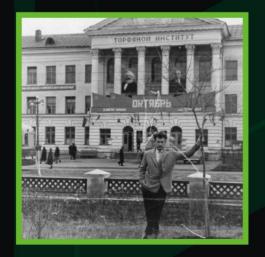


№5 (58) 2012

## ТРУДЫ ИНСТОРФА







#### Министерство образования и науки РФ

### **Восточно-Европейский институт торфяного дела** Тверского государственного технического университета

#### ТРУДЫ ИНСТОРФА

Научный журнал

Издается с апреля 1922 года **Выходит два раза в год** 

**№ 5 (58)** Январь–июнь 2012 г. УДК 622.331(05) ББК 26.343.4я5

Труды Инсторфа: научный журнал. № 5 (58). Январь–июнь 2012 г. Тверь: ТвГТУ, 2012. 58 с.

Учредитель и издатель: Тверской государственный технический университет

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

#### Редакционный совет:

проф., д. т. н. А.Е. Афанасьев; проф., д. т. н. А.Н. Васильев; проф., д. т. н. Н.И. Гамаюнов; проф., д. т. н. В.И. Горячев; проф., д. т. н. 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. на-учного редактора); проф., д. т. н. Н.В. Кислов; проф., д. т. н. А.В. Кондратьев; проф., д. т. н. В.И. Косов; проф., д. т. н. В.П. Круглов; д. б. н. О.Л. Кузнецов; проф., д. б. н. Е.Д. Лапшина; проф., д. т. н. А.М. Лукьянчиков; проф., д. т. н. Б.И. Масленников; проф., д. т. н. А.В. Михайлов; проф., д. т. н. В.А. Миронов; проф., д. т. н. В.Г. Селеннов; проф., д. т. н. В.Ф. Синицин; д. б. н. А.А. Сирин; проф., д. х. н. Э.М. Сульман; проф., д. ф-м. н. А.В. Твардовский, д. б. н. Т.К. Юрковская

#### Редакционная коллегия:

проф., д. т. н. С.Н. Гамаюнов; проф., д. т. н. Ю.Н. Женихов; доц., д. т. н. О.С. Мисников; доц., д. г. н. В.В. Панов (зам. главного редактора); проф., д. т. н. В.И. Суворов; доц., д. т. н. К.В. Фомин. Секретарь редакционной коллегии: к. т. н. А.Е. Тимофеев Технический редактор: к. т. н. В.В. Кузовлев

Свидетельство о регистрации Эл № ФС 77-41964 выдано 9.09.2010 г. Федеральной службой Роскомнадзор

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

Подписано в печать <mark>29.12.12</mark> Формат 60×84 1/8. Усл. печ. л. 7,25 000 «Издательство «Триада» 170034, г. Тверь, пр. Чайковского, д. 9, оф. 504

#### ISSN 2224-1523

© Тверской государственный технический университет, 2012

#### СОДЕРЖАНИЕ

#### Панов В.В., Протопопов А.В.

Торфяники Табалахской впадины Республики Саха (Якутия) (3)

#### Сомов В.В., Галанина О.В.

Содержание серы в сфагновых мхах и торфах среднетаежных болот Карелии (11)

#### Афанасьев А.Е., Столбикова Г.Е.

Интенсификация сушки торфа в полевых условиях (17)

#### Гамаюнов Н.И., Гамаюнов С.Н., Шехаб Х.Ю.

Новая трактовка поверхностных явлений (22)

#### Афанасьев А.Е., Кремчеев Э.А., Ефремов А.С.

Гравитационное обезвоживание навала торфяного сырья с учетом испарения влаги (29)

#### Испирян С.Р.

Особенности сорбционного взаимодействия торфа и нефтемаслопродуктов (38)

#### Смирнов В.И., Беляков В.А., Купорова А.В.

Методы расчета технологических показателей добычи фрезерного торфа с учетом организации работы машин (41)

#### Черткова Е.Ю., Смирнов В.И., Михайлов А.А.

Организация технологического процесса добычи фрезерного торфа пониженной влажности с дифференцированием цикловых сборов (45)

#### Копенкина Л.В.

Научные школы в области торфяного дела Московского торфяного института (49) УДК 4.54.062.4:662.31.33:553.97

#### Панов В.В.

Панов Владимир Владимирович, д. г. н., зав. каф. геологии, переработки торфа и сапропеля ФГОБУ ВПО «Тверской государственный технический университет» (ТвГТУ), Тверь, Академическая, 12, vvpanov@inbox.ru

#### Протопопов А.В.

Протопопов Альберт Васильевич, к. б. н., руководитель отдела изучения мамонтовой фауны Академии наук Республики Саха (Якутия), a.protopopov@mail.ru

#### ТОРФЯНИКИ ТАБАЛАХСКОЙ ВПАДИНЫ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

Аннотация. Торфяные месторождения Табалахской впадины имеют особый генезис, связанный с изменением природного процесса в голоцене. Торфяники, на поверхности которых сформировались озера, имеют мощность более 2 м и являются реликтовыми, в отличие от современных болот. Современное торфонакопление на территории впадины за последние 4-4,5 тыс. лет составило около 0,8 м. Пучение торфяных отложений по периметру озер только способствовало сохранению воды и талика под озером и талыми торфяными отложениями. Наличие слоя торфяных отложений в озерах более 0,9 м делает их промышленно значимыми торфяными месторождениями.

Ключевые слова: торф, торфяные ресурсы, реликтовые торфяники, торфяные месторождения

#### Panov V.V.

Panov Vladimir V., Dr. Sc., Head of Department geology, processing of peat and sapropel Tver State Technical University, Tver, Academicheskaya, 12

#### Protopopov A.V.

Protopopov Albert V., PhD, Head of Department of studying mammoths Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia)

#### PEATLANDS TABALAHSKOY DEPRESSION SAKHA REPUBLIC (YAKUTIA)

Abstract. Peat deposits Tabalahskoy depression have a special genesis, Holy linked to changes in the natural process in the Holocene. Peatlands have a capacity of more than 2 m and are relic, in contrast to the modern marshes. Modern peat accumulation in the basin over the past 4-4.5 thousand years was about 0.8 m below Peatlands are relic lakes, which are formed on the surface of the lake, and swelling of peat deposits on the perimeter of the lake only contributed to the preservation of the water and under the lake and talik thawed peat deposits. The presence of a layer of peat deposits in the lakes over 0.9 meters makes them commercially significant peat deposits.

*Key words*: peat, peat resources, relic peat, peat deposits

о мнению Б.Н. Городкова [1], современная заболоченность почв 👢 上 Севера Якутии, несмотря на сухость и сравнительную теплоту лета. очень велика и в общем значительно превышает заболоченность западных тундр, особенно тундр Таймыра. Это объясняется тем, что сильнейшие зимние холода при слабом снеговом покрове особенно понижают температуру вечномерзлых грунтов Северо-Восточной Азии, в результате чего на поверхности мерзлоты летом происходит усиленная конденсация водяных паров воздуха, абсолютная влажность которого при теплом лете достаточно высока, и тем самым возникает заболоченность даже в условиях удовлетворительного дренажа. Само оттаивание пропитанных водой и льдом почв указанных территорий идет плохо и затухает на сравнительно небольшой глубине, в приморских тундрах и болотах едва достигающей 30-60 см в конце лета. Климатические условия тундровой зоны Якутии препятствуют существованию моховых тундр, исчезающих вблизи Лены. Лишь на побережье Ледовитого океана заболоченные моховые тундры идут до самого Берингова моря. Взамен моховых тундр широко распространяются кочкарные тундры с гипново-сфагновой, торфянистой дерновиной, не позволяющей почве оттаять глубже 50-100 см.

По мнению Н.Я. Каца [2], торфообразование в Якутии идет интенсивно в озерах, особенно глубоких. В Верхоянском районе торфяники на месте озер достигают 4-5 м и подстилаются сапропелем толщиной до 1 м. Вода под торфом изолирует торфяник от постоянно мерзлого слоя на дне водоема, и торфообразование может продолжаться. В мелких озерах промерзание мелкого водоема ведет к промерзанию залежи и прекращению накопления торфа. И торфяная залежь суходольного происхождения под лиственничными сфагновыми марями также не достигает значительной мощности. М.И. Нейштадт для сфагновых лиственничников Центральной Якутии приводит глубину торфа 0,3-0,4 м, а для торфяников надпойменных террас – до 1 м.

Осоково-гипновые болота широко распространены; в тундре они встречаются гораздо чаще, чем сфагновые болота, и везде, в том числе и в лесной Якутии, превосходят последние по мощности торфа. Флористический состав мало изменяется с юга на север, но на севере становятся заметны признаки деформации поверхности благодаря морозным явлениям. Большое болото располагается в долине реки Яны, в лесной зоне, в центре с озерами и грядами мерзлотного вспучивания и прямоугольниками, ограниченными морозобойными трещинами. Края трещин приподняты; на них ерник, голубика, ивы, а в трещинах лед. Мощность торфа в центре составляет 2,0-2,5 м. Мерзлота встречается на глубине 0,3-0,4 м.

По данным М.С. Боч и В.В. Мазинга [3] к востоку от р. Лены раскинулась обширная горная страна, пересеченная горными хребтами (Верхоянский, Черского) и долинами больших рек (Яна, Индигирка, Колыма). Несмотря на резко континентальный климат, долины в значительной мере заболочены, так как вечная мерзлота близка к поверхности, однако залежи торфа маломощные. Основные типы растительности - горная тундра и лиственничное редколесье; в последнем местами - маломощный горизонт торфа (0,2-0,5 м) и сфагновый покров (Sphagnum lenense, S. girgensohnii). 3aболоченные лиственничники называются здесь марями. Это самый обычный тип болота в Восточной Сибири. По речным долинам, особенно на севере, встречаются полигональные болота. Осоковые болота (Carex stans, C. rotundata, C. rariflora, Eriophorum angustifolium) с большим количеством мхов (Sphagnum balticum, S. lenense, S. squarrosum, S. fimbriatum, Calliergon stramineum) широко распространены по всей провинции. Характерные для провинции сообщества из кочкообразующих осок (Carex lugens и др.) и Eriophorum vaginatum следует рассматривать не как болота, а как кочкарную заболоченную тундру.

По Н.И. Нейштадту и М.Н. Никонову [4], на севере Якутии имеется ряд торфяных залежей, порой обладающих большой мощностью и значительным протяжением. Например, торфяные обнажения тянутся на большое расстояние вдоль реки от с. Казачье до Усть-Янска. Мощность торфа до 4 м. Торф имеется в районе Ссыпного яра, а также устья р. Ерчи (Ерчинские обнажения). Глубина торфа доходит до 3 м, в дельте Индигирки - до 1 м. Имеется торф от пос. Якова до устья рек Юёли и Суолемы и по островам р. Анабар. Обнажения торфа на берегу реки - мощностью до 4 м.

Эти торфяные залежи сосредоточены в приморской низменности или в нижнем течении и устьях рек. По всей видимости, торфяные залежи распространены там довольно широко. По типу это низинные залежи со значительным развитием слаборазложившихся торфов с малой и средней зольностью. Основное их назначение - подстилочные материалы для широко развитого в этом районе животноводства, а также топливное использование (местное коммунальнобытовое топливо) для населенных пунктов. К сожалению, прямых данных по стратиграфии и техническим свойствам этих торфяников нет, но так как вся эта территория в смысле торфяного районирования относится к области полярных реликтовых торфяников, то это дает нам возможность проанализировать физико-механические свойства торфяных залежей, а также предусмотреть возможные технологии их разработки [5, 6]. Залежь постоянно скована вечной мерзлотой. Вероятно, что кроме традиционных подходов на этих месторождениях могут быть применены послойные или взрывные способы добычи. Однако это направление требует отдельного научного исследования, включающего физико-химические характеристики торфяного сырья, технологическое обоснование и выбор оборудования для добычи и переработки торфа.

По данным *Н.А. Хотинского* [7], на разрезе аласного торфяника, расположенного в низовьях Яны на Яно-Омолойском междуречье, в 35 км к за-

паду от с. Казачье вскрывается залегающая на черных суглинках торфяная толща, ровная поверхность которой перекрыта плащом маломощных суглинков солифлюкционного происхождения. Нижний контакт торфа с суглинками резковолнистый, клиновидный, при этом мощность торфа колеблется от 1,5 до 4,5 м.

На участках с максимальной мощностью торфяной залежи прослеживаются своеобразные «торфяные клинья», возникшие в результате термокарстовых просадок. На одном из таких участков была проведена расчистка обнажения и заложен разрез, вскрывший следующие слои: суглинок (0–0,2 м), сфагново-осоковый торф (0,2–3,1 м), травянисто-осоковый торф (3,1–4,25 м), суглинки (ниже 4,25 м).

Анализ изменения характера спорово-пыльцевых спектров отложений позволяет выделить в голоцене три основных этапа развития растительного покрова в низовьях Яны.

Первый из них соответствует времени накопления озерных суглинков и нижнего пласта торфа в интервале от 2,9 до 6 м. В растительном покрове, относящемся к этому этапу, преобладали кустарничковые березы, ольховый стланик и гипновые мхи, тогда как травянистые группировки и сфагновые мхи находились в угнетенном состоянии. В целом растительность имела облик кустарниково-моховой тундры, развивавшейся в довольно суровых климатических условиях. В конце первого этапа произошло некоторое потепление, вызвавшее появление березовых древостоев. Второй этап (1-2,9 м) знаменует качественно новый период в развитии растительности района. Значительную роль начали играть лиственничные древостои. Третий этап соответствует периоду накопления верхних слоев торфа и перекрывающих их суглинков (0-1 м). Относящиеся к этому времени изменения в растительном покрове указывают на похолодание.

Важное значение для определения хронологии изменений природных условий в низовьях Яны имеет ра-

диоуглеродная дата рубежа второго и третьего этапов развития растительности, которая получена для образцов торфа с глубины 0,70–0,75 м. Согласно этой дате – 4730 ± 120 лет – похолодание в начале третьего этапа, вызвавшее деградацию лесной растительности в низовьях Яны, следует отнести к началу суббореального периода.

По данным отчета НПО «Якутскгеология» [8], центральная часть Табалахской впадины формировалась в процессе тектонического погружения. Для впадины характерен равнинный, слаборасчлененный, аккумулятивный рельеф. В пределах всей впадины развиты термокарстовые процессы. Признаком широкого развития термокарста считается заозерность территории.

Адыча-Табалахский гидрогеологический бассейн полностью проморожен, и движение вод здесь не происходит. В области, где имеются большие озера, сплошность мерзлых пород нарушается. Размеры подозерных таликов могут зависеть от генезиса и размеров озерных котловин, глубины воды, ее состава и т. д. В зависимости от этих факторов встречаются подозерные сквозные и несквозные замкнутые талики. Глубина залегания вод подозерных таликов разная. В подозерных частях она определяется глубиной воды, а на обсохших, промерзающих участках котловины соответствует мощности новообразовавшихся мерзлых пород. На этих участках вода приобретает криогенный напор.

Например, под озером Улахан-Кюель мощности многолетнемерзлых пород постепенно увеличиваются в сторону от озера. Причем увеличение мощностей в разные стороны происходит неравномерно. Таликовые зоны по своим очертаниям совпадают с контурами озерной котловины оз. Улахан-Кюель, что указывает на постепенное промерзание талика.

Табалахская торфяная партия [9] в 1954 г. завершила работу по выявлению и оценке торфяных месторожде-

ний района. Торфопоисковые и торфоразведочные работы производились с 1.10.41 г. по 31.12.43 г. с перерывом на три месяца в 1943 году (январь-март) для выполнения камеральных работ, которые были закончены в 1944 году. В 1941-м и 1942 гг. задачей торфяной партии являлись поиски и рекогносцировка торфяных месторождений для нужд Эгеханского комбината и в 1943 г. – выявление топливной базы для Алысхайского горнорудного узла.

На Табалахе выявлены 52 объекта. Выявлялись при общем обследовании заторфованные участки и озера с мощностью торфяного пласта более 0,5 м. Наиболее ценные в промышленном отношении объекты разведаны рекогносцировочно по категории  $C_2$  и остальные – маршрутно по категории P. По категории  $C_2$  разведано 19 объектов общей площадью по промзалежи более 3 тыс. га и запасом торфа-сырца – 40 млн м³. Низкие категории установлены из-за недостаточности данных о качестве торфа и категориях сырья.

Для промышленного использования наибольший интерес представляет группа из 14 объектов, расположенная по правобережью р. Табалах на расстоянии не более 10 км друг от друга и в 75–90 км на восток от поселка Эге-Хая. В эту группу входят следующие объекты (табл. 1).

**Таблица 1.** Перспективные торфяные месторождения

Table 1. Prospective peat deposits

№ по кар- те	Название месторож- дения	Площадь промыш- ленной залежи, га	Средняя мощность торфа, м	Запас торфа- сырца, м <sup>3</sup>	Запас в/с торфа с 33% влажности, тонн
10	Кылыс - Алы	16,7	1,28	213 760	23 500
11	Тона	164	0,95	1 558 000	171 000
12	Монча- рыылаах	15,5	2,30	125 400	14 000
14	Булгунь- яхтах	16,5	1,40	231 000	25 400
15	Ююардах 2	45,1	1,25	581 550	64 000
17	Силян	84,8	1,17	992 160	109 000
18	Оюрдах 1	33,5	1,08-1,96	396 120	43 000
16	Арыктах	91,5	1,06-1,86	1 038 100	113 000

№ по кар- те	Название месторож- дения	Площадь промыш- ленной залежи, га	Средняя мощность торфа, м	Запас торфа- сырца, м <sup>3</sup>	Запас в/с торфа с 33% влажности, тонн
19	Ыйлах	584	1,76-2,0	10 624 000	1 140 000
20– 21	Токулан, Тумусах, Моргалю и др.	277	0,56–1,35	2 226 950	232 000
22	Хотогор	377	1,27-2,78	7 762 600	800 000
23– 26	Багалах В. и Н., Тоунах- Алы, Ханар	87	0,87–2,70	955 700	103 000
30	Кагыр	137	0,76-1,0	1 235 600	124 000
71	Хатыннах	33	1,85	610 500	61 000
итого		1953	1,46	28 551 440	3 234 400

При определении запаса в тоннах выход в/с торфа из 1 м³ сырца принимался: по озерному талому обводненному торфу – в 0,1 т и по торфу приозерных площадей и с уплотнившейся залежью – в 0,11 т.

