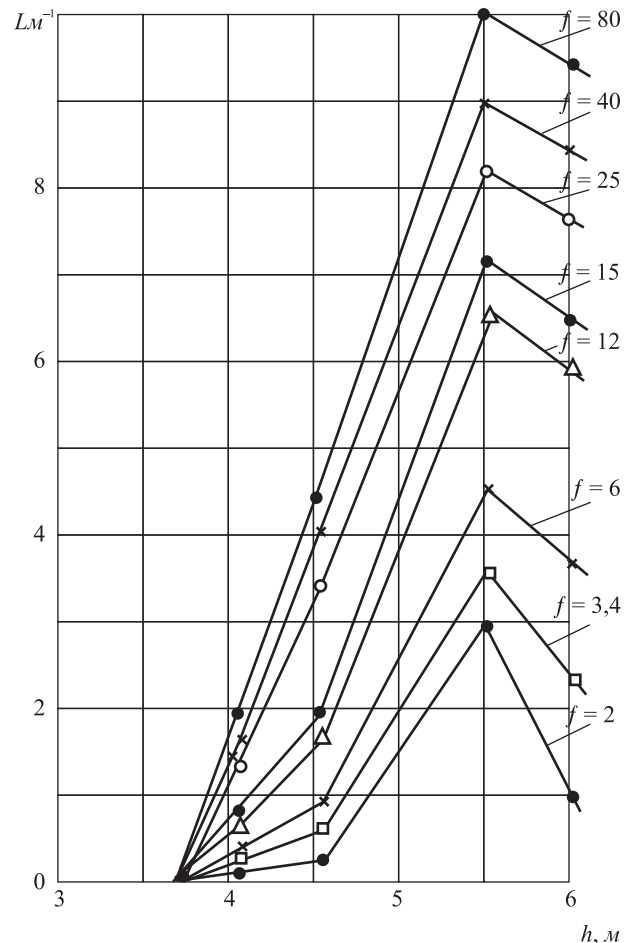
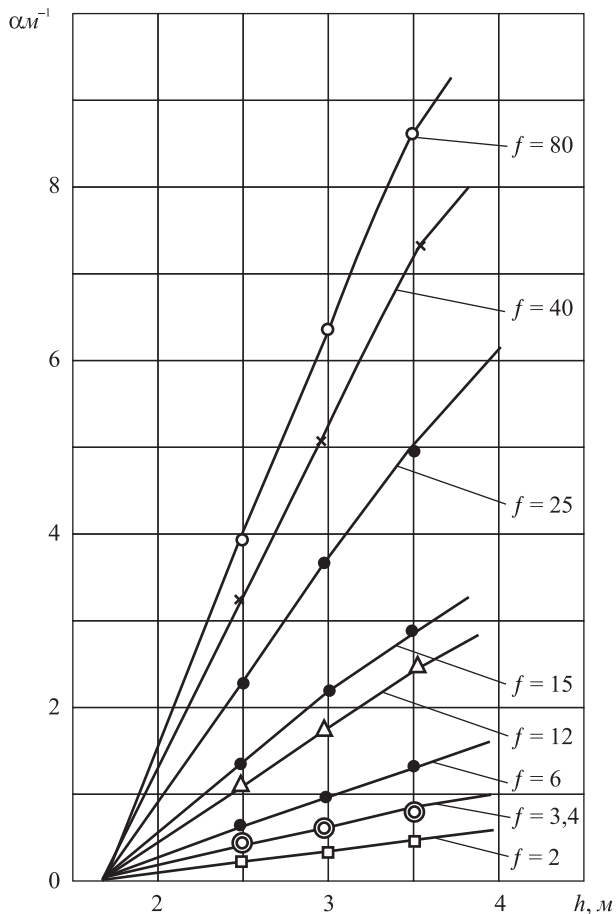
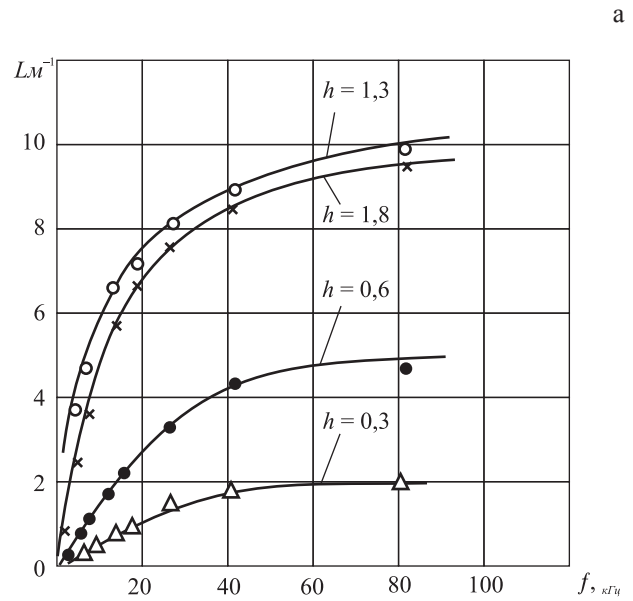
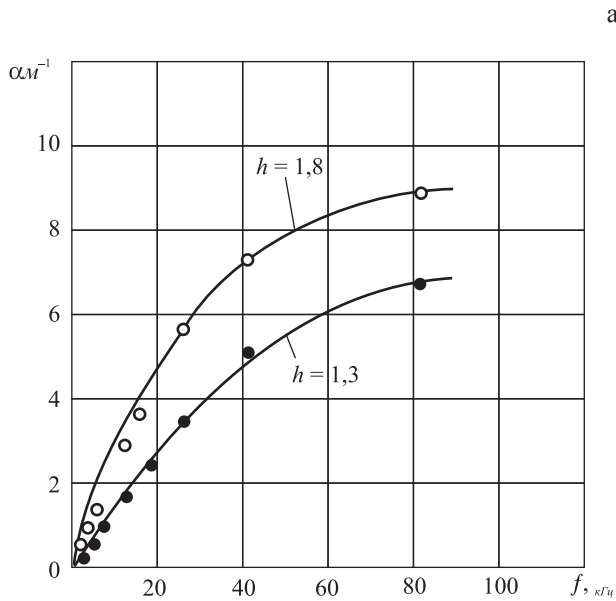


Рис. 22. Зависимости поглощения в сапропеле от частоты (а) и от глубины залежи (б) (глубина воды $h_b = 1,7$ м; сапропель грубодетритовый, торфянистый)

Fig. 22. Dependence of the absorption in sapropel on the frequency (a) and the depth of the reservoir (б) (water depth $h_b = 1.7$ m; sapropel roughly detrital, peat)

Рис. 23. Зависимости поглощения в сапропеле от частоты (а) и от глубины залежи (б) (глубина воды $h_b = 3,7$ м; сапропель глинисто-зоогеновый)

Fig. 23. Dependence of the absorption in sapropel on the frequency (a) and the depth of the reservoir (б) (water depth $h_b = 3.7$ m; sapropel clay zoogenovy)

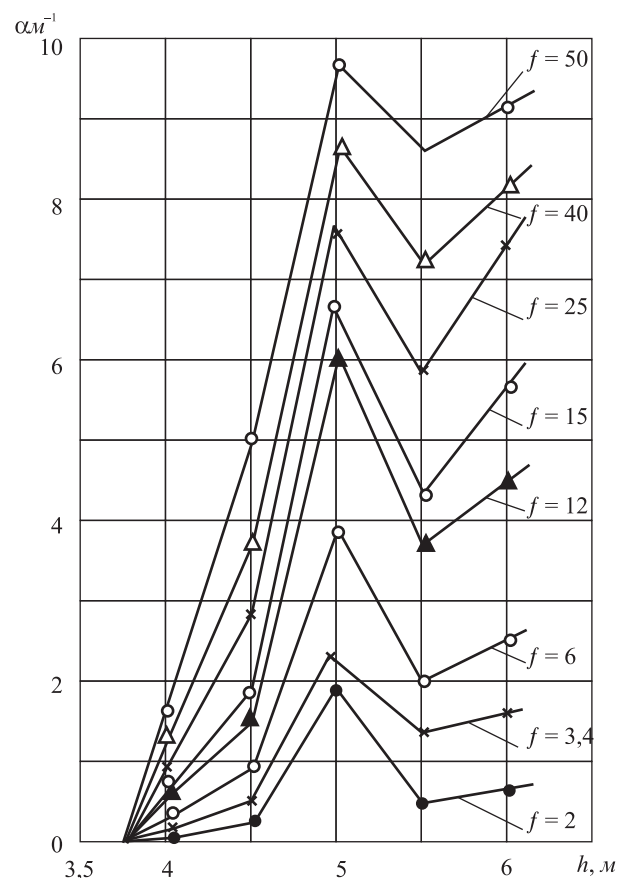
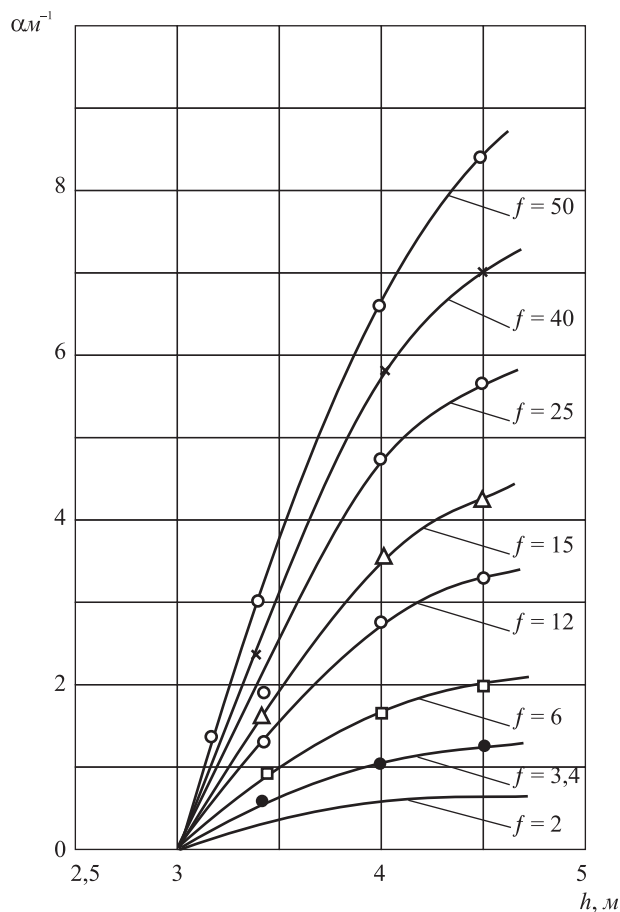
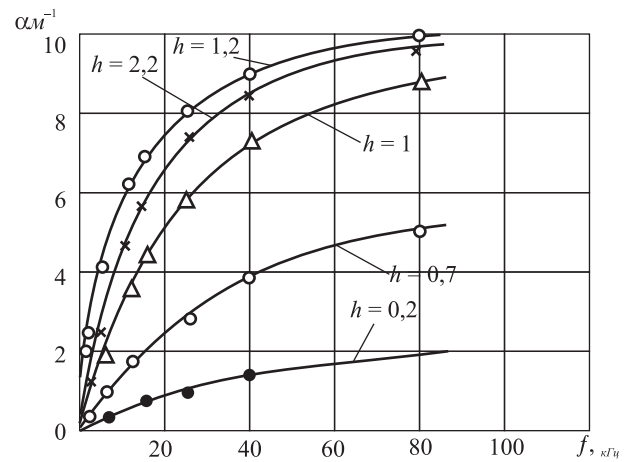
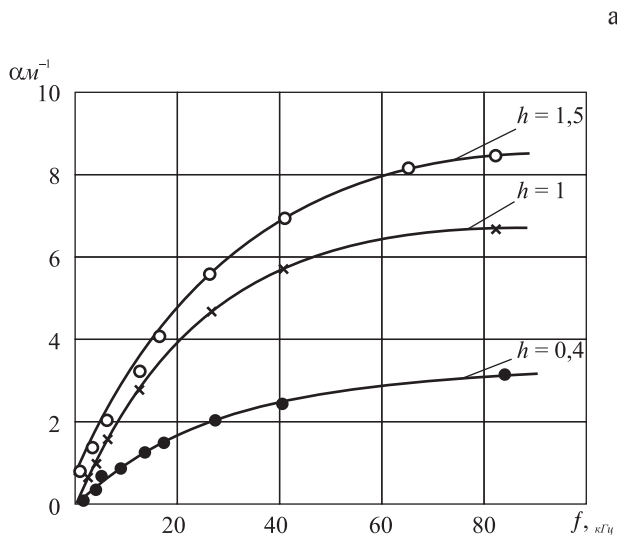