Приозерные заторфованные площади в настоящее время являются подсушенными вследствие понижения горизонта воды в озерах и покрыты, вместо болотной, луговой злаково-разнотравной растительностью. Встречаются и пересушенные участки - взбугренные береговые валы с обнаженным торфом, лишенные всякой pacтительности. Растительность на приозерных площадях меняется в соответствии с меняющимся микро-мезорельефом этих площадей.

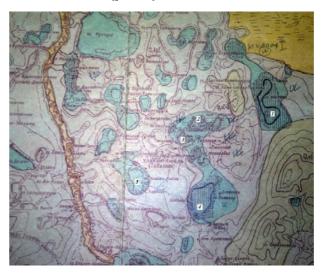
Торф озерного образования темнобурого или черного цвета является мелкозернистым и хорошо разложившимся. Зольность его всегда выше 10%. В озерах он круглый год находится в талом состоянии, при высыхании слипается в плотный комок, особенно если в нем имеется значительная примесь сапропеля. На приозерных же площадях торф находится в мерзлом состоянии, оттаивая к концу лета лишь на глубину 0,5 м. При высыхании он обычно рассыпается и растирается в тонкий порошок.

Бугровый гипновый торф имеет пониженную степень разложения, а бугровый кустарничковый – хорошую.

В буграх нередко встречаются пни и стволы лиственницы.

Мощность торфа на буграх и в межбугровых западинах различна. Наиболее крупными из указанной промышленной группы являются торфяные месторождения Ыылаах и Хотогор.

Месторождение Ыылаах расположено в бассейне р. Туостах, находясь от нее на расстоянии 10–15 км. Месторождение Хотогор расположено в бассейне р. Табалах, находясь от нее на расстоянии 5 км (рис. 1).



**Puc. 1.** Объекты Табалахской группы торфяных месторождений, обследованные в августе 2012 г. (схема из отчета ТГРП 1954 г.):

1 - Ыылаах; 2 - Тумусах; 3 - Токолоон;

4 – Хотогор; 5 – Улахан-Кюель

*Fig. 1.* Objects Tabalahskoy of peat deposits surveyed in August 2012 (the scheme of the report TGRP 1954):

1 - Yylaah; 2 - Tumus; 3 - Tokoloon;

4 – Ho togor; 5 – Ulakhan-Kyuyol

Месторождение Хотогор. Месторождение делится на приозерную промороженную часть и подводную или подозерную. Большая часть запасов торфа приходится на подозерную часть. На площади месторождения выделяются 7 участков с зольностью торфа свыше 25%. Контур озера совпадает с основными запасами торфа, находящегося в незамершем состоянии. При добыче торфа из акватории нижний слой торфа может быть также ис-

пользован, так как его природоохранная функция в этом случае не выполняется. Глубина воды в озере в основном колеблется от 1,5 до 1,8 м. В озере в месте сосредоточения основных запасов торфа его мощности составляют 2–4 м (1,6–5,65 м) (рис. 2). На приозерной части выделяются два глубокозалежных участка площадью 10 га каждый. Они в целом изолированы от основной залежи.



**Рис. 2.** Характер залегания торфяных отложений озера Хотогор

*Fig. 2.* Mode of occurrence of peat sediments of the lake Hotogor

Месторождение Ыылаах. Месторождение делится на приозерную промороженную часть и подводную или подозерную. На обе части приходятся равные части запасов торфа. На площади месторождения выделяются 8 участков с зольностью торфа свыше 25%. В основном на приозерной части залежи. В озере присутствует незамерзший торфяной слой средней мощностью около 2 м. Такая же мощность у торфяной залежи в приозерной части. При добыче торфа из акватории нижний слой торфа может быть также использован. Глубина воды в озере в основном колеблется от 1,0 до 1,5 м. В озере максимальная глубина с торфяными отложениями составляет 5,1 м в одной точке. Торфяная залежь имеет непрерывные границы и слой торфа в целом по месторождению почти ровный.

По предварительной оценке, общая площадь полезной топливной залежи составляет 961 га и общий полезный топливный запас по обоим месторождениям – 1 млн. 940 тыс. тонн в пересчете на условную влажность (табл. 2).

Таблица 2. Общая площадь полезной топливной залежи и общий полезный топливный запас месторождений Хотогор и Ыылаах

**Table 2.** The total area of usable fuel deposits and total deposits of useful fuel supply and Hotogor Yylaah

Место- рождение	Площадь полезной залежи, га	Запас торфа- сырца м <sup>3</sup>	Запас в/с торфа, т
Ыылаах: приозер- ная пло- щадь, озеро	440 144	7 744 000 2 880 000	852 000 288 000
Итого	584	10 624 000	11 400 000
Хотогор: приозер- ная пло- щадь, озеро	180 197	2 286 000 5 476 600	252 000 548 000
Итого	377	7 762 600	800 000
Всего	961	18 386 600	1 940 000

Общий запас этих 2 месторождений составляет более 60% от запаса всей промышленной Табалахской группы.

По степени разложения торфа (45–55%) месторождения Ыылаах и Хотогор являются объектами с качественным топливным сырьем.

По зольности торфа эти месторождения относятся к умеренно-зольным (средняя зольность – от 10,3 до 15,5 на абсолютно-сухое вещество).

Теплотворность торфа колеблется от 4284 до 5073 ккал/кг в пересчете на абсолютно-сухое вещество и от 2800 до 3380 ккал/кг – при рабочей влажности.

Кроме месторождений Ыылаах и Хотогор визуально обследовались месторождения Токолоон и Тумусах. В целом они показали такие же параметры и особенности развития, как и первые два месторождения.

На месторождении Токолоон только половина озера имеет промышленную залежь. При слое воды 1,7 м залежь имеет мощность до 1–1,5 м. Объем промышленной залежи занимает около 10 га. Торф вверху (0–0,4 м) – слаборазложившийся гипновый, ниже степень разложения увеличивается, торф травяной. Как и везде, торф на при-

озерной части до 0,5 м пронизан корнями современных луговых растений.

На месторождении Тумусах выделяются две части промышленной залежи 15 и 6 га с мощностью торфа, близкой к мощности торфяных отложений Токолоона.

В целом добыча торфа на месторождениях Токолоон и Тумусах для получения топлива возможна только для местных нужд (пос. Улахан-Кюель).

Современные торфяные болота на территории Якутии-Саха не имеют устойчивого торфонакопления, и не превышают по мощности 0,8 м. Обычно в торфяных отложениях на глубине промораживания-оттаивания (0,6-0,8 м) происходит значительное изменение свойств торфа по зольности, степени разложения, составу и другим показателям. Совмещение современных отложений и отложений реликтового промороженного торфяника присутствует часто, но это не влияет на скорость торфонакопления.

Большинство месторождений являются реликтовыми (промороженными и перекрытыми минеральными наносами) с мощностью до 5 м. Начиная с 4–4,8 тыс. лет, на севере Восточной Сибири наступает похолодание, вызвавшее нарушение типичного для таежной зоны торфонакопления. Торфяные отложения в озерах мощностью более 0,9 м являются условно захороненными (покрытыми слоем воды) и их следует считать реликтовыми торфяными месторождениями промышленного значения.

Табалахская впадина, вероятно, некоторое время составляла одно мелководное озеро. По мере дренирования впадины реками Табалах и Туостах на ее территории сохранились несколько озер, на месте которых с 10 до 4,5 тыс. лет активно протекали процессы заболачивания и торфонакопления. Мощность накопленного торфа составляла от 1 до 5 м. Низинный тип торфа указывает на богатое минеральное питание. В тот момент времени большинство болот таежной зоны, которые в настоящее время являются верховыми с мощностью залежи до 5–8 м, выглядели аналогично озерам Табалахской впадины.

Наличие остатков водных растений и животных указывает, что на первом этапе формирования болота уровень воды колебался в значительной мере, попеременно вызывая появление озера или болота. Это характерно для болот озерного происхождения.

После замораживания торфяников под их центральными частями вероятнее всего сформировались талики, что привело к «просадке» поверхности торфяника и накоплению воды над торфяной залежью в виде озера. Пучение торфяных отложений происходило, прежде всего, в береговой зоне озера-торфяника, что только оформило контур озера. Если придерживаться классической схемы образования аласов или хасыреев, то под озером должно произойти смыкание мерзлоты над таликом с последующим образованием мерзлотных бугров. То, что этого не произошло до настоящего времени, объясняется достаточно большой глубиной воды в озерах.

Талик под Ыылаахом уменьшается, на что указывает уменьшение площади озера по отношению к площади торфяника. При том, что контуры озера повторяют контуры торфяника. Талик под озером Хотогор также уменьшается, но не так быстро, что связано с большей глубиной озера (в среднем до 4–4,5 м), включая торфяные отложения. Глубина озера Ыылаах с торфом – в основном до 3–3,5 м.

Пучение на месторождениях Хотогор и Ыылаах имеет следующий характер. Бугры вдоль границы озера, далее при наличии торфяной залежи более 0,8 м – сырые луга со слабо выраженным полигональным рельефом. Внешне поверхность кажется гладкой. В зоне между промышленной и нулевой границами поверхность в целом суше и хорошо видны мерзлотные полигоны, но с признаками их деградации в виде небольших водоемов между ними. Появляются заросли кустарника. Еще ближе к коренному склону полигональный рельеф не выражен, появля-

ются разреженные древостои из лиственницы.

Между мощностью торфяных отложений в озере с их зазоленностью присутствует следующая связь — чем больше мощность, тем меньше зазоленность. Зольность торфяной залежи в озере увеличиваеся при приближении к минеральным границам месторождения. Повышенная зольность торфяных отложений присутствует в озере при мощности отложений менее 2 м.

Мощность торфяных отложений в озере Хотогор свыше 2 м имеет концентрический характер в виде воронки, что указывает на термокарстовое происхождение озера. На озере Ыылаах форма торфяной залежи имеет двутавровый вид – две элипсообразные области, соединенные узкой протокой.

Торфяные месторождения Ыылаах и Хотогор можно отнести к ценным топливным объектам, но в эксплуатационном отношении их разработка сопряжена с трудностями технологического характера, так как они расположены в озерных трудно осушаемых котловинах. Месторождение Хотогор может быть дренировано поверхностным осушением. Расстояние до водоприемника в юго-восточном направлении - не менее 4 км с перепадом высот 8 м. Месторождение Ыылаах не может быть осушено поверхностным способом. В целом рекомендуется вести добычу непромороженного торфа с акватории озер. Таким образом, не будет нарушена система сенокосов и, вероятно, повысится рыбопромысловое значение этого водного объекта.

#### Библиографический список

- 1. Городков Б.Н. Растительность Арктики и горных пустынь СССР // Растительность СССР. Т. 1. М.–Л.: Изд. АН СССР, 1938. С. 297–354.
- 2. *Кац Н.Я.* Болота Земного шара. М.: Наука, 1971. 296 с.
- 3. *Боч М.С., Мазинг В.В.* Экосистемы болот СССР. Л.: Наука, 1979. 188 с.
- 4. Торфяные месторождения Якутской АССР // Проблемы Севера. М.: АН СССР, 1958. Вып. 2. С. 130–155.
- 5. Мисников О.С., Тимофеев А.Е., Михайлов А.А. Анализ технологий разработки торфяных месторождений в странах дальнего и ближнего зарубежья // Горный информационноаналитический бюллетень. М: МГГУ, 2011. № 9. С. 84–92.
- 6. *Мисников О.С., Тимофеев А.Е.* О рациональном использовании энергетических и минеральных ресурсов торфяных месторождений // Горный журнал. № 11. 2008. С. 59–63.
- 7. *Хотинский Н.А.* Голоцен Северной Евразии. М.: Наука, 1977. 200 с.
- 8. Отчет о работах по поискам подземных вод для объекта Улахан-Кюель (Табалах) Верхоянского района Якутской АССР в 1979–82 гг. / Янская геологоразведочная экспедиция НПО «Якутскгеология». Батагай, 1982 г.
- 9. Отчет о работах Табалахской торфяной партии за 1954 г. / Янское районное геолого-разведочное управление ГУС ДС МЦМ СССР. Батагай, 1954 г.

УДК 552.557:581.526

#### Сомов В.В.

Сомов Всеволод Владимирович, магистрант 1-го курса каф. геоэкологии и природопользования Санкт-Петербургского государственного университета, 199178, Санкт-Петербург, 10-я линия В.О, д. 33–35, vomos v v@mail.ru

#### Галанина О.В.

Галанина Ольга Владимировна, к. б. н, доцент каф. геоэкологии и природопользования СПГУ

#### СОДЕРЖАНИЕ СЕРЫ В СФАГНОВЫХ МХАХ И ТОРФАХ СРЕДНЕТАЕЖНЫХ БОЛОТ КАРЕЛИИ

Аннотация. Исследования проводились в Карелии на территории ГПЗ «Костомукшский» и в г. Костомукша (64° 35' с. ш., 30° 36' в. д.) в июне 2011 г. Отбор проб производился на эталонных площадях размером 10×10 или 5×20 м (вытянутые вдоль уреза воды), расположенных на приозерных олиготрофных и мезоолиготрофных участках верховых болот со сходными растительными сообществами. Выбирались ковровые местообитания вблизи озерков. Заложено 10 площадей. На каждой были заложены пробные площадки размером 1×1 м, где выполнялись геоботанические описания. Преобладали осоково-шейхцериево-сфагновые сообщества (доминант - Sphagnum majus). Анализ проб на содержание общей серы проведен по методике А.Д. Мочаловой (1975). Проанализировано 29 образцов мха и 22 - торфа. Среднее содержание серы в образцах мхов - 0,11 ± 0,01%. Средняя зольность мхов - 1,6 ± 0,2%. Среднее содержание серы в образцах торфа - 0,51 ± 0,04%. Средняя зольность торфа - 2,3 ± 0,5%. Связь между содержанием серы в мхах и торфе на глубине 20 см отсутствует. Содержание серы в торфе выше среднего (0,21%), но ниже максимального значения (7,81%) болот Финляндии на тех же подстилающих архейских гранитоидах и гнейсах (Herranen, 2009).

Ключевые слова: сфагнум, торф, содержание серы, экология болот, таежные экосистемы, Карелия

#### Somov V.V.

Somov Vsevolod undergraduate 1st year of Department. Environmental Geoscience and Environmental Department of Geography and Environmental Geoscience St. Petersburg State University, 199178, St. Petersburg, 10th Line of Vasilievsky Island, on 33–35.

#### Galanina O.V.

Galanin Olga V. PhD, associate professor of Dep. Geoecology and nature SPSU

# SULFUR CONTENT IN PEATS AND SPHAGNUM MOSSES ON MIDDLE-BOREAL KARELIAN MIRES

Abstract. Monitoring of air pollution for Sulfur compounds using sphagnum mosses and upper layers of peat deposits of boreal mires seems to be prospective but little studied research field. The area studied is situated in the Republic of Karelia, Russia (64°35'00 N 30°36'00 E). A field work was done in June 2011. The field samples were taken on mires formed in strongly paludified depressions of crystalline bedrock. Study plots were the oligotrophic and mesooligotrophic lakeside sites of boreal bogs and aapa-mires. All together 10 plots with a size of 100 m<sup>2</sup> were made. Vegetation description, sampling of mosses and peats were done on smaller plots (1 m2). We have analyzed 22 peat and 29 moss samples for total sulfur content following Mochalova A.D. (1975). Peat mosses were mainly Sphagnum majus and S. fallax. Average content of sulfur in Sphagnum mosses is 0,11%, in peat -0,51%. The coefficient of pair correlation between the content of total sulfur in moss samples and peats was calculated in MathCAD with built-in function (0,108), therefore the correlation is actually absent. The content of sulfur in our peat samples is higher, than average (0,21%) but lower than maximum values (7,81%) obtained by Herranen (2009) for mires on Archean granitoids and gneisses in Finland.

*Key words*: sphagnum, peat, sulfur content, mire ecology, boreal nature, Russian Karelia

#### Введение

Изучаемая территория находится в пределах центральной части Западно-Карельской возвышенности к северу и к югу от 64° с. ш. и между 30° и 32° в. д. Денудационно-тектонический холмисто-грядовый рельеф с комплексом ледниковых и водно-ледниковых образований наиболее типичен для восточной Фенноскандии.

исследованной территории встречается два вида ландшафтов: а) частично заболоченные крупнохолмисто-грядовые возвышенности денудационно-тектонического происхождения, с доминированием сосны; б) сильнозаболоченные мелкохолмисто-грядовые депрессии кристаллического фундамента с доминированием сосны [1]. Все изученные нами на полуострове объекты располагаются во втором ландшафте. Для торфяного района, в составе которого находится участок исследований, характерна заболоченность 18,7% [2]. На исследотерритории встречаются ванной несколько типов сфагновых болот: а) открытые болота, мезотрофные и омбротрофные; б) облесенные болота по окрайкам открытых болот; торф однородный от дна до поверхности, сильно разложившийся; в) болота, формирующиеся между грядами на суходолах; придонный слой торфа - древесно-осоковый, верхние 0,5-0,7 м омбротрофный сфагновый торф; г) болота, сформировавшиеся на месте мелководных заливов оз. Каменного представляют собой небольшие, несколько сотен метров длиной, мезо- и олиготрофные болота. Отмечено наличие сапропеля под слоем торфа на некоторых участках. Наиболее характеросоково-сфагновые, пушицевосфагновые, пухоносово-сфагновые, шейхцериево-сфагновые сообщества. Использование именно этих плоских приозерных участков с мезоолиготрофным режимом представляется нам более предпочтительным по причине сглаженного микрорельефа и бедного минерального питания. Важным критерием для определения тро-

фического статуса является рН болотных вод. Этот показатель играет значительную роль и в российской, и в финской классификации болотных массивов. Болота с рН вод в диапазоне приблизительно от 4 до 5, как правило, относятся к олиготрофным. На исследованных участках рН болотных вод находился в диапазоне от 3.5 до 4.7. Глубина стояния болотных вод также имеет значение для описания экологических условий болотного участка и отнесения его к определенному типу. Подавляющая часть описанных участков относится к категории среднего уровня вод (5-20 см от поверхности), каковой является предпочтительным для большинства сфагновых мхов и небольших осоковых (Eriophorum vaginatum, Carex magellanica, Carex pauci*flora* и др.).