Рис. 24. Зависимость коэффициента поглощения в сапротеле от частоты (а) и от глубины залежи (б) (глубина воды $h_b = 3$ м; сапротель водорослевый $h_{c1} = 1$ м; глинисто-зоогеновый)

Fig. 24. Dependence of the absorption coefficient in the sapropel of frequency (a) and the depth of the reservoir (б) (water depth $h_b = 3$ m; algal sapropel $h_{c1} = 1$ m clay zoogenovy)

Рис. 25. Зависимости коэффициента поглощения в сапротеле от частоты (а) и от глубины залежи (б) (глубина воды $h_b = 3,8$ м; сапротель тонкодетритовый, зоогеновый)

Fig. 25. Absorption coefficient in sapropel frequency (a) and the depth of the reservoir (б) (water depth $h_b = 3.8$ m; sapropel fine detrital, zoogenovy)

линию с пиком в месте максимальной загазованности (рис. 23б и 25б). В этих случаях значительно уменьшается также скорость распространения упругих волн (табл. 7), поэтому границы слоев с разной загазованностью являются также и скоростными границами, а это свидетельствует о большом внутризалежном отражении упругих волн при их вертикальном распространении.

Графики на рис. 22б–25б дают наглядное представление об изменении поглощения по глубине на разных частотах. При частоте заполнения импульса 2 кГц коэффициент поглощения не превышает 3 м^{-1} даже в сильно загазованных слоях, а для первого типа залежи с монотонным изменением акустических свойств он меньше единицы при толщине слоя сапропеля до трех метров. Тогда как на частоте 15 кГц коэффициент поглощения достигает значений $4\text{--}4,5 \text{ м}^{-1}$, а в загазованных слоях увеличивается до $6\text{--}7 \text{ м}^{-1}$. Таким образом, залежь сапропеля имеет избирательное поглощение; сильнее ослабляются высокочастотные колебания. Эти результаты хорошо согласуются с данными других исследователей.

Механизм поглощения энергии упругих колебаний в реальных средах изучен еще недостаточно полно. Предложены различные теории, объясняющие поглощение и рассеяние упругой энергии при прохождении акустических колебаний через различные горные породы. Основными из них являются теория упругого последствия и теория вязкого трения. Анализ теоретических и экспериментальных исследований позволяет установить, что коэффициент поглощения всегда является монотонно возрастающей функцией частоты

$$\alpha = C \cdot f^n, \quad (25)$$

где C и n – коэффициенты, характерные для исследуемой горной породы.

На основании полученных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для сапропеля методом средних установлено, что коэффициенты C и n не являются постоянными и зависят от глубины залегания сапропеля. Их значения при монотонном изменении акустических свойств по глубине приведены в таблице 8. Начиная с глубины 1,5–1,8 метра коэффициенты C и n близки к 0,5. Если не считать верхний слой сапропеля (пелоген), зависимость коэффициента поглощения от частоты в диапазоне от 2 до 100 кГц имеет вид:

$$\alpha = 0,5\sqrt{f}. \quad (26)$$

Табл. 8. Значения коэффициентов C и n Tab. 8. Values of C and n

№ пп	Толщина слоя сапропеля, м	C	n
1	0,3	0,053	0,945
2	0,8	0,338	0,654
3	1,1	0,493	0,618
4	1,8	0,500	0,510
5	2,3	0,500	0,500

В результате проведенных исследований выяснено, что акустические свойства сапропеля изменяются как по глубине, так и в различных местах залегания. При полевых исследованиях не получили четкого подтверждения дисперсионные явления, отмеченные в лабораторных экспериментах на гидроакустической трубе. Это связано с разными условиями изучения акустических свойств сапропеля в том и другом случаях. Приготовление образца для исследований в гидроакустической трубе связано с нарушением структурных связей сапропеля, при этом его частицы, взвешенные в воде вместе с пузырьками воздуха приблизительно одинаковых размеров, представляют собой колебательную систему, обладающую собственной частотой, которая зависит от длины образца.

В полевых условиях датчики параллельно друг другу помещались в залежи сапропеля. В этом случае сильнее проявляются структурные связи, больше вязкость, к тому же размеры пузырьков нерастворенного газа имеют, как правило, широкие пределы изменения. Однако при проведении звуколокационных съемок отмечались значительные изменения коэффициента отражения от границы вода–сапропель.

Сравнение результатов, полученных с помощью «прозвучивания» сапропеля и зонда акустического каротажа при расстоянии между датчиками в нем до 0,2 м, не обнаружило существенного различия акустических свойств в горизонтальном и вертикальном направлениях. О наличии анизотропии можно предположить по слоистой текстуре сапропелевых отложений, однако изменения акустических свойств по разным направлениям, очевидно, малы и лежат в пределах ошибки применяемой методики измерений.

Частотные зависимости коэффициента поглощения позволяют выбрать оптимальную спектральную плотность зондирующего импульса при разработке звуколокационной аппаратуры.

Библиографический список

1. Исследование акустических свойств сапропелевых отложений // Аппаратурные и методические разработки в геофизике / М.П. Воларович, А.И. Яценко, Г.Н. Иванов. Киев: Наукова думка, 1975. С. 24–33.
2. Геофизические методы изучения торфа, сапропелей и их месторождений / Н.И. Гамаюнов, В.И. Косов, Г.Н. Иванов. Монография. Тверь: ТГТУ, 2002. 156 с.
3. Определение количества незамерзшей воды в мерзлом торфе с помощью ультразвука / Н.И. Гамаюнов, Г.Н. Иванов, Д.М. Стотланд, И.Б. Товбин. М.: Торфяная промышленность. 1986. № 1. С. 25–27.
4. *Яценко А.И., Иванов Г.Н.* Изучение скоростей распространения ультразвуковых колебаний и их поглощения в сапропелях // Разработка торфяных месторождений. Вып. XVIII (XIII). М.: Недра, 1975. С. 73–76.
5. *Цытович Н.А.* Механика мерзлых грунтов. М.: Высшая школа, 1973, 445 с.
6. *Фролов А.Д.* Электрические и другие свойства криогенных пород. М.: Недра, 1976. 254 с.
7. Новые методы исследования состава, строения и свойств мерзлых грунтов / Под ред. С.Е. Гречищева, Э.Д. Ершова. М.: Недра, 1983. 140 с.
8. *Лиштван И.И., Бровка Г.Н., Давидовский П.Н.* Исследование фазового состава воды в торфе калориметрическим методом / И.И. Лиштван, Г.П. Бровка, П.Н. Давидовский // Инженерная геология. – 1985. – № 4. – С. 114–119.

УДК 532.71

Гамаюнов Н.И.

Гамаюнов Николай Иванович, д. т. н., проф. каф. общей физики 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

НОВАЯ ТРАКТОВКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Аннотация. Предложена новая трактовка известных экспериментов, которые ранее объясняли наличием поверхностного натяжения на границе жидкость–среда. В статье приведена их интерпретация на основе осмотических явлений.