Целью работы являлось изучение содержание серы в различных компонентах аккумулятивных участков заболоченных мелкохолмисто-грядовых депрессий кристаллического фундамента с доминированием сосны, в связи с возможностью поступления серы из атмосферы в качестве загрязнителя. Были поставлены следующие задачи:

- изучить содержание общей серы в образцах близких по экологии видов сфагновых мхов (Sphagnum majus, S. fallax, S. balticum, S. angustifolium), отобранных в сходных фациях малых болот конкретного ландшафта;
- изучить содержание серы в образцах торфа с глубины 20–25 см (ниже расположения основной части корней кустарничков и небольших осоковых) на тех же участках; сравнить с данными исследований регионального масштаба;
- определить сопутствующие характеристики (рН болотных вод, зольность образцов) и сопоставить их с содержанием серы в образцах мхов и торфа.

#### Методика исследований

Отбор проб производился на эталонных площадях (обозначены рим-

скими цифрами в номере пробы), расположенных на приозерных олиготрофных и мезоолиготрофных участках различных верховых болот со сходными растительными сообществами. Размер эталонной площади составлял 10×10 м или 5×20 м (вытянутые вдоль уреза воды) (100 м²). На каждой из эталонных площадей были заложены пробные площадки размером 1×1 м, где выполнялись геоботанические описания и отбирались пробы (далее площадки 1×1 м будем называть точками). Всего было заложено 10 эталонных площадей: I-VIII - на территории заповедника, IX, X - на территории г. Костомукша.

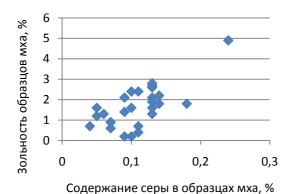
В качестве эталонных площадей выбирались ковровые местообитания, относительно гомогенные, без выраженного микрорельефа, расположенные вблизи остаточных озерков или озер. Растительность эталонных площадей была представлена осоковосфагновыми (Carex magellanica, Sphagnum Lindbergii, S. angustifolium), осоково-шейхцериево-сфагновыми (Carex magellanica, Scheuchzeria palustris, Sphagnum majus, S. balticum, S. fallax) сообществами. Растительные сообщества мочажин и ковров относятся к ассоциации Caricetum magellanicae Osvald 1923. Большинство площадей имело осоково-шейхцериево-сфагновый кров (доминант - Sphagnum majus). По возможности мы стремились отбирать мочажинные мхи одного вида. Были отобраны широко распространенные в Карелии виды, близкие по экологии, образующие наиболее значимые растительные формации мочажин верховых и переходных болот: Sphagnum majus, S. balticum, S. fallax, S. Angustifolium [3]. На каждой точке отбиралась проба мха методом конверта. На некоторых точках каждой площади отбирались пробы торфа с глубины 20-25 см, т. е. глубже зоны расположения основной части корней кустарничков и небольших осоковых. На 3-5 точках каждой площади отбирались пробы болотных вод (0-5 см), с последующим определением значения рН на

рН-иономере «Эксперт-001»; измерялся уровень болотных вод. На одном из болот (в районе пробной площадки IV) проведено зондировочное бурение торфа методом профилирования. Всего отобраны 31 образец мха и 25 образцов торфа. Определение видовой принадлежности сфагновых мхов и сопутствующих мохообразных проводилось с помощью определителей [4, 5] в лаборатории географии и картографии растительности БИН РАН. Обработка геоботанических описаний выполнялась согласно методике, изложенной Миркиным и др. [6], использовался также продромус синтаксонов растительности болот Северо-Запада России [7]. Химический анализ проб торфа и мха на содержание общей серы проводился по методике Мочаловой [8] в лаборатории геоэкологического мониторинга факультета географии и геоэкологии СПбГУ. Определялась зольность образцов сфагнов и торфа. Зольность каждого образца торфа определялась в трехкратной повторности, чтобы учесть неоднородность торфа.

#### Результаты

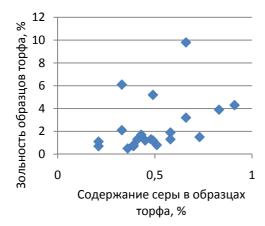
Среднее содержание серы в образцах мхов - 0,11 ± 0,01%, коэффициент вариации - 0,4. Средняя зольность мхов 1,6 ± 0,2%, коэффициент вариации – 0,6. Среднее содержание серы в образцах торфа - 0,51 ± 0,04%, коэффициент вариации - 0,4. Средняя зольность торфа – 2,3 ± 0,5%, коэффициент вариации - 1,0. Торф слаборазложившийся, сложен преимущественно сфагновыми мхами. рН болотных вод лежит в пределах от 3,5 до 4,5, что характерно для олиготрофных местообитаний.

Визуально связь между содержанием серы и зольностью сфагновых мхов не прослеживается (рис. 1). Для образцов торфа связь между зольностью и содержанием серы, возможно, существует (рис. 2). Но для подтверждения этой гипотезы статистическими методами требуется большее количество образцов.



**Puc. 1**. Связь между содержанием серы в сфагновых мхах и их зольностью

*Fig. 1.* The relationship between the sulfur content of Sphagnum mosses and ash



**Puc. 2**. Связь между содержанием серы в торфе и зольностью торфа

*Fig. 2.* The relationship between the sulfur content in the peat and peat ash

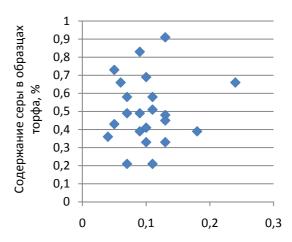
#### Обсуждение

Кислотность болотных вод не оказывает влияния на содержание серы ни в образцах мхов, ни в образцах торфа (корреляция между этими показателями отсутствует). Отсутствие корреляции между содержанием серы в образцах мхов и ее содержанием в торфе на глубине 20–25 см (коэффициент <0,1; рис. 3) может свидетельствовать о том, что не происходит подтока соединений серы из нижележащих горизонтов торфа к зоне расположения корней кустарничков и мелких осоко-

вых. Имеются данные об отсутствии связи между содержанием ряда биогенных элементов (например, Р, К) в живых сфагновых мхах и торфе на глубине 10–20 см [3] – возможно, это справедливо и для серы.

Согласно С.Н. Тюремнову [9], зольность для верхового типа торфа в среднем составляет от 2 до 4%. В нормально зольном торфе содержание общей серы – от 0,02 до 1,2% и возрастает от верхового к низинному торфу, от мохового к древесному.

По данным В. К. Антипина [10], приведенным для южной Карелии (болото Неназванное, олиготрофная грядово-мочажинная Sphagneta fusci + Sphagneta baltici фация), среднее содержание серы в сфагновом мочажинном верховом торфе – 0,01% (по весу на абсолютно сухое вещество), на глубине 10–20 см, при зольности 1,68% (в наших образцах – 0,51% при зольности 2,3%). Однако в торфе всех типов органическая сера составляет около 75% общей серы [9].



Содержание серы в образцах мха, %

**Puc. 3**. Связь между содержанием серы в образцах сфагновых мхов и в торфе

*Fig. 3*. The relationship between sulfur content in the samples of sphagnum moss and peat

Можно также сопоставить результаты с данными исследования торфов, проведенного в Финляндии [11, 12] захватывающего всю территорию этой стра-

ны. Средняя концентрация серы (S) в торфе - 0,24% по Финляндии. В сфагновых торфах - 0,20%. В слаборазложившихся торфах, сложенных сфагсекции Acutifolia, - 0.06%. в осоковых - 0,27%, в моховых - 0,43%. Для большинства проб концентрация близка к средним. Наиболее распространенный тип - Sphagnum-Carex (SCpeat). Для сфагновых торфов характерны наиболее «гладкое» распределение и концентрация S, в среднем наименьшая. Имеется тенденция снижения содержания серы параллельно снижению степени разложения торфа. Наибольшее содержание серы - в придонных слоях торфа. Значения содержания серы в наших образцах - выше средних, но ниже максимальных значений, приведенных в финском исследовании для торфа со степенью разложения 2 и выше по 10-балльной шкале (табл. 1).

**Табл. 1.** Среднее содержание серы в торфе (%) в зависимости от степени разложения [11]

**Tab. 1.** Average sulfur content in peat (%) in connection with the degree of peat decomposition (Geological survey of Finland, 2009)

Н (сте- пень разло- жения)	Коли- чество проб	Мини- мум	Макси- мум	Сред- нее зна- чение	Стан- дартное отклоне- ние
1	10	0,1	0,3	0,13	0,0756
2	645	0,0	1,0	0,11	0,0618
3	3502	0,0	5,3	0,16	0,2029
4	10819	0,0	22,0	0,24	0,4168
5	7328	0,0	23,3	0,26	0,5262
6	5094	0,0	11,7	0,27	0,3873
7	3222	0,0	12,1	0,26	0,3458
8	1686	0,0	14,6	0,27	0,4504
9	237	0,1	9,3	0,46	0,8985
10	3	0,1	0,7	0,41	0,3089
Общее	32546	0,0	23,3	0,24	0,4218

Они также выше средних значений (0,21%), но ниже максимальных (7,81%), установленных для болот, подстилаемых гранитоидами и гнейсами [11]. Мы предполагаем наличие

связи между зольностью торфа и содержанием в нем серы. Это соотносится с литературными данными, где отмечается, что повышенная концентрация создается за счет сульфатной формы серы, остающейся в золе [9]. Авторы финского исследования также отмечают связь между содержанием серы и зольностью.

В связи с тем, что значения содержания серы в образцах мхов и торфа отличаются значительным разбросом во внешне очень сходных фациях, представляется важным искать некий фактор (вероятно, природный фактор местного характера), вызывающий эти отклонения.

#### Библиографический список

- 1. *Gromtsev A.N., Kolomytsev V.A., Shelekhov A.M.* The landscapes of the Kostomuksha Nature Reserve // Ecosystems, fauna and flora of the Finnish-Russian Nature Reserve Friendship., Finnish Environment, № 124. Finnish Environment Institute, 1997. P. 31–42.
- 2. *Елина Г.А., Токарев П.Н.* Закономерности аккумуляции органики и углерода в болотных экосистемах Карелии // Труды КарНЦ РАН №1 сер. Биогеография. Вып. 10. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. С. 34–51.
- 3. *Елина Г.А., Кузнецов О.Л., Макси-мов А.И.* Структурно-функциональная организация и динамика болотных экосистем Карелии. Л.: Наука, 1984. 128 с.
- 4. *Савич-Любицкая Л.И., Смирнова З.Н.* Определитель сфагновых мхов СССР. Л.: Наука, 1968. 300 с.
- 5. *Eddy A., Daniels R.E.* Handbook of European Sphagna. Huntington, 1985. 262 p.
- 6. *Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломещ А.И.* Современная наука о растительности. М.: Логос, 2000. 264 с.
- 7. *Боч М.С., Смагин В.А.* Флора и растительность болот Северо-Запада России и принципы их охраны /

- Под ред. Ипатова В.С. Вып. 7. СПб.: Гидрометеоиздат, 1993.
- 8. *Мочалова А.Д.* Спектрофотометрический метод определения серы в растениях // Сельское хозяйство за рубежом, 1975. № 4. С. 17–21.
- 9. *Тюремнов С.Н.* Торфяные месторождения. М.: Недра, 1976. 488 с.
- 10. Антипин В.К. Биологическая продуктивность, круговорот азота и зольных элементов в растительном покрове болотных фаций // Болот-

- ные экосистемы Европейского Севера. Петрозаводск. 1988. 206 с.
- 11. *Geological* survey of Finland. Report of peat investigation 398. T. Herranen. Turpeen Rikkipitoisuus suomessa. Espoo, 2009. 118 pp.
- 12. *Herranen T.* Turpeen rikkipitoisuus Suomen soissa tuloksia laaiasta turveinventoinnista. Sulfur concentration of peat in Finland results of wide scale peat inventories. Suo 61 (2). Helsinki, 2010. P. 49–56.

УДК 552. 578.3 001

#### Афанасьев А.Е.

Афанасьев Алексей Егорович, д. т. н., проф. кафедры геотехнологии и торфяного производства ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет» (ТвГТУ). 170026, Тверь, ул. Академическая, 12

#### Столбикова Г.Е.

Столбикова Галина Евгеньевна, к. т. н., доцент каф. геотехнологии и торфяного производства ТвГТУ

#### ИНТЕНСИФИКАЦИЯ СУШКИ ТОРФА В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Аннотация. Показана роль составляющих радиационного баланса в интенсификации сушки крошкообразного торфа в слоях различной толщины в связи с повышением эффективности добычи торфа.

*Ключевые слова:* торф, сушка, эффективность, радиация, баланс.

#### Afanasiev A.E.

Afanasyev Alexey Ye., Dr. Sc., Prof. Department of Geotechnology and peat of production VPO «Tver State Technical University» (TvGTU). 170026, Tver, Academicheskaya, 12

#### Stolbikova G.E.

Stolbikova Galina E., Ph.D., to the percentage of Department. Geotechnology and peat of production TvGTU

### INTENSIFICATION DRY PEAT FIELD

Abstract. The role of components of radiation balance is shown on the intensification of drying granulated peat in strata of various thickness to increase efficiency of the extraction of peat.

*Key words*: peat, drying, efficiency, radiation, balance.

а процесс сушки торфа в естественных условиях влияет большое число факторов, среди которых – солнечная радиация, представляющая собой основной источник тепловой энергии.

Поглощение и рассеяние поступившей солнечной энергии являются основными процессами, определяющими ее перенос в атмосфере и перераспределение в слое фрезерного торфа.

Поэтому управление процессом сушки фрезерного торфа в естественных условиях должно сводиться к управлению перераспределением поступившей в него тепловой энергии, т. е. величиной радиационного баланса.

Последний определяется алгебраической суммой приходных (суммарная радиация, Q) и расходных (отраженная коротковолновая радиация, R и эффективное излучение торфа  $E_{3\varphi}$ , определяемое как разность между длинноволновым излучением торфа  $E_s$  и атмосферы  $E_a$ ,

$$E_{\Theta\Phi} = E_s - \delta E_a$$

где δ – относительный коэффициент поглощения радиации торфом) составляющих радиации

$$R_6 = Q - R - E_{3\phi} = Q(1 - A) - E_{3\phi}$$
, (1)

где  $A = (R/Q) \times 100\%$  – интегральная отражательная способность (альбедо) верхнего тонкого слоя фрезерного торфа; Q(1-A) – поглощенная радиация.

Радиационный баланс поверхности слоя фрезерного торфа является основным компонентом теплового баланса. Он определяет величину и знак потоков тепла в воздух (турбулентный теплообмен, F) в нижележащие слои торфа P, суточный ход испарения и конденсацию (EL, здесь E – интенсивность испарения, а L – скрытая теплота парообразования).

Следовательно, если просуммировать эти составляющие, получим

$$R_6 = EL + P + F \tag{2}$$

уравнение, связывающее значение радиационного баланса с затратами тепла на испарение влаги из торфа, величина которых может быть выражена также из уравнений (1) и (2)

$$EL = Q - E_{\ni \Phi} - P - R_{o}, \tag{3}$$

где  $R_0 = R + F$ . В практике исследований процессов испарения влаги из торфа обычно пользуются соотношением (2) как наиболее приемлемым с точки зрения наименьшего числа компонентов, подлежащих измерению.

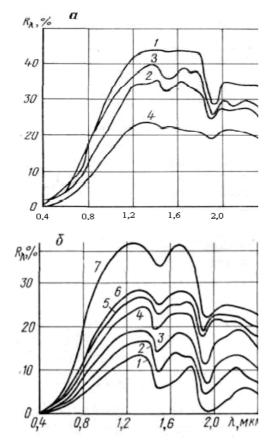
В связи с изложенным важное значение приобретают вопросы количественных измерений и возможных способов управления составляющими радиационного баланса. Если суммарная радиация зависит от спектрального состава и пространственных характеристик падающего излучения и не подлежат управлению, то отраженная радиация определяется особенностями взаимодействующего излучения, а также состоянием и свойствами облучаемой поверхности.

Эффективное излучение обусловлено только состоянием и свойствами торфа.

Таким образом, возможному управлению, вследствие изменения свойств слоя торфа, подлежат только две составляющие радиационного баланса: отраженная радиация – R и эффективное излучение торфа –  $E_{3\phi}$ .

Так, на основании проведенных исследований установлено, что отражательная способность верхового сосново-сфагнового торфа в области спектра длин волн от 0,4 до 2,5 мкм ниже, чем низинного древесно-тростникового, при одинаковой степени разложения (рис. 1).

С увеличением степени разложения торфа значение отражательной способности для верхового и низинного торфа уменьшается в связи с ростом количества гумуса, который, повидимому, имеет наибольшую поглотительную способность по сравнению (рис. 1), что было ранее подтверждено для почв.



**Рис. 1.** Зависимость спектральной отражательной способности фрезерного торфа от длины волны взаимодействующего излучения при размере частиц 2 мм: а) низинный древесно-тростниковый при степени разложения: 1-15-20%, 2-30-35%; верховой сосново-сфагновый при R: 3-5-7%, 4-30-40% при влагосодержании 1,5 кг/кг; б) верховой торф при R=20...25% при влагосодержании: 1-2,7; 2-2,4; 3-1,26; 4-1,08; 5-0,30; 6-0,0 кг/кг; 7- низинный торф R=25...30% – при влагосодержании 0,0 кг/кг

*Fig. 1.* The dependence of spectral reflectance milled peat of the wavelength of radiation interacts with a particle size of 2 mm: a) low-land wood-Fulminations with the degree of decomposition: 1-15-20%, 2-30-35%, and the top-hand with sphagnum pine-R: 3-5-7%, 4-30-40% at a moisture content of 1,5 kg/kg; b) peat is at R=20...25% when the moisture content of 1-2,7; 2-2,4; 3-1,26; 4-1,08; 5-0,30; 6-0,0 kg/kg; 7-10 lowland peat 1-2,00 kg/kg

При исследовании спектров отражения низинного и верхового торфа различного влагосодержания (от 5 до

0,3 кг/кг) обнаружено, что спектральная отражательная способность возрастает с длиной волны в области спектра 0,4–1,4 мкм и убывает в области спектра 1,4–2,5 мкм (рис. 1, б, кривые 1–5). С уменьшением влагосодержания торфа (при их сушке) как спектральная, так и интегральная отражательные способности в исследованной области увеличиваются для рассматриваемых типов торфа.

Но при одинаковых влагосодержаниях интегральная отражательная способность принимает большие значения для низинного торфа.

Влияние размеров частиц (*d* = 0,25–17,5 мм) фрезерного торфа на отражательную способность в исследованной области спектра практически не обнаружено, но качественно различаются в области спектра 1,0–2,5 мкм. Минимум отражения для низинного торфа приходится на средний размер частиц 3–6 мм, для верхового торфа – при диаметре частиц 1–5 мм, с некоторым колебанием значений – при диаметре 3–4 мм, что обусловлено, по-видимому, неодинаковым строением растенийторфообразователей.

В частности, минимум отражательной способности приходится на наиболее вероятный размер частиц, получаемых штифтовыми фрезерными барабанами.

С увеличением или уменьшением размера частиц по сравнению с диаметром, соответствующим минимуму, отражательная способность возрастает интенсивнее для низинного торфа, чем для верхового.

С увеличением размеров частиц проявляется различие в строении поверхности насыпного слоя с крупными выпуклостями и впадинами. При измельчении агрегатов на мелкие частицы меняется упаковка отражающей поверхности. Она становится равномерной, что и обеспечивает наибольшее отражение поступающей энергии.

Эти результаты согласуются с качественными исследованиями интегральной отражательной способности торфа.

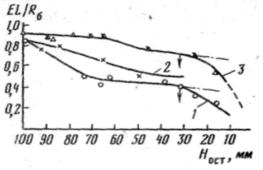
В процессе сушки фрезерного торфа в толстых слоях очень быстро пересыхают верхние тонкие слои при малоизменяющемся их среднем влагосодержании. Такое изменение влагосодержания обусловлено ростом радиационного баланса до максимальной величины через 4 часа сушки с последующим уменьшением на 4–6,6%.

Это происходит вследствие количественного изменения его составляющих.

В частности, величина отраженной энергии в процессе сушки торфа растет до максимума, что соответствует изменению альбедо поверхностного слоя торфа с 9,5 до 18,1% при уменьшении эффективного излучения на 13-24% [1].

Основной составляющей теплового баланса являются затраты на испарение влаги из сушимого слоя торфа. Они тем меньше, чем толще сушимый слой, что обусловлено значительными потерями тепла за счет турбулентного оттока.

Наибольшее использование тепловой энергии наблюдается при сушке торфа в тонких слоях (рис. 2) [2].



**Puc. 2.** Зависимость относительных затрат тепла на испарение влаги  $EL/R_6$  при сушке торфа в толстых слоях: 1 – низинный осоковый; 2 – переходный; 3 – верховой сосново-пушицевый торф

*Fig. 2.* The dependence of the relative costs of heat by evaporation of moisture EL/Rb drying of peat in thick layers: 1 – lowland sedge; 2 – transition; 3 – riding the again-with-cotton grass peat

Так, при сушке крошкообразного фрезерного торфа в тонких слоях в течение первых 4–5 ч радиационный ба-

ланс достигает максимума, а затраты тепла на испарение влаги составляют 98–99%, поэтому после 5 ч сушки необходимо собрать весь высушенный торф, иначе тепловая энергия переходит в подстилающий слой залежи, если торф фрезеруется тонкими слоями, или тепло переходит в подстилающий толстый слой крошки и там аккумулируется для следующих циклов сушки.

Тепло, получаемое слоем торфа, затрачивается на испарение из него влаги, турбулентный отток в окружающую атмосферу, перераспределение его в нижележащие слои  $P_{\rm гл}$  и теплоаккумуляцию  $P_{\rm ak}$  ( $P=P_{\rm гл}+P_{\rm ak}$ ).

Величину интенсивности испарения влаги из торфа *i* можно тогда представить, используя формулу *B.B. Романова*:

$$i = \alpha_R (R_6 - P), \tag{4}$$

где  $\alpha_R$  – удельная теплота испарения.

Интенсивность испарения из теории сушки может быть рассчитана из уравнения

$$i = -\frac{P_c(dW)}{d\tau},\tag{5}$$

где  $P_c$  – удельная загрузка по сухому веществу, кг/м²; W – влагосодержание, кг/кг;  $\tau$  – время, ч; знак «минус» означает, что влагосодержание с течением времени уменьшается.

Тогда согласно формулам (4) и (5) можно получить

$$\alpha_R (R_6 - P) = -\frac{P_c(dW)}{d\tau}$$
,

откуда длительность сушки будет

$$\int_{0}^{\tau} dt = \frac{P_{c}}{\alpha_{R}} \int_{W_{H}}^{W_{K}} dW,$$

$$\tau = \frac{P_{c}}{\alpha_{R}(R_{6} - P)} (W_{H} - W_{K})$$
 (6)

Из этой формулы следует, что длительность сушки фрезерного торфа зависит не только от технологических факторов ( $P_c$ ,  $W_H$ ,  $W_K$ ), но и от радиационного баланса ( $R_6$ ).

Чем больше радиационный баланс, тем длительность сушки меньше, что ведет к росту числа циклов и сборов торфа за сезон.

#### Библиографический список

- 1. *Афанасьев А.Е.* Исследование составляющих радиационного баланса при сушке фрезерного торфа в толстых слоях / А.Е. Афанасьев // Торфяная промышленность. 1977. № 3. С. 19–20.
- 2. *Афанасьев А.Е.* Оптимизация процессов сушки и структурообразование в технологии торфяного производства / А.Е. Афанасьев, Н.В. Чураев. М.: Недра. 1992. 288 с.

#### УДК 532.71

#### Гамаюнов Н.И.

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

#### Гамаюнов С.Н.

Гамаюнов Сергей Николаевич, д. т. н., проф. каф. торфяных машин и оборудования ТвГТУ, <a href="mailto:sng61@mail.ru">sng61@mail.ru</a>

#### Шехаб Х.Ю.

Шехаб Хасан Юсеф, к. т. н.

#### СУБЛИМАЦИОННОЕ ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ТОРФА

## Аннотация. Предложена физико-математическая модель сублимационного иссушения материала. Проведены эксперименты с образцами торфа при различных отрицательных температурах и параметрах внешней парогазовой среды.

*Ключевые слова*: торф, сублимация, иссушение, физико-математическая модель.

#### Gamayunov N.I.

Gamayunov Nikolai Ivanovich, Dr. Sc., Prof. Department. Thermal Physics VPO «Tver State Technical University-tete» (TvGTU). Tver, nab. Af. Nikitina, 22.

#### Gamayunov S.N.

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

#### Shehab Kh.Yu.

Shehab Hassan Yousef, PhD.

### SUBLIMATION DEHYDRATION PEAT

Abstract. Propose a physical-mathematical model of the sublimation drying of the material. Experiments with samples of peat at various subzero temperatures and parameters outer vapor medium.

*Keywords*: peat, sublimation, desiccation, physical and mathematical model.

ублимационное обезвоживание различных материалов, почв, грунтов отличается от их сушки при положительных температурах по Цельсию [1–3]. Иссушение органогенных грунтов (торф, сапропель) при отрицательных температурах изучено недостаточно [4–6].

В настоящей статье исследован механизм тепло- и массопереноса при сублимационной сушке торфа. Изучение этого процесса необходимо для определения величины и интенсивности обезвоживания торфа и продукции из него при отрицательных температурах.

В процессе сублимационного обезвоживания образцов материала образуется зона сушки. Для мерзлого торфа характерно наличие резкой границы раздела зон – обезвоженного и влажного материала. Тепло из газовой среды, расходуемое на фазовые переходы, передается кондуктивной теплопроводностью. Сублимация льда происходит с подвижной границы раздела зон  $\xi(\tau)$ , а выше, в зоне сушки, десорбируется незамерзшая влага. Структура торфа в процессе сублимационной сушки не претерпевает существенных изменений [7–9].

Перенос влаги в жидкой фазе в мерзлой зоне отсутствует.

Процесс сублимации протекает продолжительное время при небольших градиентах температур, поэтому его следует рассматривать как квазиравновесный.

При создании физической и математической моделей были сделаны следующие допущения:

- сублимация имеет место в полуограниченном грунте, в котором лед распределен равномерно по всему объему;
- начальное суммарное (лед + незамерзшая вода) влагосодержание равно u<sub>0</sub>, а начальная температура материала и окружающей среды – T;
- парциальное давление пара в порах равно парциальному давлению насыщенного водяного пара  $p_s$  при данной температуре материала;

• в момент времени  $\tau = 0$  на внешней границе полуограниченного тела мгновенно устанавливается парциальное давление  $p_{\rm cp.} < p_{\rm s}$ , соответствующее парциальному давлению водяного пара в парогазовой среде, которое поддерживается постоянным в течение всего процесса сублимации.

Пусть ось x направлена от поверхности вглубь полубесконечного грунта. За отрезок времени d $\tau$ граница фазового перехода перемещается на величину  $d\xi$ . Тогда количество влаги, сублимируемой за это время из элементарного объема  $dV = Sd\xi$ , можно определить таким образом:

$$Dq = \gamma u_0 S d\xi, \tag{1}$$

где q – количество сублимированной влаги, кг;  $\gamma$  – плотность твердых компонентов торфа в системе торф–ледвода, кг/м³;  $u_0$  – начальное влагосодержание торфа, кг/кг; S – площадь поверхности испарения образца, м²;  $\xi$  – толщина промерзающего материала, м.

Количество влаги, сублимированной из объема dV, согласно уравнениям Фика и Клапейрона–Менделеева, равно:

$$dq = \frac{D\mu}{RT} \frac{dp}{dx} S d\tau , \qquad (2)$$

где D – коэффициент диффузии пара, м²/с;  $\mu$  – молекулярная масса воды, кг/кмоль; R – универсальная газовая постоянная, кДж/(кмоль·К); T – температура, K; p – давление пара в порах материала, Па;  $\tau$  – время сушки, ч.

Из условия баланса массы  $dq_1 = dq_2$  при  $x = \xi(\tau)$  следует:

$$\frac{D\mu}{RT_0}\frac{dp}{dx} = \gamma u_0 \frac{d\xi}{d\tau} \,. \tag{3}$$

Уравнение переноса пара в зоне сублимации запишем следующим образом:

$$\frac{\partial p(x,\tau)}{\partial \tau} = D \frac{\partial^2 p(x,\tau)}{\partial x^2} \tag{4}$$

При  $\tau > 0$  и  $0 < x < \xi(\tau)$  оно решается при граничных условиях

$$p(x,0) = p_{\rm cp.}, \tag{5}$$

И

$$p(0, \tau) = p_c, p(\xi(\tau), \tau) = p_s.$$
 (6)

Краевая задача (4–6) подобна задаче Стефана промерзания грунта [10].

В мерзлой зоне при  $x > \xi$  давление паров  $p = p_s = \text{const.}$  Решение имеет вид:

$$p(x,\tau) = p_{\text{cp.}} - \left(p_s - p_{\text{cp.}}\right) \frac{erf\left(x/\left(2\sqrt{D\tau}\right)\right)}{erfz},$$
(7)

где  $p_s$ ,  $p_{cp.}$  – давление, соответственно, насыщенных паров и внешней парогазовой среды, Па.

Условие перемещения границы  $\xi = \beta \sqrt{\tau}$  следует из соотношения (6), а из уравнения (3) можно найти

$$\beta = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{\left(p_s - p_{cp.}\right) \sqrt{D} \mu \exp\left(-z^2\right)}{\gamma u_0 RT erf z}, \quad (8)$$

где  $\beta$  – экспериментальный коэффициент, м/с<sup>1/2</sup>;  $z=\beta/(2D^{1/2})$ .

Так как сублимация – продолжительный по времени процесс, а экспериментальные значения  $\beta$  малы, то, полагая z <<<1, с учетом, что  $\exp\left(-z^2\right) \approx 1$  и  $erf\ z \approx \left(2/\sqrt{\pi}\right) z$ , получим

$$\beta \approx \left[ 2D\mu \left( p_s - p_{cp.} \right) / RT_0 \gamma_0 u_0 \right]^{1/2}$$

Интенсивность сублимации с учетом (8) на поверхности слоя (x = 0) равна:

$$i_{c} = -\frac{D\mu}{RT} \frac{dp}{dx} = \frac{\left(p_{s} - p_{cp.}\right)\sqrt{D}\mu}{\sqrt{\pi\tau}RTerfz} = \frac{\gamma u_{0}\beta}{2\exp\left(-z^{2}\right)\sqrt{\tau}} \approx \frac{\gamma u_{0}\beta}{2\sqrt{\tau}} = \frac{\gamma u_{0}\beta^{2}}{2\xi}, \quad (9)$$

где  $i_c$  – интенсивность сушки, кг/(м²·с); V – объем образца, м³.

Значения  $\beta$ , рассчитанные по уравнениям (8) и (9), с погрешностью менее 1%, совпадают. С учетом, что  $erf\left(x/2\sqrt{D\tau}\right) = erf\left(zx/\xi\right) \approx \beta x/\left(\xi\sqrt{\pi D}\right)$ , решение (7) запишется в виде:

 $p(x, \tau) = p_{\rm cp.} + (p_s - p_{\rm cp.})(x/\xi),$  (10) а распределение влагосодержания в зоне иссушения –

$$u(x, \tau) = u_{\pi} + (u_0 - u_{\pi})(x/\xi),$$
 (11)

где u,  $u_{\pi}$  – текущее и на поверхности торфа влагосодержание, кг/кг.

При линейном распределении влагосодержания коэффициент диффузии водяного пара в зоне сублимации согласно соотношениям (10), (11) равен

$$D = \beta^2 R T \gamma u_0 / (2\mu p_s (1 - \varphi))$$
, (12)

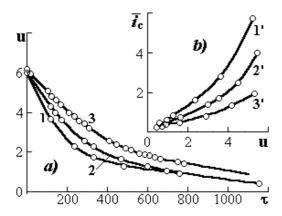
где  $\phi$  – относительная влажность воздуха.

Для проверки математической модели были проведены эксперименты по одномерному сублимационному обезвоживанию мерзлого торфа. Объектами исследования служили образцы механически диспергированного торфа.

Предварительно образцы в течение трех часов охлаждали при температуре 213-253 °К. При этом основная часть воды переходила в лед (рис. 1), но оставалась незамерзшая влага ~0,4 кг/кг. Такому влагосодержанию соответствует сорбированная вода на полярных функциональных группах. Одну серию экспериментов проводили с прямоугольными образцами размером 2,5×2,5×1,5 см и начальным влагосодержанием 6,2 кг/кг. Другую серию с цилиндрическими образцами диаметром 3 см и высотой 8,5 см.

При проведении опытов с идентичными цилиндрическими образцами определяли зависимости глубины сублимации, распределение полей влагосодержания в образцах по высоте и во времени.

Образцы торфа имели начальное влагосодержание  $u_0 = 2,9-7$  кг/кг и плотности твердых органоминеральных компонентов в единице объема мерзлого торфа  $\gamma = 126-253$  кг/м³. В сублиматоре поддерживались постоянная влажность паровоздушной среды  $\phi$  и ее температура  $T_0$ . Опыты проводили при температурах  $T_0 = 267$ ; 270; 272 °К и  $\phi = 0,78$ ; 0,82; 0,83.



**Рис. 1.** Кривые: *а*) сублимационной сушки (1–3), время  $\tau$  (ч); *b*) зависимости средней интенсивности сублимационной сушки  $\bar{i}_c$ ·10<sup>6</sup> (кг/(м²·с) торфа от влагосодержания u (1–3′) при температурах: 272 (1, 1′); 270 (2, 2′); 267 (3, 3′) °К

*Fig. 1.* Curves: a) freeze-drying (1–3), the time τ (h); b) dependence of the average intensity of freeze drying,  $i_c$  –10<sup>6</sup> (kg/( $m^2$ ·s) of peat moisture u (1–3′) at temperatures: 272 (1, 1′); 270 (2, 2′); 267 (3, 3′) K

На рис. 1 приведены результаты опытов по сублимационному обезвоживанию образцов, полученные при атмосферном давлении, скорости воздушного потока v=0.35 м/с и относительной влажности воздуха в камере φ=0,65. Процесс сублимации льда из мерзлого торфа при взаимодействии с газовой средой (рис. 1, а) осложняется присутствием незамерзшей воды, находящейся в динамическом равновесии со льдом. При температурах 272, 270, 267 °К количество незамерзшей воды в исследуемом торфе, соответственно, было равно 1,4; 0,8; 0,64 кг/кг. При влагосодержании 1,4 в образце имеется капиллярная и осмотическая (~0,9), физико-химическая (сорбированная) влага (~0,5), а при влагосодержаниях 0,8 и 0,64, в основном, сорбированная влага.

При сублимации влаги из торфа происходит не только переход воды из твердого в парообразное состояние (возгонка), но и испарение незамерзшей воды из материала. Как внутри образца, так и на поверхности кристаллов льда молекулы связанной (незамерзающей) воды находятся в термодинамическом равновесии. Обмен молекул между ними происходит в паровой фазе. Удаляются в первую очередь молекулы, имеющие меньшую энергию связи с центрами сорбции и на поверхности кристаллов льда. При равенстве этих энергий происходит испарение (возгонка) молекул одновременно с поверхности кристаллов льда и центров сорбции.

Как следует из рис. 1, b (кривые 1–3′), в течение всего времени сушки изза плохого подвода тепла через обезвоженные пористые слои торфа средняя интенсивность сушки  $\bar{i}_c$  постепенно снижается, а с увеличением температуры и скорости потока воздуха до  $v \le 2$  м/с возрастает.