Ключевые слова: поверхностные явления, осмотический массоперенос

Gamayunov N.I.

Gamayunov Nikolai I., Dr. Sc., Prof. of Chair General Physics Tver State Technical University (TvGTU), 170026, Tver, Emb. Af. Nikitin, 22.

Gamayunov S.N.

Gamayunov Sergey N., Dr. Sc., Prof. Department peat machines and equipment TvGTU

A NEW INTERPRETATION OF SURFACE PHENOMENA

Abstract. A new interpretation of the famous experiments that have previously explained the presence of surface tension at the liquid-medium. The article contains their interpretation on the basis of osmotic phenomena.

Keywords: surface phenomena, osmotic mass transfer

Согласно [1] массоперенос в открытых системах – пористых и дисперсных материалах – вызывается градиентами осмотических давлений. Поверхностное натяжение в реальной парогазовой среде (атмосфере) отсутствует, так как возникает адсорбция паров жидкости и газов на ее поверхности. Осмотическое давление не равно нулю только на границе несмешивающихся конденсированных сред, имеющих разные энергии межмолекулярного взаимодействия внутри и между средами.

Истечение жидкости из узкой цилиндрической вертикальной трубки происходит под воздействием силы тяжести P . Молекулы жидкости в трубке совершают активационные скачки. Стенки трубки ограничивают их перемещение в направлении, поперечном потоку жидкости. После выхода потока из трубки в газовую среду молекулы жидкости совершают скачки во всех направлениях. Под воздействием внешнего давления газа образуется сферическая капля. Жидкость в капле малой массы m в воздухе перемещается быстрее, чем в трубке. Возникает снижение сечения потока – «перешеек». Капля отрывается от трубки, когда сила тяжести ее становится больше суммы межмолекулярных сил в сечении перешейка. Уменьшения сечений возникают в любых твердых телах и жидкостях при растяжении внешней силой.

Рассмотрим растекание сферической капли воды радиуса r_0 и начального объема $V = (4/3)\pi r_0^3$. Она растекается по гидрофильной поверхности стекла, на которой находятся гидроксильные группы. На этих группах адсорбируются молекулы воды и взаимодействуют с ними через водородные (H) связи.

В течение определенного времени сферическая капля приобретает вид шарового сегмента высотой $AB = h$.

Радиус его основания $AC = AD = r$.

Сегмент составляет часть сферы радиуса R (рис. 1).

Процесс растекания при контакте с окружающими телами и средой для открытой системы – неравновесный. Капля может получать и отдавать энергию и вещество в эту среду.

Пары воды перед фронтом перемещения капли на поверхности подложки вытесняют адсорбированные молекулы газов (кислорода, азота и др.). Это возможно, так как энергия связи молекул полярной жидкости с гидрофильной подложкой за счет H -связей больше, чем адсорбированных молекул газов.

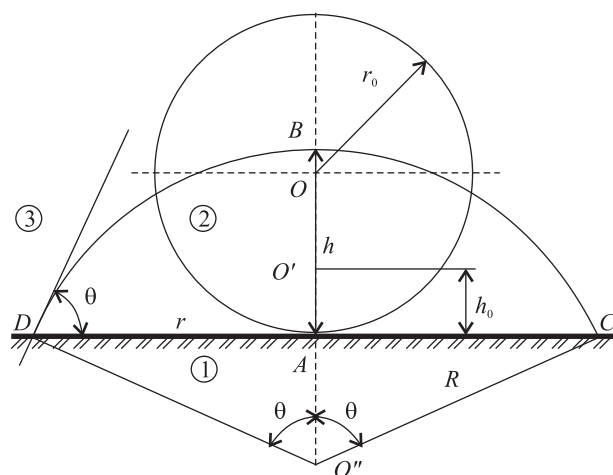


Рис. 1. Растекание капли начального радиуса r_0 по твердой гидрофильной поверхности: 1, 2, 3 – соответственно твердая подложка, жидкость и газовая среда

Fig. 1. Spreading droplets of initial radius r_0 on solid hydrophilic surface: 1, 2, 3 – respectively, the solid support, fluid and gas environment

В результате возникает источник тепла $W_1 = \sigma_{13} S_1'$. Площадь S_1' при больших значениях r приблизительно равна площади основания сегмента $S_1 = \pi r^2$.

С первым адсорбированным слоем молекул воды взаимодействуют через H -связи последующие молекулы, поступающие из парогазовой среды и мигрирующей жидкости. Адсорбированный слой служит «площадкой», на которой образуется толстая пленка. Миграция молекул в толстой пленке приводит к растеканию капли по подложке. Вытеснение газа и образование толстой пленки перед фронтом растекающейся капли происходят в течение всего времени ее перемещения по гидрофильной поверхности.

В процессе растекания капли возрастает поверхность на границе жидкости и парогазовой среды: $\Delta S' = S' - S_0$. Для создания новой поверхности необходимы работа разрыва межмолекулярных связей внутри объема жидкости и перенос молекул на образующуюся поверхность: $A_1 = \sigma_{23} \Delta S' \approx s_{23} \pi r^2$. На поверхности растекающейся пленки жидкости происходит адсорбция ее паров. Поэтому поверхностное натяжение равно нулю.

В начальный период растекания капли перенос жидкости и образование новой поверхности жидкость–газ происходит при снижении центра масс капли от r_0 до h_0 (рис. 1).

При этом уменьшается потенциальная энергия $W_2 = (4/3)\pi r_1 g r_0^3 (r_0 - h_0)$.

В последующий период времени растекание капли в радиальном направлении происходит из-за неравномерной по толщине пленки жидкости. Причиной переноса является адсорбция молекул воды на гидрофильной поверхности твердого тела (подложке) и образование градиентов осмотического давления [1]. Капля воды на гидрофобной поверхности не растекается, так как не происходит вытеснение парами воды адсорбированных на поверхности молекул газов.

Поместим гидрофильный (кварцевый, стеклянный) капилляр в сосуд с водой, перпендикулярно ее поверхности. Верхняя часть капилляра контактирует с парогазовой средой. Над столбом жидкости внутри капилляра возникает неравномерное распределение парциального давления пара. У устья капилляра оно равно парциальному давлению пара в парогазовой среде p , а над поверхностью столба воды приближается к давлению насыщенного пара p_s .

В связи с этим происходит адсорбция паров воды на внутренней поверхности гидрофильного капилляра.

Молекулы воды, как отмечалось, преимущественно адсорбируются на гидроксильных группах внутренней поверхности стеклянного капилляра. Молекулы воды могут иметь четыре Н-связи. «Вакантные» Н-связи заполняются молекулами воды. На них сорбируются последующие молекулы воды. В результате вокруг полярных групп – центров конденсации образуются ассоциаты («гроздь») молекул воды. Последние также взаимодействуют между собой через водородные связи.

Это приводит к постепенному заполнению внутренней поверхности капилляра молекулами воды. Они вытесняют молекулы ранее адсорбированного газа.

На образовавшийся начальный слой из молекул воды конденсируются последующие молекулы H_2O . Возникает толстая пленка. Ее толщина на любом участке ее длины зависит от парциального давления пара над этим участком. Процесс образования пленки из парогазовой среды происходит в открытой системе. Пленка обменивается энергией и веществом с контактирующей парогазовой средой и твердым телом.

Количество молекул в толстой пленке уменьшается по мере снижения ее толщины. Возникают градиенты парциального давления пара, а также градиенты осмотического давления, вызывающие перенос пара и жидкости в толстой пленке к устью капилляра.

С поверхности пленки происходит испарение молекул жидкости. Убыль воды компенсируется

ее притоком из столба жидкости в капилляре. Так как поток жидкости неразрывный, то возникает осмотический ее перенос в капилляре за счет поступления ее из внешнего объема жидкости.

Если жидкость в капилляр из внешнего объема не поступает, то в процессе испарения наблюдается снижение высоты столба жидкости в капилляре и влагосодержания в пористом теле.

На границе столба жидкости и парогазовой среды при наличии толстых пленок образуется мениск. Из-за отсутствия поверхностного натяжения мениск не может вызвать массоперенос в капилляре. Причиной массопереноса являются градиенты осмотического давления. Их величина зависит от степени смачивания гидрофильной жидкостью поверхности твердого тела $\beta \leq 1$.

Для идеальной гидрофильной поверхности $\beta = 1$, для реальной поверхности, имеющей гидрофильные и гидрофобные участки, значение $\beta < 1$ из-за снижения количества адсорбированной жидкости. Коэффициент $\beta = h/h_0$ можно находить экспериментально, определяя отношения поднятия столба жидкости в эталонном гидрофильном h_0 и реальном капилляре $h < h_0$.

В вертикальном капилляре перенос жидкости вверх на высоту h прекратится, если осмотическое давление станет равным гидростатическому $p_c = \rho_1 g h$, где ρ_1 – плотность жидкости, kg/m^3 ; g – ускорение свободного падения, m/c^2 . Таким образом, капиллярный перенос жидкости является частным случаем осмотического массопереноса.

Взаимодействие молекул воды и газов с гидрофобной поверхностью из-за отсутствия полярных активных центров происходит за счет обычных молекулярных сил. Так как число молекул газов в атмосфере существенно больше, чем водяного пара, то вытеснения молекул газов с гидрофобной поверхности твердого тела не происходит, пленки воды не образуются и не наблюдается растекание капли воды по гидрофобной поверхности.

Поместим гидрофобный капилляр перпендикулярно поверхности воды в сосуде на небольшую глубину h_0 . Из-за адсорбированных газов перенос воды в узкий гидрофобный капилляр под воздействием малого гидростатического давления $p_r = \rho_1 g h_0$ незначителен. Пары воды поступают в капилляр. При высокой их концентрации внутри нижнего конца капилляра происходит вытеснение адсорбированных молекул газа и адсорбция молекул пара. Количество адсорбированных молекул воды в гидрофобном капилляре и соответственно осмотическое давление существенно меньше, чем в гидрофильном.