При v > 2 м/с скорость сублимационной сушки изменяется незначительно. При вакуумной (0,33 Па) сублимационной сушке средняя интенсивность  $\overline{i_c}$  увеличивается. Время сушки одинаковых по толщине слоев уменьшается на порядок. Усадка торфа при вакуумной сублимационной сушке в диапазоне температур 272–267 °К не наблюдается.

Различие во времени сушки при атмосферном давлении и вакууме вызвано тем, что воздух «мешает» диффузии пара из внутренних слоев образца в окружающую парогазовую среду.

Наряду с потоком пара из слоя материала в атмосферу имеет место обратный поток молекул азота, кислорода из внешней парогазовой среды в материал. Он перемещается по макропорам материала в зону испарения.

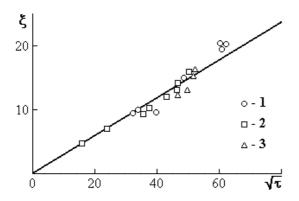
При снижении внешнего давления встречный поток молекул уменьшается, что способствует диффузии молекул воды из внутренних слоев материала в окружающую среду.

Вакуум-сублимационная сушка мерзлых образцов торфа позволяет оценить количество незамерзающей воды.

Для этого необходимо определить влагосодержание слоя материала в зоне сушки, контактирующего с фронтом сублимации.

При максимальном углублении зоны сублимации на 2 см в течение всего опыта начальное влагосодержание в нижней части колонки оставалось постоянным.

На рис. 2 приведены экспериментальные результаты по определению глубины сублимации льда из мерзлого торфа.



**Рис. 2.** Зависимость глубины сублимационного иссушения торфа  $\xi$  (мм) от величины  $\tau^{1/2}$  (ч<sup>1/2</sup>): 1-T=272 K,  $u_0=4,8-7$ ,  $\gamma=130-175$  кг/м³,  $\phi=0,78$ ; 2-T=270 K,  $u_0=2,9-7$ ,  $\gamma=125-250$  кг/м³,  $\phi=0,83$ ; 3-T=267 K,  $u_0=4,8$ ,  $\gamma=175$  кг/м³,  $\phi=0,82$ 

*Fig. 2.* The dependence of the depth of sublimation-drying peat  $\xi$  (mm) of the magnitude of the  $\tau^{1/2}$  ( $\tau^{1/2}$ ): 1 – T = 272 K,  $u_0$  = 4,8–7,  $\gamma$  = 130–175 kg/m³,  $\varphi$  = 0,78; 2 – T = 270 K,  $u_0$  = 2,9–7,  $\gamma$  = 125–250 kg/m³,  $\varphi$  = 0,83; 3 – T = 267 K,  $u_0$  = 4,8,  $\gamma$  = 175 kg/m³,  $\varphi$  = 0,82

Согласно рисунку, в исследованном диапазоне значений  $\phi$  и состава материала экспериментально подтверждается зависимость  $\xi(\tau) = \beta \tau^{1/2}$ , в которой величина  $\beta = 4,87 \cdot 10^{-6}$  м/с<sup>1/2</sup>. Разброс экспериментальных точек связан с тем, что значения  $\beta$  для каждого режима сублимационного обезвоживания и исходного влагосодержания материала изменялись в пределах  $(2,8 \div 5,5) \cdot 10^{-6}$  м/с<sup>1/2</sup> (табл.).

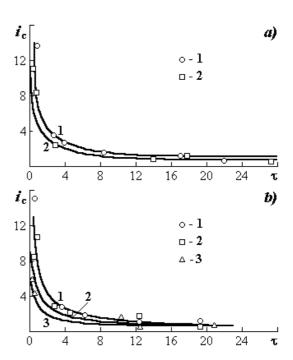
В таблице приведены также коэффициенты диффузии D, рассчитанные по соотношению (12).

На рис. З приведены расчетные кривые и опытные данные («точки»). Согласно рисунку, зависимости интенсивности обезвоживания  $i_c$  от времени  $\tau$  удовлетворительно согласуются с экспериментальными. Интенсивности сублимационной сушки рассчитывали по приближенной формуле (9).

**Таблица.** Параметры процесса сублимации льда из мерзлого торфа

*Table.* The parameters of the process of sublimation of ice from frozen peat

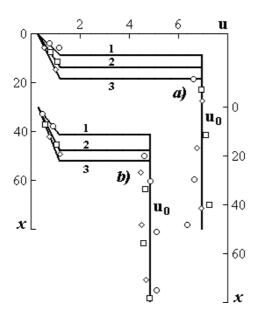
							_	
Τ,	u <sub>0,</sub>	γ,	φ,	$p_s$ ,	u <sub>n</sub> ,	и <sub>н</sub> ,	β·10 <sup>6</sup> ,	$D\cdot 10^5$ ,
К	кг/кг	кг/м <sup>3</sup>	%	Па	кг/кг	кг/кг	$M/c^{1/2}$	$M^2/c$
272	6,97	132	78,5	561	0,19	1,4	5,5	1,45
272	4,76	175	78,5	561	0,19	1,4	5,3	1,23
270	7	126	83	474	0,22	1,4	5	1,66
270	6,21	148	83	474	0,22	0,8	3,3	1,23
270	4,63	184	83	474	0,22	0,8	5,5	1,93
270	2,94	253	83	474	0,22	0,8	3,3	0,99
267	4,8	174	82,3	367	0,16	0,64	2,8	1,16



**Рис. 3.** Сопоставление экспериментальных и расчетных (сплошные линии) значений интенсивности сублимации  $i_{\rm c}$ ·10<sup>6</sup>, кг/(м²·с), льда из мерзлого торфа:  $a-T=272~{\rm K}$ ,  $\phi=0,79, v=1,25~{\rm m/c}, u_0=7~{\rm u}~\gamma=130~{\rm kr/m}^3$  (1),  $u_0=4,8~{\rm u}~\gamma=175~{\rm kr/m}^3$  (2);  $b-T=272~{\rm K}$ ,  $\phi=0,79, v=1,25~{\rm m/c}, u_0=7~{\rm u}~\gamma=130~{\rm kr/m}^3$  (1),  $u_0=4,8~{\rm u}~\gamma=175~{\rm kr/m}^3$  (2)

*Fig. 3.* Comparison of the experimental and calculated (solid line) intensity values sublimation  $i_c$ ·10<sup>6</sup>, kg/(m²·s), ice of the frozen peat: a - T = 272 K, φ = 0,79, v = 1,25 m/s,  $u_0 = 7$  and γ = 130 kg/m³ (1),  $u_0 = 4,8$  and γ = 175 kg/m³ (2); b - T = 272 K, φ = 0,79, v = 1,25 m/s,  $u_0 = 7$  and γ = 130 kg/m³ (1),  $u_0 = 4,8$  and γ = 175 kg/m³ (2)

Согласно экспериментов в зоне сублимации устанавливается линейное распределение влагосодержания, а на границе раздела торф – парогазовая смесь – равновесное влагосодержание материала  $u_{\Pi}$  и соответствующая ей относительная влажность парогазовой среды. Значения  $u_{\Pi}$  практически остаются постоянными. Об этом свидетельствуют результаты опытов (рис. 4).



**Рис. 4.** Сопоставление экспериментальных и расчетных распределений влагосодержания u по высоте x (мм) мерзлого торфа в процессе сублимации льда T=272 К, v=1,25 м/с,  $\phi=0,78$ :  $a-u_0=6,8, \gamma=130$  кг/м³,  $\tau=1107$  (1), 2160 (2), 2860 (3) ч;  $b-u_0=5, \gamma=175$  кг/м³,  $\tau=1250$  (1), 2300 (2), 3000 (3) ч

*Fig. 4.* Comparison of the experimental and calculated distributions moisture adjustment  $u \times x$  (mm) of the frozen peat during the sublimation of ice T = 272 K, v = 1,25 m/s,  $\varphi = 0,78$ :  $a - u_0 = 6,8$ ,  $\gamma = 130$  kg/m³,  $\tau = 1107$  (1), 2160 (2), 2860 (3) h;  $b - u_0 = 5$ ,  $\gamma = 175$  kg/m³,  $\tau = 1250$  (1), 2300 (2), 3000 (3) h

Вторая характерная точка  $u_{\xi}$  находится на пересечении кривых влагосодержания в зоне обезвоживания и границы сублимации. Значение ее соответствует равновесному влагосодержанию торфа при полном насыщении паром пор торфа, так как ниже зоны иссушения находится лед. При темпе-

ратуре сублимации и влагосодержании  $u_{\xi}$  имеет место динамическое равновесие между насыщенным паром в порах торфа, льдом и незамерзшей водой  $u_{\text{H}}$ .

В иссушаемой зоне в каждой прослойке торфа также устанавливается соответствующее динамическое равновесие между содержанием влаги в жидкой и твердой фазах. В мерзлой зоне в процессе иссушения начальное влагосодержание  $u_0$  остается постоянным.

В связи с этим, распределение полей влагосодержания в интервале  $0 \le x \le \xi(\tau)$  удовлетворяет уравнению (11), а в мерзлой зоне при  $x \ge \xi(\tau)$   $u(x,\tau) = u_0$ .

Были проведены расчеты полей влагосодержаний по высоте мерзлого торфа по формуле (11).

На рис. 4 приведены расчетные кривые влагосодержаний и опытные данные («точки»). Они удовлетворительно согласуются. Разброс результатов объясняется трудностями приготовления идентичных исходных образцов, особенно при больших начальных влагосодержаниях торфа.

Таким образом, приведенная в работе методика расчета позволяет проводить прогнозные оценки сублимационного обезвоживания торфа и других подобных материалов.

#### Библиографический список

- 1. *Лыков А.В.* Теория сушки / А.В. Лыков. М.: Энергия, 1968. 472 с.
- 2. *Лебедев Д.П.* Тепло- и массообмен в процессах сублимации в вакууме / Д.П. Лебедев, Т.Л. Перельман. М.: Энергия, 1973. 336 с.
- 3. *Ершов Э.Д.* Сублимация льда в дисперсных породах / Э.Д. Ершов, Э.З. Кучуков, И.А. Комаров. М.: МГУ, 1975. 223 с.
- 4. Физика и химия торфа / И.И. Лиштван, Е.Т. Базин, Н.И. Гамаюнов, А.А. Терентьев. М.: Недра, 1989. 304 с.
- 5. *Афанасьев А.Е.* Оптимизация процессов сушки и структурообразования в технологии торфяного

- производства / А.Е. Афанасьев, Н.В. Чураев. М.: Недра, 1992. 288 с.
- 6. Гамаюнов Н.И. Тепломассоперенос в органогенных материалах. Процессы обезвоживания / Н.И. Гамаюнов, В.А. Миронов, С.Н. Гамаюнов. Тверь: ТГТУ, 1998. 271 с.
- 7. Изучение микроструктуры мерзлого торфа в процессе сублимационной сушки / Е.Д. Ершов, Н.И. Гамаюнов и др. // Инженерная геология, 1992. № 2. С. 32–37.
- 8. Гамаюнов Н.И. Влияние режима обезвоживания на структурообразо-

- вание природных капиллярнопористых материалов / Н.И. Гамаюнов, Д.М. Стотланд, Х.Ю. Шехаб // Коллоид. журнал, 1993. Т. 55.  $N^{\circ}$  5. C. 35–44.
- 9. Шехаб Х.Ю. Исследование тепломассопереноса и структурообразования при сублимации льда из торфа: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / Х.Ю. Шехаб. Тверь: ТвеПИ, 1993. 20 с.
- 10. *Лыков А.В.* Теория теплопроводности / А.В. Лыков. М.: Высшая шк., 1967. 600 с.

УДК 662.641.047:552.577:542.67

#### Афанасьев А.Е.

Афанасьев Алексей Егорович, д.т.н., проф. каф. геотехнологии и торфяного производства ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет» (ТвГТУ). 170026, Тверь, Академическая, 12.

#### Кремчеев Э.А.

Кремчеев Эдуард Аболлович, к.т.н., доцент Национального минерально-сырьевого университета (Санкт-Петербургский государственный горный)

#### Ефремов А.С.

Ефремов Алексей Сергеевич, аспирант каф. автоматизации технологических процессов ТвГТУ.

# ГРАВИТАЦИОННОЕ ОБЕЗВОЖИВАНИЕ НАВАЛА ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ С УЧЕТОМ ИСПАРЕНИЯ ВЛАГИ

Аннотация. Произведена оценка гравитационного обезвоживания навала торфа повышенного влагосодержания с учетом испарения влаги с его поверхности при конвективном и радиационно-конвективном теплоподводе в зависимости от высоты навала торфа и условий теплоподвода. Установлено время, при котором интенсивности этих потоков выравниваются.

*Ключевые слова*: торф, сырье, фильтрация, структура, испарение, равновесие.

#### Afanasiev A.Y.

Alexey Afanasyev Ye, Prof. Department. Geotechnology and peat production «Tver State Technical University» (TvGTU). 170026, Tver, Academic, 12.

#### Kremcheev E.A.

Kremcheev Edward A., Ph.D., associate professor of the National University of mineral resources (St. Petersburg State Mining)

#### Efremov A.S.

Yefremov Alex S., a graduate student of Department. process automation TvGTU.

# GRAVITY DEHYDRATION NAVA PEAT RESOURCES IN VIEW EVAPORATION OF MOISTURE

Abstract. The estimation of the gravity dewatering peat mounds of high moisture content, taking into account the evaporation of moisture from the surface by convection and radiation-convective heat supply, depending on the height of the mound of peat and conditions of heat input. Set the time at which the intensity of these flows are aligned.

*Keywords*: peat raw filtering structure evaporation balance.

#### Теоретические предпосылки

В работах [1, 2] были приведены теоретическое обоснование и результаты экспериментальных исследований, подтверждающие, что влагопроводность торфяной залежи нарушенной структуры и предельной высоты навала сырья  $H_{\kappa p}$  под действием капиллярно-осмотических и гравитационных сил зависит от степени разложения торфа, пористости, интенсивности потока влаги, причем последний можно определить через коэффициент фильтрации с использованием модельных представлений о пористой структуре торфа  $r_i$  по известным, ранее теоретически установленным значениям. Для этой цели вводится понятие сопротивления переноса влаги в реальных средах по сравнению с модельными структурами и используется коэффициент сопротивления В, показывающий изменение приращения  $k_{ri} = dH_{KD}/d(1/r_i)$  для экспериментальных и теоретических исследований, т. е.

$$\beta = \frac{k_{r3}}{k_{rT}},\tag{1}$$

где  $k_{r9}$  и  $k_{rT}$  – соответствующие угловые коэффициенты зависимостей  $H_{\text{кр9}} = f(1/r_i)$  и  $H_{\text{крT}} = f(1/r_i)$ . Для шейхцериево-сфагнового торфа степенью разложения  $R_{\text{T}} = (22-25)\%$   $\beta = 1,016\cdot10^{-4}$ . Значения радиусов пор вычислялись из условия равенства капиллярного

$$P_{k} = \frac{2\sigma\cos\Theta}{r} \tag{2}$$

и гравитационного давления

$$P_{a} = \rho_{x}gh_{i}, \qquad (3)$$

снижающих интенсивность потока влаги  $i_{\scriptscriptstyle \varrho}$  до нуля:

$$i_{g} = -k_{B} \frac{P_{k} - P_{g}}{h_{i}} = -k_{B} \left( \frac{2\sigma \cos \Theta}{rh_{i}} - \rho_{x}g \right),$$
 (4)

где  $\Theta$  – угол смачивания твердой фазы жидкостью;  $\sigma$  – поверхностное натя-

жение;  $\rho_{\rm ж}$  – плотность жидкости; h – высота слоя. Высота слоя связана с радиусом пор r следующим соотношением:

$$h = H_{\rm sp} = \frac{2\sigma\cos\Theta}{r\rho_*g}.$$
 (5)

Рассматриваемое фильтрационное равновесии ( $P_k = P_g$ ,  $i_g = 0$ ) будет нарушаться в результате испарения влаги с поверхности навала торфяного сырья, т. е. при

$$P_{k} \le P_{a}, i = (i_{a} + i_{u}) > 0,$$
 (6)

где  $i_u$  – интенсивность испарения влаги при  $h_i \geq H_{\rm kp}$ . В этом случае дополнительная потеря влаги будет осуществляться за счет ее испарения с поверхности образовавшихся пленок, менисков крупных и узких пор, а также вследствие капиллярной подпитки влаги в зоне испарения. При мало изменяющихся температурно-влажностных условиях парогазовой среды можно не учитывать интенсивность термопотока влаги,

$$i_t = -\delta a_m \gamma_c \frac{dT}{dx},\tag{7}$$

где  $\delta$  – термоградиентный коэффициент;  $\gamma_c$  – плотность сухого вещества торфа,  $a_m$  – коэффициент диффузии влаги; (dT/dx) – градиент температуры. При этом использование уравнения интенсивности влагопереноса

$$i = -\alpha_{xx} \gamma_c \frac{dW}{dx}, \tag{8}$$

определяющего подпитку влаги в зону испарения, затруднительно из-за того, что градиент влагосодержания dW/dx изменяется не только за счет испарения, но и в результате фильтрации влаги при  $h_i > H_{\rm kp}$ . Данный недостаток исключается при  $h_i > H_{\rm kp}$ , т. е. при отсутствии гравитационного обезвоживания. Поэтому долю испарившейся влаги в первом случае  $(h_i > H_{\rm kp})$  можно

учесть только через характеристики внешнего массобмена:

$$i_{\scriptscriptstyle U} = a_{\scriptscriptstyle m} (P_{\scriptscriptstyle M} - P_{\scriptscriptstyle C}) \tag{9}$$

или теплообмена

$$q_k = \alpha_q (t_c - t_{\text{\tiny HOB}}), \qquad (10)$$

где  $(a_m, \alpha_q)$  – коэффициенты внешнего массобмена  $(\kappa z/M^2 \cdot u \cdot \Pi a)$  и теплообмена соответственно  $(Bm/M^2K)$ ;  $(P_M, P_c)$  – соответствующие парциальные давления  $(\Pi a)$  у поверхности испарения и в окружающей среде. Причем, в нашем случае удобнее использовать уравнение (10), выразив его через удельную теплоту парообразования  $R_{\Pi}$  [3],

$$R_{\pi} = 2501 - 2,72t \tag{11}$$

и интенсивность испарения

$$q_k = R_{\pi} \cdot i_{\mu}, \tag{12}$$

$$i_{u} = \frac{\alpha_{q} \left( t_{c} - t_{\pi} \right)}{R} \tag{13}$$

зависит от  $a_q$  и разности  $\Delta t = t_c - t_{\rm n}$  температур при конвективном теплоподводе.

В случае радиационно-конвективного теплоподвода в формулу (13) необходимо ввести лучистую составляющую теплового потока  $q_n$ , которую можно выразить через радиационный баланс B за вычетом потерь  $\Delta$  теплоты через основание навала, особенно для малых по высоте образцов:

$$q_{\pi} = \frac{B(100 - \Delta)}{100}.$$
 (14)

Таким образом, уравнение (13) принимает вид:

$$i_u = \frac{q_{\pi} + \alpha_q (t_c - t_{\pi})}{R_{\pi}},$$
 (15)

которое при малых потерях энергии (  $\Delta \rightarrow 0$  ) будет

$$i_u = \frac{B + \alpha_q (t_c - t_{\pi})}{R_{\pi}} = \frac{B + q_k}{R_{\pi}} = \frac{q_0}{R_{\pi}},$$
 (16)

где  $q_0 = B + q_k$  – суммарный тепловой поток.

Таким образом, при определении суммарного потока влаги из навала торфяного сырья будут складываться гравитационный поток  $i_q$  (уравнение (4)) и испаряемость  $i_u$  (формулы (15), (16)) для  $h_i \geq H_{\rm kp}$ ,

$$i = i_g + i_u =$$

$$= -k_B \left( \frac{2\sigma \cos\Theta}{r_i h_i} - \rho_{\mathcal{H}} g \right) + \frac{q_{\pi} + \alpha_q (t_c - t_n)}{R_n}. \quad (17)$$

Для реальных сред вводится уравнение (1), через которое записывается коэффициент  $K_{\rm sp}^{\prime}=k_{\rm s}\beta$ , отражающий эффективность влагопроводности (эффективный коэффициент влагопереноса). Тогда уравнение (17) принимает следующий вид:

$$i_{u} = -K_{9\Phi}^{\prime} \left( \frac{P_{k} - P_{g}}{h_{i}} \right) + \frac{B + \alpha_{q} ((t_{c} - t_{\pi}))}{R_{\pi}}.$$
 (18)

То есть при  $P_{\scriptscriptstyle k} < P_{\scriptscriptstyle g}$ ,  $h_{\scriptscriptstyle i} > H_{\scriptscriptstyle \mathrm{KP}}$  величина  $i_{\scriptscriptstyle u}$  обратна высоте навала  $h_{\scriptscriptstyle i}$  и радиусу пор r, пропорциональна тепловому потоку  $q_0$  и перепаду давлений  $\Delta P = \left(P_{\scriptscriptstyle g} - P_{\scriptscriptstyle k}\right)$ .

Для второго случая, когда  $h_i \leq H_{\rm kp}$ , исключается гравитационный поток ( $i_g=0$ ) и градиент влагосодержания в формуле (8) меняется только

за счет испарения влаги. В этой связи из условия сохранения массы вещества можно получить, что количество жидкости, подведенное в зону испарения *i* – формула (8), равно количеству испарившейся влаги – формула (16)

$$\frac{B + \alpha_q((t_c - t_n))}{R_n} = -a_m \gamma_c \frac{dW}{dx}, \quad (19)$$

позволяющих определять некоторые коэффициенты ( $\alpha_q$ ,  $a_m$ ) и градиент влагопереноса dW/dx.

В порядке упрощения расчетов можно воспользоваться формулой профессора А.Е. Афанасьева [4], которую представим в виде:

$$i_c = \gamma_c \cdot \Delta W \cdot C_{3} \sqrt{\frac{D}{2\tau}}, \qquad (20)$$

где  $\Delta W = W_{\!\scriptscriptstyle H} - W_{\!\scriptscriptstyle K}$  – интервал влагосодержания.

$$C = m\sqrt{v_m \cdot P_s \cdot \Delta \phi \cdot \alpha / (R^*T)} = const$$

характеризует особенности влагопереноса в реальной пористой среде (безразмерная величина) в связи с изменением активной пористости т,  $\Delta \varphi = 1 - \varphi_c$ , температуры *T*, давления насыщенных паров  $P_s$ , ослабления диффузии паров воды α, молекулярного объема  $v_m$  и универсальной газовой постоянной  $R^*$ . Причем значения величины  $B^* = m\sqrt{\alpha}$  меняются в пределах 0,19...0,33 (верховой торф) и 0,19...0,42 (низинный торф), что близко к средним значениям данной величины характерным для почв,  $B^* = 0.25$  [5]; D коэффициент диффузии пара через газ,  $M^2/C$ ; т – время, с.

Исследования с радиоактивными метками показали [6], что сушка происходит в зоне испарения  $h_{\rm 3H}$  [7] толщиной  $h_{\rm 3H}$  = 20...40 мм,

$$h_{_{3H}} = H_{_{\rm KP}} \sqrt{\frac{1}{1+W}}$$
, (21)

которая возрастает с уменьшением влагосодержания W (полевые условия сушки) и в пределе приближается к толщине навала торфа  $H_{\text{KD}}$ .

Таким образом, сложностью в расчетах необходимо считать предварительную оценку коэффициентов теплообмена  $\alpha_q$ , радиационного баланса B поверхности навала торфа при  $h_i > H_{\rm kp}$  и коэффициентов диффузии  $a_m$  влаги при  $h_i \leq H_{\rm kp}$ .

Так, для первого случая (  $h_i > H_{\rm kp}$  ) при конвективном теплообмене коэффициент  $\alpha_q$  можно рассчитать через критерий Нуссельта

$$\alpha_q = N_{ug} \frac{\lambda}{I}, \qquad (22)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности воздуха [7],

$$\lambda = \lambda_a + 0.048 \varphi_c \,, \tag{23}$$

здесь  $\lambda_q$  – коэффициент теплопроводности сухого воздуха,  $\phi_c$  – относительная влажность воздуха (доли единицы), l – размер образца в направлении движения воздуха. В этом случае для  $t_c=5...40\,^{\circ}\text{C}$ ,  $\phi=10...98\%$ , скорости ветра  $v=0,5...6,0\,$  м/с, критерий  $N_{ug}$  вычисляется из уравнения [9]

$$N_{ug} = 15.8 \cdot 10^{-3} \cdot R_e^{0.8} \left( \frac{T_{\rm M}}{T_c - T_0} \right)^{0.44}$$
, (24)

где  $R_e$  – число Рейнольдса;  $T_{\rm M}$ ,  $T_{\rm c}$  – температура мокрого и сухого термометров соответственно;  $T_0=273~{\rm K}.$ 

Во втором случае, когда  $h_i \leq H_{\text{кр}}$ , коэффициент  $a_m$  вычисляется из уравнения (19), при B=0,

$$a_m = \frac{\alpha_g(t_c - t_n)dx}{R_n \gamma_c dW}$$
 (25)

При радиационно-конвективном теплоподводе используется то же уравнение (19) с учетом B.

Особенностью использования формулы (25) является определение градиента влагосодержания. Поэтому можно воспользоваться другим подходом [7], когда рассчитывается эффективный коэффициент диффузии

$$a_m = \frac{i_c P_c}{6\gamma_c^2 \Delta W} = \frac{i_c h}{6\gamma_c \Delta W}, \quad (26)$$

где  $P_c$  – загрузка торфа по сухому веществу торфа, кг $(c)/м^2$ ;  $P_c = (m_c/F) = \gamma_c h$ ,  $m_c$  – масса сухого вещества торфа (const); F – площадь поверхности, на которой находится торф,  $\Delta W = W_H - \langle W_i \rangle$  – разность влагосодержаний между начальным  $W_H$  и средним (текущим)  $\langle W_i \rangle$  влагосодержанием.

#### Экспериментальные исследования

Использовался верховой шейхцериево-сфагновый торф  $R_T=22...25\%$  [1]. Исследования велись в комнатных условиях (конвективный теплоподвод) при  $t_c\approx 21.8\,^{\circ}\mathrm{C}$ ,  $t_{\mathrm{M}}\approx 15.2\,^{\circ}\mathrm{C}$ ,  $\varphi=47\%$ ,  $q_{\mathrm{M}}=0$ , скорость обдува  $v\leq 2$  м/с,  $W_{\mathrm{H}}=16,432$  кг/кг. Определив величину  $i_u$  из эксперимента (по испарению воды с модели влажного торфа, свободной воды), можно по формуле (13) найти коэффициент теплообмена  $\alpha_q$ , Вт/м²К для разных условий испарения.

Второй подход в определении  $\alpha_q$  сводится к теоретическому расчету коэффициента по формуле (22) с учетом (23) и (24). Характерная длина сосуда (испарителя)  $l=0,220\,$  м,  $v=15,26\cdot10^{-4}\,$  м²/с, а также теплофизические характеристики принимаются из [8]. При этом критерий Рейнольдса вычисляется из формулы:

$$R_e = \frac{v \cdot l}{v} \,, \tag{27}$$

где  $\gamma$  – кинематическая вязкость, м²/с. Воспользуемся вторым подходом, позволяющим рассчитать величину испаряемости  $i_u$ .

Конвективный теплоподвод  $h_i > H_{KD}$ :

1) критерий Рейнольдса (27),

$$R_e = \frac{2 \cdot 0,220}{15.26 \cdot 10^{-6}} = 2,88 \cdot 10^4 \text{ m}^2/\text{c}.$$

- 2) коэффициент теплопроводности воздуха (23),
- 3)  $\lambda = 2.61 \cdot 10^{-2} + 0.0048 \cdot 0.47 =$ = 2.83 · 10<sup>-2</sup> BT/(MK)
- 4) температура поверхности  $t_n$  принималась равной температуре мокрого термометра,  $t_n = t_M = 15,2$  °C.
- 5) критерий Нуссельта рассчитывался по формуле (24):

$$N_{ug} = 15.8 \cdot 10^{-3} \cdot$$

$$\cdot (2.88 \cdot 10^{4})^{0.8} \left( \frac{288.35}{294.95 - 273.15} \right)^{0.44} = 181.82$$

6) Коэффициент конвективного теплообмена (22)

$$\alpha_q = 181,82 \frac{0.0283}{0.220} = 23,388 \text{ BT/} (\text{m}^2\text{K}).$$

7) Конвективная составляющая теплового потока  $q_k$  определяет величину испаряемости (13):  $q_k = \alpha_q (t_c - t_{_{\rm M}})$ . Окончательно получим, что

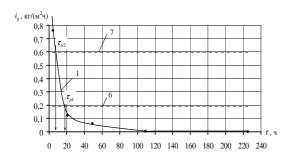
$$i_{u} = \frac{\alpha_{q} (t_{c} - t_{M})}{R_{\Pi}} = \frac{23,388(21,8 - 15,2)}{2501 - 2,72 \cdot 15,2} = 62,6 \cdot 10^{-6} \frac{\text{K}\Gamma}{\text{M}^{2}\text{c}} = 0,225 \frac{\text{K}\Gamma}{\text{M}^{2}\text{q}}$$

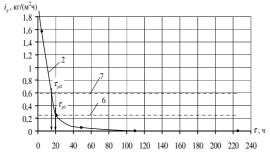
Сравнение гравитационного обезвоживания  $i_g$  с испарением  $i_u$  влаги с поверхности навала производится на основе функциональной зависимости  $i_g = f(\tau)$  при различных значениях высоты  $h_u$  навала торфа.

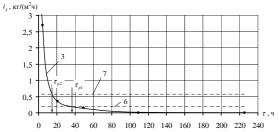
Как показали впервые выполненные исследования, зависимость  $i_g = f(\tau)$  имеет падающий (гиперболический вид) (рис. 1) при различных  $h_{\mu}$ . По-

строим в этих же координатах зависимость  $i_{\rm u}=f\left(\tau\right)$  и в точке пересечения графиков  $i_g$  и  $i_{\rm u}$  найдем время  $\tau_p$ , при котором  $i_g=i_{\rm u}$ . Эта временная граница и определяет условие, при котором необходимо учитывать  $i_{\rm u}$   $\left(\tau > \tau_p\right)$ .

Так, например, для  $h_{\rm H}=100\cdot 10^{-3}\,{\rm M},$   $i_u=0.225\,{\rm KF/(M^2 Y)},$   $i_g=12.99\,{\rm KF/(M^2 Y)},$   $\tau=0.5\,{\rm Y},$  относительная погрешность  $\Delta=\left(i_u\cdot 100\%\right)\!/i_g=1.7\%$ , которая убывает с ростом  $h_{\rm H}$  (рис. 1). С ростом  $\tau$   $i_g\to i_u$ . При условии  $i_g=i_u$ ,  $\tau=\tau_p$ .



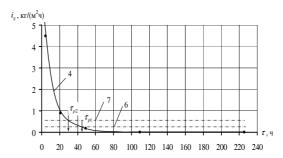


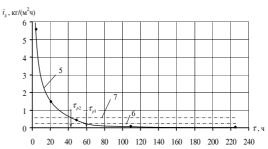


Величина  $\tau_p$  растет с повышением высоты навала  $h_{\rm H}$  торфяного сырья нарушенной структуры. Величина  $\tau_p$  описывается линейной зависимостью (рис. 2)

$$\tau_p = k_h \cdot h_{\rm H} \tag{28}$$

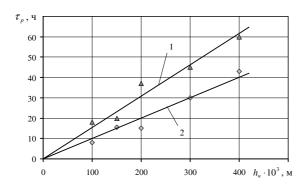
с угловым коэффициентом  $k_{hi} = d \tau_p / d h_{\rm H}$  , ч/м, значение которого составляет  $k_{h1} = 0.15 \cdot 10^3$  ч/м.





**Puc. 1.** Зависимость  $i_g = f(\tau)$  для  $h_{\rm H} = 100$  мм (1), 150 мм (2), 200 мм (3), 300 мм (4), 400 мм (5) в сравнении с конвективным теплоподводом – 7, интенсивностью испарения  $i_u$  (6) ( $i_u = 0.225$  кг/(м²ч)),  $\tau_p$  – время, при котором  $i_g = i_u$  для шейхцериевосфагнового торфа  $R_T = 22...25\%$ , конвективный теплоподвод – 6, радиационно

**Fig. 1.** Dependence  $i_g = f(\tau)$  for  $h_{\rm H} = 100$  mm (1), 150 mm (2), 200 mm (3), 300 mm (4), 400 mm (5) compared to the convective heat input – 7, the intensity of evaporation  $i_u$  (6) ( $i_u = 0.225 \, {\rm kg/(m^2h)}$ ),  $\tau_p$  – time, where to  $i_g = i_u$  scheuchzeria-sphagnum peat  $R_T = 22...25\%$ , the convective heat input – 6, radiation



**Рис. 2.** Зависимость равновесного времени (при  $i_g$  и  $i_u$ ) обезвоживания шейхцериевосфагнового торфа  $R_T=22...25\%$  от начальной толщины навала (конвективный теплоподвод – 1, радиационно-конвективный теплоподвод – 2 –  $\tau_{pi}=k_{hi}\cdot h_{_{\rm H}}$ ,  $k_{h1}=0.15\cdot 10^3$  ч/м,  $k_{h2}=0.1\cdot 10^3$  ч/м

Fig. 2. The dependence of the equilibrium time ( $i_g$  and  $i_u$ ) dehydration scheuchzeriasphagnum peat  $R_T=22...25\%$  on the initial thickness of mound (convective heat input – 1, radiation-convective heat input – 2 –  $\tau_{pi}=k_{hi}\cdot h_{_{\rm H}}$ ,  $k_{h1}=0.15\cdot 10^3$  h/m,  $k_{h2}=0.1\cdot 10^3$  h/m

Если при  $h_{\rm H}=h_i$  из формулы (4) выразить  $h_i$ , подставить в формулу (28) с учетом (1), то получим зависимость:

$$\tau_p = -k_{9\phi}^{\prime} k_h \frac{P_k - P_g}{i_g} \,, \tag{29}$$

которая показывает, что  $\tau_p$  растет с повышением комплекса ( $-(P_k-P_g)/i_g$ ), т. е. с уменьшением  $i_g$  для различных  $h_{_{\rm H}}$  (рис. 1), и при  $P_k \Rightarrow P_g$  ( $h_i \Rightarrow H_{_{\rm KD}}$ )  $\tau_p \to 0$ .

Следовательно, при  $\tau < \tau_p$  преобладает обезвоживание навала торфа за счет фильтрации и незначительного испарения. Поэтому при конвективном теплоподводе его можно не учитывать. В случае радиационно-конвективного теплоподвода  $\tau_p$  уменьшается из-за роста i (формула (17)) согласно уравнению (29) (при  $i_g = i_u$ ). Причем перерас-

Оценка движения влаги при радиационно-конвективном теплоподводе  $h_i > H_{\rm кp}$  осуществляется по той же схеме с использованием расчетной формулы (16). В качестве примера принимаем величину  $q_{\scriptscriptstyle \Pi} = B$  по средним данным летних месяцев (июнь–август, 13–14 ч, 1991 г. [6], Тверская область, Осташковский район) сезона добычи торфа,  $q_{\scriptscriptstyle \Pi} = 0.38$  кВт/м²,  $t_c \approx 21.8\,^{\circ}$ С,  $t_{\scriptscriptstyle M} \approx 15.2\,^{\circ}$ С,  $\Delta t = 6.6\,^{\circ}$ С,  $v \leq 2$  м/с. Шейхцериево-сфагновый торф, размер сосуда l = 0.220 м,  $v = 15.26\cdot 10^{-6}$  м²/с.