Поэтому всасывание молекул воды происходит на максимальную высоту $h < h_0$. На границе

столб воды – парогазовая среда внутри гидрофобного капилляра возникает выпуклой мениск, так как скорость переноса жидкости по оси капилляра больше, чем у поверхности.

Вода в ванне Лэнгмюра–Адама [2] разделена на две части подвижным барьером. Правая половина ее контактирует с парогазой средой и не имеет поверхностного натяжения. Левая половина покрывается мономолекулярным слоем насыщенных жирных (в частности, лауриновой $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) кислот, которые практически не растворяются в воде.

Основная часть таких молекул (за исключением карбоксильных групп) гидрофобная. Между карбоксильными группами и молекулами воды возникают Н-связи. Гидрофобный слой макромолекул препятствует молекулам воды взаимодействовать с парогазовой средой. Между контактирующим поверхностным слоем воды и гидрофобными радикалами в монослое жирных кислот возникают межмолекулярные силы Ван-дер-Ваальса.

В связи с этим поверхностный слой воды остается «неуравновешенным» и его поверхностное натяжение не равно нулю.

Поверхностные молекулы воды в левой половине ванны имеют меньшее число межмолекулярных Н-связей, чем в объеме жидкости. Поэтому число их переходов за счет флуктуаций в пар больше, чем внутри жидкости. Часть из них адсорбируется на молекулах жирных кислот. Возникает осмотическое давление. Оно воздействует на объемную жидкость, мономолекулярный слой жирных кислот и подвижный барьер.

Последний перемещается в направлении половины ванны с чистой жидкостью, не имеющей поверхностного натяжения. С уменьшением концентрации жирных кислот в гидрофобном слое возрастает перенос молекул пара через макромолекулярное «сито» в парогазовую среду и соответственно снижается давление пара на контактирующие тела.

Давление и поток молекул пара через сетку макромолекул способствует разрыву связей между ними и ориентации их перпендикулярно поверхности жидкости. Остаются контакты макромолекул жирных кислот с поверхностью воды за счет водородных связей карбоксильных групп с молекулами H_2O .

В дальнейшем под влиянием теплового движения, конформаций звеньев макромолекул происходит образование глобул и ассоциатов. Мономолекулярный слой жирных кислот разрушается, а осмотическое давление – снижается. Чем больше линейный размер молекул жирных кислот (например, пальмитиновой $\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOH}$),

тем меньше их количество в мономолекулярном слое, а также число Н-связей макромолекул с поверхностными молекулами воды. В связи с этим более интенсивно происходят процессы разрушения монослоя макромолекул [2, с. 475].

Для получения мыльной пленки проволочную рамку с подвижной перекладиной [3, с. 324] помещают в мыльный раствор. Рамка покрывается мыльной пленкой.

Мыло состоит из натриевых солей жирных кислот R-COONa (в частности, пальмитиновой, стеариновой и ненасыщенной олеиновой). При взаимодействии с молекулами воды возникает обмен ионов натрия на ионы водорода. Образуются жирные кислоты с карбоксильными группами $-\text{COOH}$. Последние взаимодействуют через Н-связи с молекулами воды, а ионы Na^+ с находящимися в ней гидроксильными OH^- . Образуется щелочной раствор. Между макромолекулами и рамкой возникают когезионные контакты, которые обеспечивают связь мыльной пленки с рамкой.

Гидрофобные радикалы R макромолекул жирных кислот вытесняются молекулами воды из объема на ее поверхность. При этом возникает отдельно водная пленка с ионами Na^+ , а на ее поверхности – слой из макромолекул жирных кислот, которые образуют Н-связи с поверхностными молекулами воды. Пленка воды в этом случае находится в сетке из макромолекул.

Линейные полимеры стремятся свернуться в клубки. Это является одной из причин уменьшения размеров внешней сетки макромолекул.

Контактирующие с гидрофобными радикалами макромолекул жирных кислот молекулы воды «не уравновешены». Происходит сорбция молекул H_2O на макромолекулах. Возникает малое по величине поверхностное натяжение в контактном слое воды с макромолекулами и осмотическое давление. Через поры макромолекулярной сетки происходит испарение воды в парогазовую среду.

Под воздействием внешнего барометрического и осмотического давлений пленка воды стремится принять форму шара, но этому препятствует сила тяжести и внешняя сетка из макромолекул. Пленка воды нелинейно возрастает по толщине и снижается по длине. Это обстоятельство является второй причиной изменения размера водной пленки, которое фиксируется подвижной перекладиной рамки. Первоначальный размер мыльной пленки можно восстановить с помощью дополнительного груза P , воздействующего на подвижную перекладину.

Стальная игла, покрытая слоем жира, «плавает» на поверхности воды. На границе гидрофоб-

ная поверхность – вода возникает незначительное поверхностное натяжение, осмотическое и лапласово давления. Кроме того, игла вытесняет определенный объем воды, поэтому необходимо учитывать силу Архимеда. Эти силы компенсируют силу тяжести, что и удерживает иглу на поверхности воды.

Покрытые тонким слоем парафина нити сетчатого дна сита удерживают небольшой толщины слой воды. Осмотическое и лапласово давления, возникающие на границе гидрофобной искривленной поверхности, удерживают этот слой жидкости. Жидкость через узкие участки сита не течет. При больших расстояниях между нитями (в решетке) наблюдается истечение жидкости.

Набухание гидрофильных органических материалов (желатин, агар-агар, крахмал, торф) происходит после того, как все доступные для паров воды активные центры сорбции будут заполнены молекулами воды. На сорбированных молекулах воды в порах материала конденсируется осмотическая влага. При малом ее количестве возникает значительное осмотическое давление. Оно вызывает разрыв части межмолекулярных связей в матрице ВМС. Это приводит к увеличению начального объема, набуханию материала за счет поступления жидкости из внешней среды, образованию новых центров сорбции при разрыве связей между макромолекулами и соответственно росту осмотического давления. Последнее с увеличением доли осмотической влаги уменьшается. Набухание прекратится, когда осмотическое давление станет равным упругим напряжениям в матрице материала.

С повышением температуры разрыв связей между макромолекулами возрастает, что приводит к полной деструкции матрицы и образованию раствора высокомолекулярных соединений в воде. Такое явление наблюдается в гелях желатинины.

Под воздействием молекул воды происходит «вымывание» ионов с поверхности и внутренних слоев набухающей глины. Ионы поступают в осмотическую жидкость. Это способствует увеличению осмотического давления. Ионы противоположного знака, жестко связанные с каркасом минерала, служат центрами сорбции и последующей конденсации молекул воды. Это обстоятельство также приводит к увеличению осмотического давления. Возникает всасывание воды в межслоевые промежутки силикатов, в частности монтмориллонита [4], и их набухание.

При испарении воды в окружающую парогазовую среду в поверхностных слоях дисперсных материалов снижается влагосодержание. Между сферическими частицами образуются пленки

влаги и «манжеты». Толщина пленки первой сферы, контактирующей с парогазовой средой, по мере испарения влаги уменьшается, а осмотическое давление возрастает. Возникает осмотический пленочный перенос влаги из нижележащих, более увлажненных слоев в зону испарения. На левой половине первой сферической частицы общая толщина пленки меньше, чем на правой. Она «подпитывается» манжетной влагой. Осмотическое давление, наоборот, воздействует больше на левую половину, чем на правую.

В результате частица перемещается в обратном пленочному переносу жидкости направлении.

Подобная ситуация с меньшим осмотическим давлением будет наблюдаться в последующих подобных сферах. Возникает реологическое течение – перемещение частиц в направлении, обратном осмотическому переносу воды в толстых пленках. Происходит уплотнение, усадка материала, возрастает число межмолекулярных связей между элементами каркаса материала. При непосредственном контакте жестких сфер осмотическое давление вызывает их упругую деформацию.

В гелях, гелеобразных материалах под воздействием осмотического давления также происходит их реологическое течение. При этом следует учитывать поступление в толстые пленки влаги из внутренних объемов влагонасыщенных сфер – ассоциатов, макромолекул. В ограниченно набухающих материалах реологическое течение прекратится, когда осмотическое давление станет равным возникающим упругим напряжениям в каркасе (матрице) материала.

До открытия взрывчатых веществ и мощных горнодобывающих машин для разрушения скальных пород применяли деревянные (а позднее – металлические) клинья. По периметру отделяемого от монолита объема породы выдалбливали лунки. Затем их заливали водой и забивали сухие деревянные клинья. Они впитывали воду и набухали. Возникающее при набухании осмотическое давление на стенки лунки вызывало разрыв межмолекулярных связей горной породы в устье трещины, увеличение ее длины.

Осмотическое давление и осмотический перенос воды к устью трещины также способствует расклиниванию и увеличению ее длины. С уменьшением расстояния до устья щели количество осмотической влаги снижается, а осмотическое давление возрастает до нескольких сотен атмосфер. Если в устье щели остается только адсорбированная влага, то смешение ее с молекулами осмотической воды не происходит и осмотическое давление на этом участке не возникает.

Адсорбция поверхностно-активных веществ, а также всех других веществ на поверхности щели, а также растворение их в молекулярной или ионной форме в осмотической жидкости способствует увеличению осмотического давления.

Таким образом, под воздействием осмотического давления происходят процессы массопереноса жидкости, деформация материалов (набухание, усадка) и разрушение твердых тел при наличии в дефектах его структуры, трещинах одновременно адсорбированных и растворенных в осмотической жидкости различных веществ.

Библиографический список

1. *Гамаюнов Н.И.* Массоперенос в открытых системах / Н.И. Гамаюнов, С.Н. Гамаюнов // Теоретические основы химических технологий, 2012. Т. 46. № 3. С. 353.
2. Курс физической химии / Под ред. Я.И. Герасимова. М. –Л.: Химия, 1964. Т. 1. 626 с.
3. *Кикоин И.К.* Молекулярная физика / И.К. Кикоин, А.К. Кикоин. М.: Наука, 1976. – 480 с.
4. *Тарасевич Ю.И.* Строение и химия поверхности слоистых силикатов / Ю.И. Тарасевич. Киев: Наукова думка, 1988. – 248 с.

УДК 622.23.05:622.7

Зюзин Б.Ф.

Зюзин Борис Федорович, д. т. н., проф., заведующий кафедрой торфяных машин и оборудования ФГБОУ ВПО «Тверской государственной технической университет», 170023, Тверь, ул. Академическая, 12. pie_tver@mail.ru

Фомин Д.С.

Фомин Дмитрий Сергеевич, аспирант кафедры торфяных машин и оборудования ТвГТУ

Zyuzin B.F.

Zyuzin Boris F., Dr. Sc., Prof., Head of Chair of Peat Machinery and Equipment Tver State Technical University, 170023, Tver, Akademicheskaya 12.

Fomin D.S.

Fomin Dmitry S., graduate student of Chair Peat Machines and Equipment TvGTU

О ВЛИЯНИИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИСХОДНОГО ТОРФА НА ПРОЦЕСС МЕХАНИЧЕСКОГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ

Аннотация. Статья посвящена уточнению зависимости между условной удельной поверхностью, характеризующей качество переработки торфа, и показателем перерабатывающего воздействия рабочего аппарата с учетом физико-механических свойств исходного торфа. Предложенное выражение для оценки процесса диспергирования в многоступенчатых перерабатывающих устройствах машин формованного торфа позволяет при проектировании выбирать конструктивные и кинематические параметры отдельных ступеней переработки из условия получения продукции заданного качества.

Ключевые слова: кусковой торф, переработка торфа, диспергирование, проектирование многоступенчатых перерабатывающих устройств

ON THE IMPACT OF PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF THE SOURCE OF PEAT IN THE PROCESS OF MECHANICAL DISPERSION

Abstract. Article is dedicated to the refinement of dependence between the conditional specific surface area, which characterizes the quality of processing peat, and the index of the working apparatus processing actions with the physical and mechanical properties of the peat. The proposed expression for evaluating the process of dispersion in the multistage processing devices of the machines of the molded peat makes it possible in the process of design to select the design and kinematic parameters of the separate steps of processing from the condition of obtaining the production of the assigned quality.

Keywords: lump peat, processing of peat, dispersing, the design of multi-stage processing devices

В последнее время наибольшее распространение для добычи кускового торфа получил послойно-щелевой способ, при этом широкое применение нашли машины, оснащенные многоступенчатыми рабочими аппаратами: экскавирующими, перерабатывающими и формирующими устройствами различного типа [1].

В Тверском государственном техническом университете проводятся работы по разработке машин для добычи формованного кускового торфа нового поколения, обладающих повышенной производительностью, малой металлоемкостью, и с улучшенным качеством получаемой продукции [2]. Решение данной задачи возможно на основе исследований в области оценки характеристик процесса диспергирования в многоступенчатых перерабатывающих устройствах с учетом физико-механических свойств торфомассы, конструкции и режимов работы перерабатывающих и формирующих механизмов.

Процесс диспергирования осуществляется в результате деформирования торфа за пределами упругих деформаций при вязко-пластическом течении. Процесс разрушения происходит в активном деформируемом объеме. В этом случае описание напряженного и деформационного состояния осуществляется на основе положений теории упругости и пластичности. За показатели физико-механических свойств торфа принимаются: условная удельная поверхность (дисперсность), влагосодержание и плотность.

При проектировании машин по добыче кускового торфа широкое применение получила методика выбора конструктивных и кинематических параметров механических устройств [3–5], основанная на зависимости между условной удельной поверхностью и показателем перерабатывающего воздействия рабочего аппарата на торф λ [3]

$$S_\lambda = S_H \ln \left(\frac{\lambda}{a_H} + e \right), \quad (1)$$

где S_λ – величина условной удельной поверхности торфомассы после воздействия на торф с интенсивностью λ ; S_H – величина условной удельной поверхности торфа перед переработкой, $\text{м}^2/\text{кг}$; a_H – коэффициент пластичности исходного торфа, определяемый по уравнению регрессии [5]

$$\text{lga}_H = 5,45 \cdot 10^{-3} S_H + 0,385 W_a + 0,8 \cdot 10 - 3 \gamma_H - 1,73, \quad (2)$$

где W_a – абсолютная влажность торфомассы, %; γ_H – плотность торфа, поступающего в перерабатывающее устройство, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Уравнение (2) получено на основе обработки экспериментальных данных [5] методом корреляционного анализа при степени воздействия $\lambda = 50 - 500$ на торф верхового типа со степенью разложения $R = 10 - 50\%$, влагосодержанием $W = 2,5 - 5 \text{ кг}/\text{кг}$, плотностью $\gamma_H = 600 - 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$.

С целью оценки возможности применения выражения (2) в более широком диапазоне изменения степени воздействия λ при наличии нескольких ступеней переработки, с использованием результатов исследований, представленных [5], были построены характеристики процесса диспергирования при воздействии на торф со степенью разложения $R = 15\%$, начальной удельной поверхностью $S_H = 188 \text{ м}^2/\text{кг}$ (рис. 1).

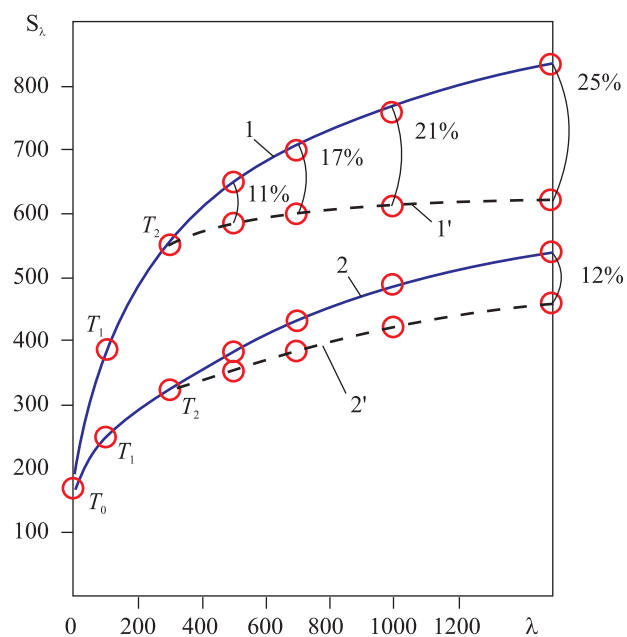


Рис. 1. Характеристика процесса переработки торфа (1 – $W = 3,55 \text{ кг}/\text{кг}$, $\gamma = 733 \text{ кг}/\text{м}^3$; 2 – $W = 5,25 \text{ кг}/\text{кг}$, $\gamma = 833 \text{ кг}/\text{м}^3$)

Fig. 1. Description of process of processing of peat (1 – $W = 3,55 \text{ kg}/\text{kg}$, $\gamma = 733 \text{ kg}/\text{m}^3$; 2 – $W = 5,25 \text{ kg}/\text{kg}$, $\gamma = 833 \text{ kg}/\text{m}^3$)

На рисунке кривые 1 и 2 соответствуют переработке в одноступенчатом механизме при разных влажностях торфа. Кривые 1' и 2' относятся ко второй ступени переработки, при этом точки T_2 соответствуют переходу торфа из первой ступени во вторую.

Результаты анализа показывают, что уравнение по определению коэффициента a_H удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными по дисперсности торфомассы при механическом воздействии на торф в одноступенчатом рабочем аппарате независимо от величины степени механического воздействия. Для двух-

ступенчатых аппаратов данные зависимости дают удовлетворительные результаты по оценке дисперсности в конце переработки при $\lambda \leq 500$ (максимальное отклонение находится в пределах 15%). При увеличении степени воздействия на торф до $\lambda = 1000$ ошибка превышает 20%, что недопустимо при проектировании многоступенчатых перерабатывающих устройств.

Указанное отклонение вызвано неучетом влияния на показатель коэффициента пропорциональности a_n уравнения (1) качественной характеристики торфомассы в точке отсчета T_2 (точка перехода в следующую ступень переработки), в частности по величине ее плотности, определяемой из таблиц Сидякина С.А. и Кужмана Г.И.

Изучение характеристик процесса диспергирования торфа дисперсностью 100–800 м²/кг, влажностью 2,33–7,5 кг/кг и плотностью 340–1100 кг/м³ указывает на то, что интенсивность прироста дисперсности ($dS/d\lambda$) в основном определяется его исходной структурной прочностью θ_n . Увеличение структурной прочности приводит к повышению интенсивности диспергирования. Таким образом, применительно к известному закону взаимодействия механических перерабатывающих устройств с диспергируемым материалом [4] можно считать, что коэффициент пропорциональности a_n является коэффициентом деформируемости (ползучести), находящимся в обратно пропорциональной зависимости от структурного сцепления.

Из уравнения по определению структурного сцепления [4]

$$\Theta = \frac{1040\gamma^{0,2}}{S^{0,56}W^{1,52}}$$

следует, что его величина пропорциональна плотности образца и обратно пропорциональна значениям дисперсности и влажности. Это обстоятельство позволяет представить экспериментальные данные [6–8] в виде функции

$$a_n = f\left(\frac{WS}{\gamma}\right),$$

которая представлена на рис. 2.