- 1. Критерий Рейнольдса (26),  $R_e = 2.88 \cdot 10^4 \text{ M}^2/\text{c}.$
- 2. Коэффициент теплопроводности воздуха (23),  $\lambda = 2.83 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К).
- 3. Температура поверхности  $t_{\scriptscriptstyle \Pi}$  рассчитывалась по формуле [8],

$$t_{_{\rm II}} = t_{_{\rm M}} + 0.22 \frac{q_{_{\rm J}} l}{\lambda} R_e^{-0.6} \left( \frac{T_{_{\rm M}}}{T_c - T_0} \right)^{0.56},$$

$$c_n = 15.2 + 0.22 \frac{380 \cdot 0.220}{2.83 \cdot 10^{-2}} (2.88 \cdot 10^{-4})^{-0.6} \left( \frac{28835}{294.95 - 273.15} \right)^{0.56} = 15.2 + 5.8 = 21 \,^{\circ}C$$

- 4. Критерий Нуссельта рассчитывался по формуле,  $N_{uq} = 181,82$ .
- 5. Коэффициент конвективного теплообмена,  $\alpha_q = 23,388 \, \mathrm{Br/(m^2 K)}$ .
- 6. Конвективная составляющая теплового потока  $q_k$ ,

$$q_{k} = \alpha_{q}(t_{c} - t_{M}) =$$
= 23,388(21,8 - 21,0) = 18,7 BT/M<sup>2</sup>

7. Суммарный тепловой поток,  $q_0 = q_k + q_\pi = 18,7 + 380 = 398,7$  Вт/м<sup>2</sup>.

8. Испаряемость (16)

$$i_u = \frac{q_0}{R_n} = \frac{q_0}{2501 - 2.72t_n},$$
 (30)

$$i_u = \frac{398,7}{2501 - 2,72 \cdot 21} =$$

$$= 163,4 \cdot 10^{-6} \frac{\text{K}\Gamma}{\text{M}^2\text{c}} = 0,588 \frac{\text{K}\Gamma}{\text{M}^2\text{y}}.$$

**Таблица 1.** Сравнение гравитационного обезвоживания с испарением влаги с поверхности навала торфа при различном теплоподводе (К- и РК-режимы,  $i_g = i_u$ )

**Table 1.** Comparison of gravitational dewatering evaporation of moisture from the surface of the peat mound at different heat supply (K- end PK-modes;  $i_q = i_u$ )

Высота навала,	Время т, ч						Равновес- ное время т <sub>р</sub> , ч	
$h_{\rm H}\cdot 10^3$ ,	0,5	4,5	21	49	109,5	225,5	K-	KP-
M M	Интенсивность обезвоживания $i_g$ , кг/(м $^2$ ч)						pe-	pe-
							жим	жим
100	12,99	0,76	0,12	0,06	0,003	0	18,0	8,0
150	18,39	1,57	0,25	0,05	0,002	0	20,0	15,5
200	19,51	2,69	0,35	0,15	0,003	0	37,0	15,0
300	26,14	4,48	0,90	0,18	_	0,005	45,0	30,0
400	31,35	5,58	1,46	0,44	0,069	0,015	60,0	43,0

### Примечания:

- 1) К и РК соответственно конвективный и радиационно-конвективный теплоподвод;
- 2) значения  $_p$  получены по данным (рис. 1) экстраполяцией пересечения графиков  $i_a = f( )$  и  $i_u = f( )$  по оси .

Анализ полученных значений  $i_u$  показывает отличие радиационно-конвективного теплоподвода от конвективного в 2,61 раза, а значит, возрастает и его роль при гравитационном обезвоживании торфяного сырья, т. е.  $\tau_{p2}$  уменьшается по сравнению с  $\tau_{p1}$ . Это обстоятельство вызывает уменьшение углового коэффициента  $(k_{h2}=0,1\cdot10^3 \text{ ч/м})$  теоретической зависимости (29) при анализе данных (рис. 1 и 2).

Подробный анализ таблицы также подтверждает графические зависимости с позиции необходимости учета испарения с поверхности навала тем раньше, чем меньше его высота  $h_{\rm H}$  и выше тепловой поток при  $h_{\rm i} > H_{\rm KP}$ . При

 $au= au_p$  величина интенсивности испарения  $i_u$  равна интенсивности гравитационного обезвоживания  $i_g$ , но при очень малых значениях  $i_u$ , вклад которых в общий поток влаги при разных  $h_{\rm H}$  невелик, его можно не учитывать при  $au< au_p$ . При малых интенсивностях обезвоживания вклад  $i_u$  растет и его учет обязателен при  $au> au_p$ , au, au е. когда  $h_{\rm H} \to H_{\rm kp}$ . При  $h_{\rm H} = H_{\rm kp}$  роль  $i_g$  из общего баланса влаги  $i=i_g+i_u$  исключается ( $i_g=0$ ,  $P_k=P_g$ ) и  $i=i_u$ .

Таким образом, гравитационное обезвоживание навала торфа является определяющим до  $h_i > H_{\rm Kp}$  по сравнению с испарением влаги с поверхности навала, увеличивающегося с ростом температуры, радиационного баланса  $(q_{_{\rm I}} = B)$ , уменьшением относительной влажности воздуха  $\phi_c$ . Полагаем, что границей учета испарения служит время «равновесия»  $\tau_p$  при  $i_q = i_u$ , т. е. когда на испарение приходится 50% потока i влаги. Величина  $\tau_p$  зависит от эффективного коэффициента влагопроводности  $k_{\mathfrak{sh}}^{\prime}$ , высоты навала, перепада давлений  $P_k - P_a$ , приведенного к интенсивности гравитационного  $i_g$ обезвоживания. Следовательно, помимо полученных ранее [1, 2] технологических характеристик, коэффициента сопротивления переносу влаги β, критической высоты  $H_{\kappa p}$  навала торфа и степени разложения  $R_T = 30...32\%$  необходимо ввести время равновесного состояния по доле переносимой влаги за счет гравитации и испарения.

### Библиографический список

1. *Кремчеев Е.А.* Оценка эффективности гравитационного обезвоживания сырья при комплексной механизации круглогодовой добычи торфа / Э.А. Кремчеев, А.Е. Афанасьев // ГИАБ, 2012. № 4. С. 50–58.

- 2. Афанасьев А.Е. Теоретическая оценка коэффициентов влагопроводности торфяной залежи нарушенной структуры / А.Е. Афанасьев, Э.А. Кремчеев, А.С. Ефремов // ГИАБ, тематическое приложение «Гидромеханизация», 2012. Выпуск 6.
- 3. *Афанасьев А.Е.* Процессы сушки дисперсных материалов: учебное пособие / А.Е. Афанасьев, А.Н. Болтушкин. Тверь: ТГТУ, 2011. 152 с.
- 4. *Афанасьев А.Е.* Интенсивность и продолжительность сушки крошкообразного торфа // Торф и бизнес, № 3 (13), 2008. С. 31–35.
- Чудновский А.Ф. Теплофизика почв / А.Ф. Чудновский. М.: Наука, 1976. 353 с.

- 6. Афанасьев А.Е., Чураев Н.В. Оптимизация процессов сушки и структурообразования в технологии торфяного производства. М.: Недра, 1992. 288 с.
- 7. *Афанасьев А.Е.* Физические процессы торфяного производства: учебное пособие. Тверь: ТГТУ, 2005. 208 с.
- 8. Антонов В.Я., Малков Л.*М., Гамаюнов Н.И.* Технология полевой сушки торфа. М.: Недра, 1981. 239 с.
- 9. *Малков Л.М.* Определение величины испарения с поверхности торфяных массивов // Торфяная промышленность, 1970. № 6. С. 4–6.

### УДК 541.183.2-032.34:665.6

### Испирян С.Р.

Испирян Светлана Рафаиловна, к. т. н., доцент кафедры теплофизики ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет» (ТвГТУ).

Тверь, наб. Аф. Никитина, 22.

### **Ispirian S.R.**

Ispirian Svetlana R., Ph.D., Associate Professor, Department of Thermal Physics VPO «Tver State Technical University» (TvGTU). Tver, nab. Af. Nikitina, 22.

## ОСОБЕННОСТИ СОРБЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТОРФА И НЕФТЕ-МАСЛОПРОДУКТОВ

# FEATURES SORPTIVE INTERACTION OF PEATLAND OIL AND PRODUCTS OF ITS PROCESSING

Аннотация. Рассмотрена зависимость сорбционной емкости гранулированного торфа по нефтемаслопродуктам от площади поверхности, объема пор и влажности сорбента. Показано, что сорбция углеводородов нефти происходит преимущественно на поверхности гранул и в мезопорах на гидрофобных участках поверхности. Предложены методы модификации торфяных сорбентов с целью повышения их сорбционной емкости.

Ключевые слова: адсорбция, торф, нефтепродукты, гранулированные торфяные сорбенты, сорбционная емкость.

Abstract. The dependence of the sorption capacity of granulated peat on oil and products of its processing of surface area, pore volume, and humidity of the sorbent. It is shown that the adsorption of hydrocarbons is petroleum mainly on the pellet surface and mesopores upon hydrophobic surface regions. The methods of modification of peat sorbent to improve their sorption capacity.

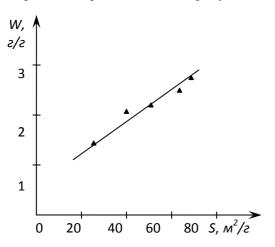
*Key words*: adsorption, peat, oil and products of its processing, granulated peat sorbents, sorption capacity.

огласно методике комплексной оценки поглощения торфом нефтемаслопродуктов [1], на сорбционные свойства торфа влияют такие его характеристики, как насыпная плотность, дисперсность, пористость, влажность. Исследования зависимости сорбционной емкости от указанных параметров в статических условиях путем погружения навески в чистую жидкость проводили с гранулированным торфяным сорбентом, термообработанным при температуре 170 °C.

В качестве сорбата использовалось дизельное топливо.

Результаты исследований показали, что сорбционная емкость такого материала увеличивалась по мере уменьшения диаметра гранул, а следовательно, роста их насыпной плотности. Объем пор сорбента при этом уменьшался, но возрастала удельная площадь поверхности гранул.

Зависимость сорбционной емкости гранул от удельной площади их поверхности представлена на рисунке.



**Puc.** Зависимость сорбционной емкости гранул от удельной площади их поверхности

*Fig.* Dependence sorptive granules capacitance of the specific surface area of

Линейный характер этой зависимости дает возможность предположить, что нефтепродукт преимущественно осаждается на поверхности гранул, т. е. имеет место механизм адгезионного взаимодействия сорбента и сорбата.

Большое значение при поглощении органических примесей из воды играет пористая структура сорбента. Природные органические сорбенты являются гетеропористыми материалами, размеры пор которых колеблются от долей нанометра до сотен микрометров. В узких микропорах энергия адсорбции выше, чем на поверхности непористых адсорбентов или в мезо- и макропорах. Это объясняется тем, что поля действия дисперсионных сил противоположных стенок поры перекрываются. Тогда интенсивность дисперсионного взаимодействия с адсорбированной молекулой почти не зависит от того, в какой части пространства поры она находится - вблизи одной из стенок или в центре.

Однако при сорбции органических молекул, диаметр которых составляет 0,4–1 нм и выше, часть микропор может оказаться для них недоступной, так как они слишком малы, замкнуты или уже заполнены водой. Если диаметр поры не менее чем в 2 раза превышает ван-дер-ваальсовское сечение молекулы органического компонента, то в таких порах могут образовываться полимолекулярные слои органических компонентов.

Таким образом, при сорбции углеводородов из воды природными материалами существенное значение могут иметь мезопоры и макропоры сорбента. Исследование поглощения дизельного топлива гранулированным торфяным сорбентом в динамических условиях [2] показало, что сорбция углеводорода происходит в порах, размер которых не превышает 15 мкм. Более крупные поры играют преимущественно транспортную роль, сорбируя нефтепродукты на поверхности.

При сорбции нефтепродуктов из воды на поверхности адсорбента происходит взаимное вытеснение молекул компонентов смеси, обусловленное различной энергией их взаимодействия с поверхностью торфяных гранул, что приводит к их избирательному поглощению. Наряду с силовым полем

твердой фазы необходимо учитывать и межмолекулярные взаимодействия в жидкой среде, то есть растворимость, ассоциацию, степень ионизации органических веществ в воде.

Однако в случае загрязнения воды нефтемаслопродуктами взаимодействием в жидкой фазе можно пренебречь, т. к. растворимость таких соединений в воде составляет 0,001-0,01% и углеводороды нефти, взаимодействуя между собой, образуют в воде ассоциаты и находятся преимущественно в эмульгированном или пленочном состоянии. На поверхности торфяных гранул имеются как гидрофильные, так и гидрофобные участки. Гидрофобные компоненты торфа - это преимущественно битумы и другие углеродсодержащие компоненты. Благодаря сродству гидрофобных молекул торфа и углеводородов нефти возникают дисперсионные взаимодействия с энергией 15...25 кДж/моль, что позволяет извлекать и удерживать нефтепродукты из воды.

Однако торф относят к гидрофильным материалам. Содержание гидрофильных функциональных групп у верховых видов торфа составляет 20–250 мг-экв на 100 г сухого вещества, а у низинных видов 100–800 мг-экв на 100 г сухого вещества [3].

взаимодействия Энергия таких групп с молекулами воды в 10-20 раз превышает энергию взаимодействия с углеводородами. Соответственно, сорбционная емкость по нефтепродуктам у необработанного торфа невысока. Проводимая при ограниченном доступе воздуха термообработка торфяных гранул приводит к испарению влаги и выделению на поверхности обрабатываемого материала смолистых веществ (битумов), обволакивающих частицы, придавая им гидрофобность, что приводит к повышению сорбционной емкости в 1,7-2,5 раза.

Введение в фазу торфа модифицирующих добавок существенно изменяет его структуру и способность поглощать влагу вследствие взаимодейст-

вия их с полярными органическими и неорганическими составляющими торфа. Подбирая условия модифицировния, можно управлять процессами влагопереноса в торфе, что позволит наиболее широко использовать торф для избирательного поглощения нефтепродуктов из воды.

Повышение исходной влажности торфа с 15% до 60% приводит к увеличению его сорбционной емкости по дизельному топливу в 1,3–1,7 раз [1].

Это происходит за счет набуха-ния сорбента и открытия для углеводородов, некоторых ранее недоступных пор.

Таким образом, на основании проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы:

- 1) сорбция нефтемаслопродуктов торфом происходит преимущественно на поверхности гранул, а также в мезо- и макропорах сорбента;
- 2) нефтемаслопродукт не может вытеснять молекулы воды на гидрофильных участках, а также из микропор;
- 3) для повышения сорбционной емкости торфяных материалов по нефтемаслопродуктам необходимо модифицировать сорбент путем его термообработки или за счет добавки органических полимерных материалов.

### Библиографический список

- 1. Испирян С.Р. Разработка методики комплексной оценки поглощения торфом нефтемаслопродуктов: дис. ... канд. техн. н: 25.00.36: защищена 30.11.01: утв. 08.02.02 / С.Р. Испирян. Тверь, 2001. 141 с.
- 2. Испирян С.Р. Физико-химические основы сорбционного взаимодействия природных материалов с углеводородами / С.Р. Испирян // Вестник ТГТУ. Тверь, 2007. Вып. 10. С. 201–204.
- 3. *Физика* и химия торфа: учеб. пособие для вузов/ И.И. Лиштван [и др.]. М.: Недра, 1989. 304 с.

УДК 622.331:622.271.9.001.2

### Смирнов В.И.

Смирнов Виталий Иванович, кандидат технических наук, доцент каф. геотехнологии и торфяного производства ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет» (ТвГТУ). Тверь, Академическая, 12

### Беляков В.А.

Беляков Владимир Александрович, доцент кафедры геотехнологии и торфяного производства ТвГТУ

### Купорова А.В.

Купорова Александра Владимировна, аспирант каф. геотехнологии и торфяного производства ТвГТУ

# МЕТОДЫ РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОБЫЧИ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА С УЧЕТОМ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ МАШИН

Аннотация. В статье рассматриваются методики определения проектного количества циклов, определения переходящих запасов фрезерного торфа, определения производственно-технических показателей добычи фрезерного торфа с учетом организации работы уборочных машин, описываются их достоинства и недостатки.

Ключевые слова: фрезерный торф, технологический цикл, резерв.

### Smirnov V.I.

Smirnov Vitaly I., Ph.D., Associate Professor of Department. Geotechnology and peat production VPO «Tver State Technical University» (TvGTU). Tver, Academicheskaya, 12

### Belyakov V.A.

Belyakov Vladimir A., assistant professor of geotechnology and peat production TvGTU

### Kuporova A.V.

Kuporova Alexandra V., senior lecturer in peat machines and equipment TvGTU

# METHODS OF CALCULATION OF TECHNOLOGICAL MILLED PEAT PRODUCTION FIGURES BASED ORGANIZATION OF THE MACHINES

Abstract. In the article the methods of determining the project amount of cycles, determinations of transitory supplies of milling peat, determinations of manufacturing and engineering indexes of booty of milling peat, are examined taking into account organization of work of harvesters, their dignities and failings are described.

Key words: milling peat, technological cycle, reserve.

В настоящее время при расчете сезонных сборов и программы добычи фрезерного торфа используют показатели нормативного количества циклов [1].

В основу определения нормативного количества технологических циклов была принята методика бывшего Московского торфяного института (МТИ), разработанная в конце 30-х – начале 40-х годов XX столетия.

Методика МТИ, основанная на результатах исследований применительно к низинной торфяной залежи средней и хорошей степени разложения, имеет следующие основные недостатки: осадки за длительный дождливый период не суммируются, а расчет продолжительности просушки торфяной залежи выполняется по данным последних максимальных осадков этого периода; методика не учитывает различные потенциальные возможности дней для сушки фрезерного торфа в зависимости от региона расположения производства.

Всероссийским научно-исследовательским институтом торфяной промышленности (ВНИИТП) во второй половине XX века были выполнены объемные работы по изучению влияния метеорологических, технологических и физико-механических свойств торфяной залежи на сушку фрезерного торфа. В конечном итоге была разработана современная методика расчета количества циклов применительно для четырех групп торфяной продукции [2].

Методика ВНИИТП полностью исключает недостатки методики МТИ.

Однако методика ВНИИТП для расчета проектного количества циклов не была рекомендована в производство. По нашему мнению, причина заключалась в плановой системе управления промышленностью, а также в субъективных факторах. Но следует отметить, что в нормы технологического проектирования издания 1976 г. были внесены корректировки в сторону уменьшения количества циклов с учетом типа и степени разложения разрабатываемого торфяного месторождения.