На основании проведенного анализа изменения физико-механических свойств торфа дисперсностью $S_0 = 100 - 800$ м²/кг, влагосодержанием $W = 2,33 - 7,5$ кг/кг и плотностью $\gamma = 340 - 1100$ кг/м³ получено уравнение по определению коэффициента пластичности в любой точке характеристики процесса переработки

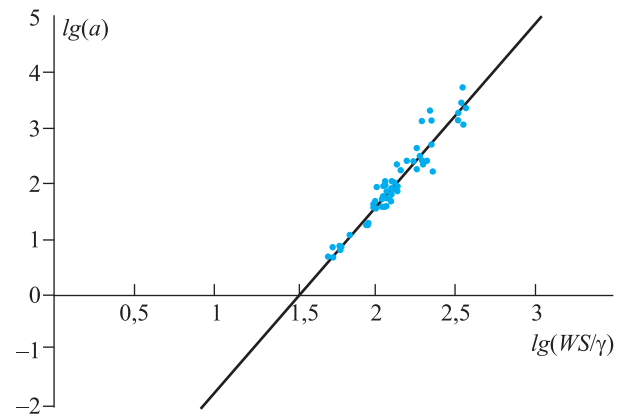


Рис 2. Зависимость коэффициента пластичности от комплексного показателя структурных свойств торфа

Fig. 2. Dependence of coefficient of plasticity on the complex index of structural properties of peat

$$a_{ni} = 38,37 \left(\frac{WS_{\lambda i}}{\gamma_{\lambda i}} \right)^{3,29}. \quad (3)$$

Эта зависимость отвечает физической сущности процесса диспергирования торфа под воздействием угловых деформаций сдвига, оцениваемых величиной степени перерабатывающего воздействия механических устройств λ .

Анализ характеристик процесса диспергирования с применением уточненной зависимости по определению коэффициента a_n подтверждает справедливость принятого допущения влияния дисперсности, влажности и плотности исходного торфа на закономерности процесса диспергирования под воздействием механических устройств. С увеличением дисперсности и влажности происходит снижение структурной прочности, что приводит к ослаблению влияния механического воздействия на торф. Уплотнение же структуры торфа способствует повышению ее прочности и усилению интенсивности процесса диспергирования.

Оценка соответствия расчетных значений условной удельной поверхности торфомассы по уравнениям (1, 3), определенных относительно текущих исходных точек характеристик процесса диспергирования двухступенчатого рабочего аппарата с данными в тех же точках характеристики для одноступенчатого механизма, подтверждает аддитивность процесса переработки и представлена на рис. 3.

Графики построены для торфа верхового типа $R = 15\%$ с начальной удельной поверхностью $S_{T0} = 188$ м²/кг, при этом введены следующие обозначения: $1 - W_1 = 3,55$ кг/кг; $\gamma_{T0} = 568$ кг/м³,

$a_{pm0} = 65,3$; $2 - W_2 = 5,25$ кг/кг; $\gamma_{T_0} = 677$ кг/м³,
 $a_{pm0} = 128$ для одноступенчатого перерабатывающего устройства, $\lambda_{p,ann} = 1500$.

Для двухступенчатого перерабатывающего устройства: $1' - W_1 = 3,55$ кг/кг; $\gamma_{T_0} = 568$ кг/м³,
 $a_{pm0} = 65,3$, $2' - W_2 = 5,25$ кг/кг; $\gamma_{T_0} = 677$ кг/м³,
 $a_{pm0} = 128$. При этом характеристика первой ступени: $\lambda_1 = 300$, $S_{T_0} = 188$ м²/кг; второй ступени: $\lambda_2 = \lambda_{p,ann} - \lambda_1 = 1500 - 300 = 1200$; $1' - W_1 = 3,55$ кг/кг; $S_{T_2} = 374$ м²/кг, $\gamma_{T_2} = 611$ кг/м³, $a_{pm0} = 468$;
 $2' - W_2 = 5,25$ кг/кг; $S_{T_0} = 305$ м²/кг, $\gamma_{T_2} = 717$ кг/м³,
 $a_{pm0} = 509$;

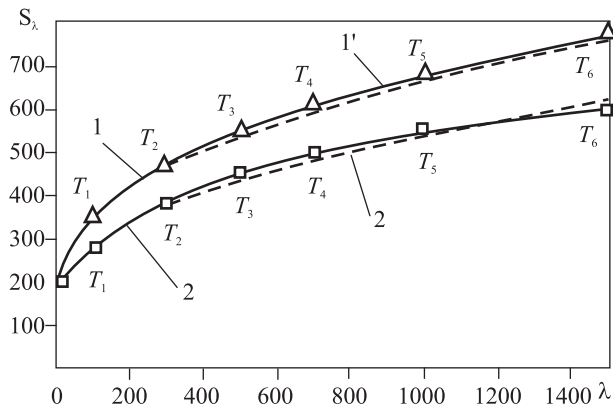


Рис. 3. Характеристика процесса диспергирования торфа

Fig.3. Description of process dispersing of peat

Максимальное отклонение расчетных значений по отдельным ступеням переработки не превышает 5% при степени механического воздействия от 100 до 1600 применительно к торфу верхового типа степенью разложения более 15%.

Предложенная методика оценки процесса диспергирования в многоступенчатых перерабатывающих устройствах машин формованного торфа позволяет при проектировании выбирать конструктивные и кинематические параметры отдельных ступеней переработки, упростить экспериментальную проверку и оперативно корректировать режимы их работы в производственных условиях на основе данных по плотности торфо-

массы в местах перехода от одного механического устройства к другому из условия получения продукции заданного качества.

Библиографический список

1. *Солопов С.Г.* Торфяные машины и комплексы / С.Г. Солопов, Л.О. Горцаколян, Л.Н. Самсонов, В.В. Цветков. Учебное пособие для вузов. М: Недра, 1981. 416 с.
2. *Фомин К.В.* Работы Тверского государственного технического университета в области разработки машин по добыче формованного кускового торфа нового поколения / К.В. Фомин, Д.С. Фомин // Всероссийский торфяной форум. Сборник материалов форума. Тверь, 2011 С. 63.
3. *Опейко Ф.А.* Торфяные машины / Ф.А. Опейко. Минск: Высшая школа, 1968. 405 с.
4. *Фомин В.К.* Основы технологии производства формованного торфа / В.К. Фомин // ЦБНТИ Минтоппром РСФСР, 1989. 144 с.
5. *Фомин В.К.* Исследования процесса диспергирования и формования торфа различными механизмами и расчет их основных параметров: дисс. канд. техн. наук / В.К. Фомин. Калинин: КПИ, 1965. 168 с.
6. *Фомин Д.С.* Структурные свойства торфа и характеристика процесса диспергирования под воздействием механических устройств / Д.С. Фомин, К.В. Фомин // Торф в решении проблем энергетики, с/х и экологии. Материалы выездной секции международной научно-практической конференции. Тверь, 2006. С. 103–105
7. *Лиштван И.И.* Физико-химические основы технологии торфяного производства / И.И. Лиштван, А.А. Терентьев, Е.Т. Базин, А.А. Головач. Минск: Наука и техника, 1983. 232 с.
8. *Малков Л.М.* Исследование процесса радиационно-конвективной сушки гранулированного и кускового торфа / Л.М. Малков, Н.С. Панкратов // Труды филиала ВНИИТП. М.: ГЭИ, 1961. Вып. 1. 174 с.

УДК 622.331.002.5

Яблонев А.Л.

Яблонев Александр Львович, д. т. н., доцент кафедры торфяных машин и оборудования ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь, 170023, ул. Академическая, 12

Yablonev A.L.

Yablonev Alexander L., D. Sc., Associate Professor of Chair Peat Machines and Equipment Tver State Technical University, 170023, Tver, Akademicheskaya, 12

АДАПТИРОВАНИЕ ГУСЕНИЧНЫХ ТОРФЯНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН К РАБОТЕ НА ПНЕВМОКОЛЕСНОМ ХОДУ

Аннотация. Отмечена необходимость перевода торфяной уборочно-транспортной техники на пневмоколесный ход. Представлен анализ конструкции бункерной торфоуборочной машины МТФ-43А, переведенной на пневмоколесный ход. Сформулированы требования к пневмоколесному ходу уборочно-транспортных торфяных машин. Обоснованы характеристики и параметры шин для торфяных транспортных машин.

Ключевые слова: торф, торфяная машина, пневмоколесный ход, флотационная пневматическая шина, деформация колеса, колесный трактор

ADAPTING TRACKED PEAT TRANSPORT MACHINE RUBBER TIRED

Abstract. Need translation of peat associated transport equipment on the wheel move. Presents an analysis of the construction of the bunker harvesting machine MTF-43A, translated into the wheel. Formulated requirements of pneumatic wheel running for harvesting and transport peat machines. Warranted characteristics and parameters of tyres for peat transport machines.

Keywords: peat, peat machine, pneumatic wheel running, flotation pneumatic tire, deformation of wheel, wheel tractor

Одним из направлений модернизации и обновления торфодобывающей техники является использование машин и тракторов на пневматическом колесном ходу, который, по сравнению с гусеничным ходом, менее энергоемок и металлоемок, позволяет развивать большие скорости передвижения, адаптирован одновременно к условиям бездорожья и к дорогам с твердым покрытием. Тракторы на колесном ходу потребляют меньше горючего за час работы. Применение пневмоколесного хода позволит торфяным компаниям самостоятельно заниматься доставкой торфа с производственных участков к потребителям, задействовав для этого тракторы и прицепы, работающие на технологических операциях по добыче торфа, повысив эффективность собственной деятельности и значительно снизив стоимость транспортных работ.

Опыт по применению такого типа ходовых устройств накоплен в Финляндии, Канаде, в Республике Беларусь, на некоторых отечественных торфопредприятиях (ОАО «Шатурторф» и др.).

Известен опыт эксплуатации торфяных прицепов-самосвалов и бункерных уборочных машин на пневмоколесном ходу. Положительный опыт эксплуатации колесных тракторов в условиях добычи торфа также имеется.

Поскольку операции по уборке и транспорту фрезерного торфа являются наиболее уязвимыми с точки зрения проходимости и устойчивости машин, а на один послойно-поверхностный фрезер требуется 3–4 торфяных уборочно-транспортных машины, неслучаен интерес ученых и производителей к адаптации бункерных уборочных машин и прицепов-самосвалов к пневмоколесному ходу. В этом смысле интересным представляется опыт работы унитарного предприятия «Лидское» (Беларусь) по переводу бункерной уборочной машины МТФ-43А с гусеничного хода на пневмоколесный [1].

Экспериментальная машина (рис. 1) помещена на раму сельскохозяйственной балансирной тележки, оснащенной основными шинами Я-170А арочного типа, дополненными (для увеличения проходимости) шинами КФ-75.

Получившийся в результате сдваивания колес движитель позволил разработчикам значительно снизить удельное давление на грунт и улучшить эксплуатационные характеристики машины. Кроме того, пневмоколесный ход допускает увеличение до 12 км/ч поступательной скорости движения, что отразилось на увеличении производительности по сравнению с гусеничным прототипом. Особенностью конструкции является



Рис. 1. Экспериментальная машина МТФ-43А на пневмоколесном ходу

Fig. 1. Experimental Machine MTF-43A air-tyred

изменение компоновки машины: из прицепной ее сделали полуприцепной, сдвинув назад колесные опоры и передав часть нагрузки на заднее буксирное устройство колесного трактора.

Анализ этого проекта позволил выявить следующее. Применение шин размером 1140×700 мм потребовало поднятия бункера и трансмиссии машины почти на 400 мм по сравнению с прототипом, что не могло не отразиться на угле передачи крутящего момента с вала отбора мощности трактора к трансмиссии машины, приблизив его к критическому значению (15°). Серьезная модернизация потребовалась и для ковшевого элеватора, так как в неизменном виде он бы просто не мог захватить торф, сосредоточенный в скрепере. Машина в исходном (гусеничном) состоянии имела высоту около 5 м. После модернизации машина стала еще выше. Осуществить сцепку трактора даже с прицепной гусеничной машиной типа МТФ-43А – дело весьма хлопотное.

В случае, когда машина является полуприцепной и когда прицепная тяга закреплена на раме машины жестко, произвести сцепку еще сложнее. В силу действия «человеческого фактора» это может привести к тому, что трактор будет «заморожен» подобной машиной, хотя для эффективно действующего предприятия тракторы должны находиться в полной готовности к работе в агрегате с любой машиной.

Следует отметить, что, создавая колесное транспортное средство, необходимо стремиться к возможности буксирования его любым тяговым трактором (или другим механизмом). Исторически сложилось так, что в торфяной промышленности России были задействованы гусеничные тракторы в больших количествах. Буксирные устройства у гусеничных и колесных

тракторов находятся на разной высоте от земли, в связи с чем бесшарнирная прицепная тяга не позволит использовать подобную машину в агрегате с любыми тракторами, что наносит удар по универсальности применения машины. Казалось бы, выйти из положения можно, вернувшись к традиционной компоновке, сделав машину вновь прицепной. Для этого потребовалось бы несколько сдвинуть вперед колесную балансирную тележку.

Однако произведенный расчет на устойчивость показал, что машина вследствие небольшой продольной колесной базы (менее 1,5 метра) неустойчива в продольной плоскости. Это легко может привести к ее опрокидыванию, а следовательно, данному проекту просто необходима еще одна точка опоры, каковой является прицепное устройство трактора. Рекомендации авторов проекта о ручном срезании грунтозацепов арочных шин машины для устранения эффекта подфрезеровывания залежи [1] представляются весьма трудоемкими и непродуктивными. Таковы в целом выводы, которые напрашиваются сами собой при анализе конструкции представленной машины.

Данный опыт позволил как нельзя лучше систематизировать материал об использовании пневмоколесного хода на торфяной технике и обозначить требования к торфяным уборочным и транспортным машинам: это должны быть прицепные машины с незначительным отклонением по высоте относительно прототипа, с более гладким рисунком протектора, чем у арочных шин.

Проведенные исследования в рамках темы «Прогнозирование взаимодействия пневматического колесного хода с торфяной залежью» [2] позволили определить максимальный объем кузова (25 м³) торфяного прицепа для внутривозвратного использования и типы применяемых шин. Так, учитывая движение по слабым грунтам, для снижения давления на залежь имеет смысл применять шины низкого давления, способные легко деформироваться. Нормальная деформация шин в объеме до 20% от общего объема деформаций способна значительно увеличить площадь контактной поверхности шины с залежью, что в свою очередь приводит к значительному снижению удельного давления на грунт. Таким условиям соответствуют радиальные шины. Специально для условий движения нагруженных машин по слабым и влажным грунтам разработаны радиальные флотационные шины (рис. 2).



Рис. 2. Колесо с радиальной флотационной шиной

Fig. 2. Wheel with radial flotation tire

Термин «флотационная» означает, что шина не нуждается в том, чтобы для достижения состояния равновесия на грунте необходимо было продавливать мягкую почву до твердого основания. Шина достаточно широкая, имеет плотный протектор и как бы «плышет» по мягкой поверхности, перераспределяя нагрузку в широком пятне контакта. Конструкция шины, состоящая из цельнометаллокордного каркаса и новейшего состава резиновой смеси в сочетании с самоочищаемой способностью протектора центрального типа позволяет снижать уровень уплотнения грунта под колесами и предохраняет машину от раскачивания.

Однако флотационные шины весьма дороги и не могут обеспечить полного отсутствия явления подфрезеровывания залежи. Другим возможным к применению в данных условиях видом пневматических шин являются обыкновенные шины для прицепов с продольным или гладким рисунком протектора, хотя они работают при высоком давлении воздуха (более 0,6 МПа) и несклонны к деформированию.

Тем не менее, увеличив количество опорных колес с такими шинами, можно добиться вполне приемлемого результата.

В настоящее время на ОАО «Тверьстроймаш» с использованием исследований автора ведутся работы по созданию универсального пневмоколесного шасси для внутривозвратных торфяных прицепов с объемом бункера 25 м³ и скреперно-бункерной торфоуборочной машины типа МТФ-43А.

В качестве шин для данного шасси рекомендованы три образца: радиальные флотационные

Таблица 1. Технические характеристики шин, рекомендованных для создания универсального шасси торфяных транспортно-уборочных машин

Table 1. Specifications of tires recommended to create a universal chassis peat transport and harvesting machines

Тип шины	Наружный диаметр шины в свободном состоянии, мм	Ширина профиля шины в свободном состоянии, мм	Максимальная вертикальная нагрузка на колесо с шиной, кН	Рекомендуемое давление воздуха в шине, МПа
480/45-17	863	455	30	0,32
400/60-15,5	874	390	29	0,36
235/75-17,5	800	241	27	0,85

480/45-17 и 400/60-15,5 Starco SG Flotation и гладкая прицепная 235/75-17,5. Сравнительные характеристики этих шин представлены в таблице 1.

Уборочная машина типа МТФ-43А и прицеп-самосвал с объемом кузова до 25 м³ работают в схожих условиях по нагрузке колесного хода, поэтому создание универсального шасси для них является оправданным решением. А изготовление опытного образца машины МТФ-43А позволит в ходе испытаний произвести доводку конструкции шасси и для прицепов.

Библиографический список

1. Залесский И.П. Опыт работы производственного унитарного торфопредприятия «Лидское» по модернизации машин МТФ-43А / И.П. Залесский // Торф и Бизнес. 2007. № 3. С. 13.
2. Яблонев А.Л. Пневматический колесный ход и особенности его взаимодействия с торфяной залежью /А.Л. Яблонев. Тверь: ТвГТУ, 2011. 168 с.

УДК 662.331(09)

Копенкина Л.В.

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

Kopenkina L.V.

Kopenkina Lubov V., Ph. D., Associate Professor
of Chair Peat Machines and Equipment
Tver State Technical University
170023, Tver, Akademicheskaya, 12

ИЗОБРЕТАТЕЛЬ ТОРФЯНОЙ ТЕХНИКИ (К 140-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ И.А. РОГОВА (1873–1943))

THE INVENTOR OF PEAT EQUIPMENT (TO 140-YEARS OF ANNIVERSARY SINCE BIRTH I.A. ROGOV (1873–1942))

Аннотация. В статье рассмотрен вклад выдающегося изобретателя, инженера И.А. Рогова в развитие техники торфяного дела.

Abstract. The article considered the contribution of the outstanding inventor and engineer I.A. Rogov to the equipment of peat industry.

Ключевые слова: изобретатель торфяных машин, история торфяной промышленности

Keywords: inventor of peat equipment, history of peat industry

Одним из выдающихся деятелей торфяного дела является Иван Алексеевич Рогов. На протяжении интенсивного развития торфяной промышленности советского периода всем специалистам в области торфяного дела был известен пресс Рогова, применявшийся в торфяной промышленности на протяжении почти всего XX века и описанный в учебниках, справочниках, другой научно-технической литературе торфяного профиля.



Иван Алексеевич Рогов родился в 1873 году в семье крестьянина Ярославской губернии. Окончил Александровское коммерческое училище в Москве в 1892 году.

Не имея средств на высшее образование, он работал счетоводом в правлении Донецкой железной дороги, отбывал воинскую повинность, служил в банкирской конторе «И.В. Юнкер» в Москве. Благодаря материальной помощи товарища по коммерческому училищу Рогов поступил в 1895 году на инженерное отделение Московского сельскохозяйственного института. Дипломный проект был посвящен водоснабжению торфопредприятий.

По окончании вуза в 1899 году Рогов работал в г. Гусь-Хрустальном Владимирской губернии на заводах Ю.С. Нечаева-Мальцева. В 1899–1927 гг. он исследовал торфяные залежи площадью 18 тыс. га. Для повышения точности определения свойств торфяной пробы, изъятый из залежи, Рогов предложил конструкции зонда, описанную в статье «Торфодобыывание в связи с культурой болот» [1].

Во Владимирской губернии он организовал добычу торфа с помощью 35 элеваторных машин, заведовал торфяными разработками, постройкой узкоколейных путей протяженностью 50 км, ис-

следовал и добывал глины для стекловарных печей, кирпичного и черепичного заводов. Также организовал использование выработанных торфяных залежей для сельскохозяйственных нужд, а окраин болот – для покосов, что было важно в качестве меры борьбы с пожарами на торфоразработках. Эти мероприятия описаны им в работах [2–3].

В 1912–1917 гг. Рогов был первым лектором, читавшим лекции по торфяному делу по приглашению руководства вуза в Московском сельскохозяйственном институте на инженерном отделении. Прочитанный им курс показал всю обширность и разносторонность знаний, которыми должен обладать специалист по торфяному делу. Впоследствии преподавание торфяного дела в этом вузе было включено в программу подготовки специалистов инженерного отделения, расширено, усилено приглашением новых лекторов (В.Р. Вильямс – по технологии торфа, Е.С. Меншиков – физические и химические свойства торфа).

Работая на торфоразработках Гусь-Хрустального, где торфяные залежи имели большую глубину (до 10 м), Рогов усовершенствовал элеваторную установку, применив поперечный элеватор для улучшения осушения, предотвращения оползней края карьера и выработки торфа на всю глубину залежи, что было описано в работе [4].

В сезон 1925 года на Гусевской торфоразработке работало пять паровых поперечных машин на прорытии канала и три электрифицированные машины на углублении и осушении старых карьеров. Позднее он продолжил эту тему в работах [5–6].

И.А. Рогов первым сконструировал и построил фрезерную машину для добычи торфа в виде крошки на пнистых залежах. Начиная с 1916 г., он работал над совершенствованием машины для добычи фрезерного торфа с вращающимся измельчающим орудием, полной механизацией фрезерного способа добычи торфа. В статье [7] было отмечено, что обогащение торфяной промышленности новым дешевым видом топлива, торфяной крошкой, навсегда останется заслугой И.А. Рогова.

Первая пробная машина для послойного фрезерования торфа была построена в 1921 г. и испытана в присутствии И.И. Радченко и Е.С. Меншикова. Фотография этой машины была представлена в книге Е.С. Меншикова «Интенсификация торфодобыывания и достижения торфяной техники» (1924). На изобретение торфодобыывающей машины с вращающимся измельчающим орудием, заявленное в 1922 г., был выдан патент (№ 87) в 1925 г. Измельчение производилось с

помощью ножей, круглых пил или отдельных пилообразных зубьев. Результаты испытаний машины показали возможность одновременно измельчения торфа и древесных остатков в крошку и опилки, тем самым дав толчок развитию метода фрезерования.

Рогов разрабатывал два способа получения торфяного топлива. Первый способ заключался в превращении торфяной крошки в кирпичи и сушки их на поле. На изобретение «Способ и устройство для получения торфяного топлива в виде кирпичей с поверхности торфяных болот», заявленное в 1923 г., был выдан патент (№ 740) в 1925 г. Второй способ состоял в использовании на топливо самой торфяной крошки.

Для дальнейшего использования фрезерной торфяной крошки как топлива Рогов предлагал способы искусственной досушки крошки и сжигания ее. В результате были получены патенты на сушилку для сыпучих видов топлива (1923), газовый генератор и топку для сжигания сыпучих видов топлива (1923). В 1927 году способ получения торфяного топлива в виде крошки был усовершенствован Роговым с помощью разделения его на ряд механизированных процессов. Для уборки воздушно-сухой крошки в штабели он сконструировал специальные машины.

Описание фрезерной машины Рогова вошло в словарь-справочник по торфяному делу [8].

В 1927–1935 гг. Рогов работал в Инсторфе сначала в должности помощника заведующего конструкторско-экспериментальным отделом, затем был назначен старшим инженером-конструктором. Не миновала его участь быть сосланным в 1931 году постановлением ОГПУ в Свердловск в распоряжение Уральского Торфотреста, где Рогов работал в отделе рационализации. В 1932 году он был досрочно освобожден и в мае вернулся в Инсторф.

Торфяной пресс системы инженера И.А. Рогова, предназначенный для переработки и формования торфа, применялся на разработках Нечаева-Мальцева и других еще в 1910–1914 годах. Конструкция пресса была подробно описана наряду с другими конструкциями зарубежных и отечественных прессов в руководстве для разработки торфа Р.И. Гехта [9].

В результате многолетнего изучения работы торфяных прессов Рогов разработал теорию торфяного пресса, на основании которой был спроектирован винтовой ленточный пресс для формовки торфа (патент № 14480, 1930 г.). Недостатки других систем прессов для формования торфа состояли, главным образом, в невозможности регулирования производительности, а также в неудобстве их прочистки. Для устранения

этих недостатков, а также с целью получения однородной пластической массы независимо от качества торфа и в соответствии с наиболее выгодными условиями производительности пресса данный винтовой пресс был снабжен своеобразным расположением движущихся и неподвижных ножей и устройством для регулирования количества торфа, поступающего в пресс.

В феврале 1927 года в Инсторфе инженер Рогов прочитал доклад на тему «Теория торфяного пресса», что явилось первым опытом теоретического исследования работы торфяного пресса и послужило начальным этапом для дальнейшего изучения процессов в торфяных прессах.

Начиная с 1929 года, Главторф стал заказывать для работы на предприятиях исключительно торфяной пресс системы Рогова. Конструкция пресса была подробно описана в словаре-справочнике по торфяному делу, первых учебниках по торфяным машинам [8, 10, 11].

В 1930-е годы пресс системы Рогова получил широкое распространение. Особенностью пресса Рогова является его универсальность в отношении переработки торфяной залежи. Конструкция пресса подходит для различного качества торфяного сырья. Изменяя взаимное положение рабочих ножей, можно менять производительность и переработку торфа.

В дальнейшем двухвальными торфяными прессами с рабочими элементами пресса Рогова были оборудованы багерно-элеваторные машины, канатно-скреперный экскаватор, торфодобывающие многоковшовые экскаваторы вплоть до 1980-х годов.

В значимых учебниках и учебных пособиях по торфяным машинам, технологии и комплексной механизации торфяного производства 1960–1980-х годов пресс Рогова принят за эталонный образец торфоперерабатывающего устройства при оценке перерабатывающей способности различных механизмов [12–15].

Всего Рогов имел 34 изобретения в области фрезформовочного способа, послонно-фрезерного способа добычи торфа, сушки и уборки кускового торфа. Кроме торфяного пресса и фрезерных машин среди них большое значение имели такие, как топка для сжигания торфяной крошки, канавная машина, дренажная машина, машина для резного торфа и другие.

И.А. Рогов работал доцентом кафедры торфяной механики Московского торфяного института с 1935 г., вел практические занятия по курсу «Торфяные машины». По совместительству работал преподавателем во Всесоюзной промышленной академии имени И.В. Сталина, функционирующей с 1925-го по 1941 гг.

Иван Алексеевич Рогов является одним из самых крупных изобретателей в области торфяного дела, внесшим большой вклад в развитие торфяных машин, механизации торфяной промышленности, становление торфяного дела в России.

Библиографический список

1. *Рогов И.А.* Торфодобывание в связи с культурой болот / И.А. Рогов // Известия общества содействия улучшения и развития мануфактурной промышленности. 1914. № 6. С. 521–527.
2. *Рогов И.А.* Борьба с дикими землями (технические приемы приведения некультурных болотных площадей в культурные пахотные луговые угодья) / И.А. Рогов. М.: Изд. ВСНХ, 1920. 13 с.
3. *Рогов И.А.* Торфяные болота в Гусе-Хрустальном в связи с электрификацией фабрик / И.А. Рогов // Наше хозяйство. Владимир, 1921. № 5. С. 30–31.
4. *Рогов И.А.* Поперечные элеваторные машины на Гусевской торфоразработке / И.А. Рогов // Торфяное дело, 1925. № 9–10. С. 7–11.
5. О машинах с поперечным элеватором / С.В. Герасимов [и др.] // Торфяное дело. 1929. № 12. С. 531–532.
6. *Рогов И.А.* Перспективы поперечной элеваторной установки / И.А. Рогов // Торфяное дело. 1930. № 2–3. С. 82–92.
7. Инженер И.А. Рогов // Торфяное дело. 1929. № 7–8. С. 339–340.
8. Словарь-справочник по торфяному делу / Под общей ред. И.И. Радченко. М.: НТУ ВСНХ СССР, 1928. 544 с.
9. *Гехт Р.И.* Торф. Современные способы разработки торфа на топливо. Руководство для техников и сельских хозяев к производству обследования торфяных болот, разработки их и использованию тепловых свойств торфа. / И.А. Рогов. Петроград: издание А.Ф. Девриена, 1914. 204 с.
10. *Никонов В.Н.* Торфяные машины и механизмы: учебник для техникумов / В.Н. Никонов. М.: ГОНТИ НКТП СССР, 1938. 200 с.
11. *Солопов, С.Г.* Расчеты и конструкции торфяных машин / С.Г. Солопов. М.–Л.: Госэнергоиздат, 1948. 110 с.
12. *Опейко Ф.А.* Торфяные машины: учебник / Ф.А. Опейко. Минск: Вышэйшая школа, 1968. 408 с.
13. *Солопов С.Г.* Торфяные машины и комплексы: учебное пособие / С.Г. Солопов, Л.О. Горцакалян, Л.Н. Самсонов. М.: Недра, 1973. 392 с.
14. *Антонов В.Я.* Технология и комплексная механизация торфяного производства: учебное пособие / В.Я. Антонов, В.Д. Копенкин. М.: Недра, 1983. 287 с.
15. Торфяные машины и комплексы: учебное пособие / Солопов С.Г. [и др.]. М.: Недра, 1981. 416 с.