В настоящее время, когда в условиях рыночной экономики поставка торфяной продукции потребителю в обусловленные сроки и зафиксированные договорами объемы приобретает исключительно важное значение, возникла необходимость уточнения методов расчета проектных производственно-технологических показателей добычи фрезерного торфа. На кафедре геотехнологии и торфяного производства (ГТП) Тверского государственного технического университета разработана методика по определению проектного количества циклов с учетом метеорологических условий региона расположения торфяного производства и принципа организации работы торфяных машин. Расчеты выполняются на основе фактических суточных метеорологических показателей за последние 30 лет по количеству осадков, психрометрической разности в 15 ч по летнему времени, скорости ветра в дневное время и среднесуточной температуре воздуха.

В основу расчета возможного количества циклов за каждый год принята методика ВНИИТП[2].

В соответствии с рекомендациями ВНИИ торфяной промышленности для обоснования проектного количества циклов необходимо обработать теорологические показатели не менее чем за последние 30 лет. За каждый сезон определяется возможное количество циклов как сумма коэффициентов цикличности за уборочные дни и сезонная испаряемость с поверхности почвенного испарителя методом суммирования суточных значений. Проектное количество циклов зависит от двух показателей - вероятности выполнения количества циклов и размера максимального резерва фрезерного торфа, необходимого для поставки потребителю в неблагоприятные по метеорологическим условиям сезоны.

Методика ВНИИТП по определению переходящих запасов фрезерного торфа, которая включает выбор модульных коэффициентов с учетом недопоставки готовой продукции в неблагоприятные сезоны, является довольно сложной в расчетах и недостаточно понятной для производственного персонала [3].

Более простой и наглядной является методика бывшего Московского торфяного института, которая основана на расчете движения резерва в течение 30-летнего ряда, который необходим для обеспечения поставки фрезерного торфа в расчетных объемах в неблагоприятные по метеорологическим условиям сезоны.

Выбор проектной вероятности выполнения количества технологических циклов взаимосвязан с созданием необходимого резерва готовой продукции. В производственных условиях было установлено, что из-за потерь готовой продукции в процессе хранения максимальный размер резерва не должен превышать 40%.

С учетом же экономических показателей размер резервной продукции должен быть не ниже 25%. Также существенным недостатком методики ВНИИТП по расчету количества циклов является то обстоятельство, что она не учитывает организацию работы технологических машин.

Между тем известно, что технологический процесс производства фрезерного торфа может быть организован по одному из двух вариантов от категории дней сушки.

Первый вариант предполагает постоянную продолжительность цикла, т. е. время от фрезерования до уборки включительно. Так как погодные условия в течение сезона меняются, то для сохранения постоянной продолжительности цикла необходимо заранее запрогнозировать категорию дней сушки, рассчитать необходимую глубину фрезерования в каждом цикле и выдержать ее при выполнении первой операции.

Второй вариант организации технологического процесса основан на примерно одинаковой глубине фрезерования, которая соответствует средним погодным условиям для сушки торфа.

Таким образом, в дни с хорошей категорией сушки торф высыхает раньше планового срока и часть его остает-

ся неубранным, так как количество уборочных машин рассчитывается на плановую продолжительность цикла. В дни же со слабой категорией сушки продолжительность цикла возрастает, и торфяные машины простаивают изза отсутствия фронта работ.

На кафедре геотехнологии и торфяного производства разработаны методы расчета коэффициентов, учитывающих снижение проектного количества циклов из-за организации работы бункерных уборочных машин [4].

При организации технологического процесса с дифференцированием цикловых сборов в качестве основного показателя принята сезонная производительность бункерной уборочной машины

$$G_{c.\partial} = \sum_{i=1}^{n} (S_{vi} q_{ui} t_{pi} T_{v} K_{i}),$$

где  $G_{c,\partial}$  – плановая сезонная производительность бункерной машины при организации процесса с дифференцированием цикловых сборов, т; i = 1,2,..., n – число интервалов, на которые распределены статистические ряды по эффективной испаряемости с поверхности почвенного испарителя за цикл;  $S_{vi}$  производительность уборочной машины при работе с цикловым сбором  $q_{ui}$ , га/ч;  $q_{ui}$  – цикловой сбор, рассчитанный при среднем значении эффективной испаряемости в і-м интервале,  $T/\Gamma a$ ;  $t_{pi}$  – расчетное число часов работы машины за сутки в і-м интервале по испаряемости;  $T_{v}$  - проектное (нормативное) число уборочных дней в сезоне;  $K_i$  – относительная частота технологических циклов по эффективной испаряемости в і-м интервале.

За одной уборочной машиной закрепляется постоянная площадь  $F_{ij}$ . Расчетное число часов работы машины за сутки в i-м интервале определяется по формуле  $t_{pi} = F_{ij}/(S_{yi}\tau_{ij})$ , где  $\tau_{ij}$  – плановая продолжительность цикла, сутки.

Расчетное количество циклов при организации процесса с дифференцированием цикловых сборов и расчетный цикловой сбор (т/га) определяются по формулам:  $n_{u,\partial} = F_{c,\partial}/F_{u,\partial}$   $q_{c,\partial} = G_{c,\partial}/F_{u,\partial}$ 

Средневзвешенное значение циклового сбора (т/га):  $q_{u.\partial} = q_{c.\partial}/n_{c.\partial}$ .

Выполненные расчеты показывают, что в результате организационных факторов при работе бункерных уборочных машин сезонные сборы на 10-15% ниже тех значений, которые рассчитываются проектными организациями по формуле  $q_c = q_{u,n} n_{u,r}$  где  $q_{u,n} - q_{u,n}$  нормативный цикловой сбор, рассчитанный для средних погодных условий, r/rа:  $r_u - q_u$  нормативное количество циклов.

Методика определения поправочного коэффициента к проектному количеству циклов при организации процесса с постоянными цикловыми сборами при уборке торфа бункерными машинами исходит из предположения равенства необходимой для сушки торфа испаряемости за цикл, с одной стороны, и произведения фактической средней испаряемости за сутки на расчетную продолжительность цикла, с другой стороны, т. е.  $i_u \tau_u = i_{3.u} = i_{3i} \tau_{ui}$ , где  $i_{3}$  – средняя за сезон эффективная испаряемость за сутки, значение которой принято при расчете циклового сбора,  $\kappa \Gamma/M^2$ ;  $\tau_{u}$  – плановая продолжительность цикла, сутки;  $i_{i}$  – среднее значение эффективной испаряемости за сутки в i-м интервале;  $\tau_{ui}$  - расчетная продолжительность цикла при сушке фрезерного торфа в і-м интервале по испаряемости, сутки;  $\tau_{ui} = i_{3.u}/i_{3i}$ .

Расчетное количество циклов при организации процесса с постоянными цикловыми сборами определяется по формуле

$$n_{u,n} = \sum_{i=1}^{n} (n_u \tau_u K_i / \tau_{ui}).$$

Понижающий коэффициент к проектному (нормативному) количеству циклов определяется по формуле  $K_{ij} = n_{ij,n}/n_{ij}$  и находится в пределах от 0,85 до 0,90 (в зависимости от метеорологических условий региона расположения торфяного производства).

### Библиографический список

- 1. *Нормы* технологического проектирования предприятий по добыче торфа. ВНТП 19–86. М.: Изд-во МТП РСФСР, 1986. 117 с.
- 2. Методика расчета количества циклов добычи фрезерного торфа и эффективной испаряемости. Л.: Изд-во ВНИИ торфяной промышленности, 1981. 44 с.
- 3. *Методика* определения переходящих запасов и уровня надежности выполнения плана добычи фрезерного торфа. Л.: Изд-во ВНИИ торфяной промышленности, 1981. 40 с.
- 4. Смирнов В.И. Управление процессом разработки торфяных месторождений: Уч. пособие для вузов / В.И. Смирнов. М.: Недра, 1985. 224 с.

УДК 622.331:622.271

### Черткова Е.Ю.

Черткова Елена Юрьевна, ассистент кафедры геотехнологии и торфяного производства ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет» (ТвГТУ). 170026, Тверь, ул. Академическая, 12

### Смирнов В.И.

Смирнов Виталий Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры геотехнологии и торфяного производства ТвГТУ

### Михайлов А.А.

Михайлов Андрей Анатольевич, аспирант кафедры геотехнологии и торфяного производства ТвГТУ

## ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДОБЫЧИ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА ПОНИЖЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ С ДИФФЕРЕНЦИРО-ВАНИЕМ ЦИКЛОВЫХ СБОРОВ

Аннотация. Приведены данные экспертной оценки по выбору наилучших вариантов добычи фрезерного торфа пониженной влажности. Предложена организация технологического процесса добычи фрезерного торфа. Предпочтение отдается сушке торфа в «толстых» слоях до уборочной влажности 35% и на откосах валков.

Ключевые слова: организация, фрезерный торф, цикловой сбор, интенсификация сушки.

### Chertkova E.J.

Chertkova Elena J., Assistant Professor of geotechnology and peat production VPO «Tver State Technical University» (TvGTU). 170026, Tver, ul. Academicheskaya, 12

### Smirnov V.I.

Smirnov Vitaly I., Ph.D., assistant professor of geotechnical technology and peat production TvGTU

### Mikhailov A.A.

Mikhailov Andrey A., graduate student geotechnology and peat production TvGTU

# ORGANIZATION OF PRODUCTION PROCESS MILLED PEAT OF LOW HUMIDITY WITH DIFFERENTIATION CYCLE CHARGES

Abstract. The data expert evaluation on the choice of the best options for production of milled peat of low humidity. Proposed organization of the technological process of production milling. Preference is given to the drying of peat in thick layers up to 35% harvest moisture, and on the slopes of the rolls.

*Keywords*: organization, milled peat, cycle collection, the intensification of drying.

з ранее разработанных организационных рекомендаций известно, что технологический процесс добычи фрезерного торфа может быть осуществлен по одному из двух вариантов, учитывающих погодные условия сушки торфа. Первый вариант организации технологического процесса предполагает постоянную продолжительность цикла. В связи с изменением потенциальных возможностей дней для сушки торфа с целью сохранения постоянной продолжительности цикла необходимо изменять (дифференцировать) глубину фрезерования. Организация процесса по первому варианту предполагает прогнозирование погодных условий и обязательное контролирование глубины фрезерования с целью получения расчетных цикловых сборов фрезерного торфа.

Второй вариант организации технологического процесса основан на примерно одинаковой глубине фрезерования, которая должна соответствовать средней категории дней сушки. При втором варианте организации в дни с хорошей категорией сушки торф высыхает раньше планового срока и не может быть полностью убран, так как расчетное количество машин определяется в соответствии с плановой продолжительностью цикла. В дни же со слабой категорией сушки продолжительность цикла увеличивается и торфяные машины простаивают из-за отсутствия фронта работ. Проектные организации при расчете производственно-технологических показателей предусматривают постоянную продолжительность цикла, т. е. первый вариант. Согласно этому варианту, на каждый предстоящий цикл необходимо запрогнозировать погодные условия, определить фактическую влажность крошки после фрезерования, рассчитать и обеспечить необходимую глубину фрезерования.

Однако вследствие невысокой вероятности прогнозирования интенсивности сушки фрезерного торфа в предстоящем цикле и невозможности существующими фрезерами выдерживать расчетную глубину фрезерования в производственных условиях первый вариант организации технологического процесса не реализован. На производственных участках торфяную залежь фрезеруют примерно на одинаковую глубину, а контроль этого важного показателя осуществляется визуально.

Перед нами была поставлена задача разработать технологический процесс добычи фрезерного торфа пониженной влажности с дифференцированием цикловых сборов. В основу разрабатываемого процесса заложен метод интенсификации полевой сушки в плановые сроки технологического цикла. Анализ опубликованных работ позволил выявить до 10 методов интенсификации удаления влаги из торфа в полевых условиях [1].

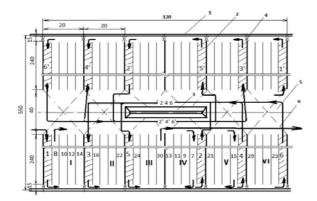
К оценке эффективности направлений интенсификации сушки были привлечены в качестве экспертов ведущие ученые и специалисты в области торфяного производства. Подробное изучение литературных источников и экспертная оценка специалистов позволили рекомендовать геотехнологический процесс добычи фрезерного торфа с интенсификацией сушки в «толстых» слоях и на откосах укрупненных валков из сырого торфа [2].

Предложенный метод сушки торфяной крошки в «толстом» слое, условно состоящем из двух прослоек – верхней части с наибольшей интенсивностью испарения влаги и нижней части, которая в значительной мере предотвращает влияние залежи на сушку.

Организация технологического процесса добычи торфа выполняется по следующей схеме. Фрезерование торфяной залежи в технологическом цикле после осадков осуществляется на глубину 25–30 мм из условия образования слоя толщиной 45–50 мм. Во втором и последующих циклах после осадков фрезерные барабаны формируют слой из оставшейся торфяной крошки и дополнительно сфрезеровнной залежи на глубину до 10 мм.

Уборку фрезерного торфа с пониженной влажностью целесообразно производить пневматическим способом.

Штабель фрезерного торфа располагается в середине площадки на специальной подштабельной полосе. В предлагаемой схеме технологическая площадка (рис.) состоит из шести карт.



**Рис.** Схема технологической площадки и движения пневмоуборочных машин при сушке торфа в толстых слоях: 1 – валовый канал; 2 – картовый канал; 3 – штабель торфа; 4 – мосты-переезды; 5 – подштабельная полоса; 6 – дрены; на картах цифрами обозначены проходы уборочных машин

*Fig.* The scheme of the technological platform and the movement of air cleaning machines drying of peat in thick layers: 1 – gross channel, 2 – cartesian channel, 3 – peat stack, 4 – bridges, crossings, 5 – band beneath the stack, 6 – drains; numerals indicate on maps passages sweepers

С целью более полного наполнения торфом бункера уборочной машины длина карт увеличена до 550 м. В предлагаемой схеме технологической площадки сокращается число штабелей, повышается концентрация готовой продукции в одном штабеле на 90% и в два раза снижается протяженность транспортных коммуникаций для вывозки фрезерного торфа автомобильным транспортом; штабели не располагаются на мостах-переездах, что позволяет производить ремонтные работы в любое время сезона.

Для расчета цикловых сборов при уборке фрезерного торфа пониженной влажности была принята методика ВНИИ торфяной промышленности [3], которая наиболее полно учитывает влияние на сушку метеорологических и технологических факторов

$$q_{_{\mathrm{II}}}=10P_{_{\mathrm{c}}}(1+W_{_{\mathrm{y}}})\alpha_{_{\mathrm{c}}}$$
 ,

где  $q_{\rm ц}$  – цикловой сбор при условной влажности, т/га;  $P_{\rm c}$  – удельная загрузка фрезерной крошки в пересчете на абсолютно сухое вещество, кг/м²;  $W_{\rm y}$  – условное влагосодержание, кг/кг;  $\alpha_{\rm c}$  – коэффициент циклового сбора.

$$P_{\rm c} = \left(\frac{i_{\rm s} \tau_{_{
m II}}}{M k_{_{
m b}}}\right)^{0.75} \left(\gamma_{_{
m H.C.}} d_{_{
m CP}}\right)^{0.25}$$
 ,

где  $i_9$ - эффективная испаряемость с поверхности почвенного испарителя за сутки, кг/м $^2$ ;  $au_{\scriptscriptstyle \rm H}$  – расчетная (или плановая) продолжительность цикла, сутки; М - коэффициент, учитывающий тип залежи и степень разложения торфа, равновесное, начальное и конечное влагосодержание, число ворошений и сроки их выполнения, величины увлажнений при ворошениях;  $k_{\rm h}$  – коэффициент снижения интенсивности сушки из-за неравномерности расстила фрезерной крошки; үн.с – насыпная плотность фрезерной крошки в пересчете на абсолютно сухое вещество, кг/м $^3$ ;  $d_{cp}$  – средневзвешенный диаметр частиц, м.

Расчеты выполнены для торфяной залежи верхового типа, степени разложения 30%, расположенной в Вологодской области. Установлено, что при уборке фрезерного торфа с конечной влажностью 45% при фрезеровании торфяной залежи в каждом цикле на глубину 8-11 мм и сушке торфа на поверхности залежи расчетный цикловой сбор составляет 12,36 т/га. Если досушивать торф до конечной влажности 35% по стандартной технологической схеме, то при прочих равных исходных показателях расчетный цикловой сбор составляет 11,05 т/га, то есть снижается на 10,4%

Применительно к технологическому процессу с интенсификацией сушки в толстых слоях было принято, что начальная влажность сушимого слоя будет на 3% ниже по сравнению с нормативной влажностью верхнего эксплуатационного слоя торфяной залежи.

Расчетный цикловой сбор при сушке торфа в толстых слоях при конечной влажности 35% составляет 12,85 т/га, что на 16,3% выше, и совпадает с расчетным цикловым сбором при конечной влажности 45%.

Первый ранг эксперты присвоили методу интенсификации сушки на откосах укрупненных валков и поверхностей штабелей [4].

Процесс сушки торфа на откосах валков предусматривает предварительное их образование по всей длине рабочей части карты из сырой торфяной крошки [5].

Для уборки торфа с поверхности откосов валков машины должны быть оборудованы дополнительным механизмом для подъема и перемещения сопел в наклонное положение параллельно поверхности откосов валка.

Применение в современном оборудовании гибких гофрированных воздуховодов и гидравлических цилиндров позволяет осуществлять такую модернизацию в условиях механических мастерских торфяных предприятий. Для расчета цикловых сборов с поверхности откосов валков было принято, что начальная влажность в циклах после осадков ниже нормативного значения фрезеруемого слоя торфяной залежи на 5%. При прочих равных показателях расчетный цикловой сбор с поверхности валка составил 14,3 т/га (конечная влажность - 35%). Цикловой сбор при одновременном внедрении двух методов составил 13,38 т/га.

В итоге можно констатировать, что совмещение в одном геотехнологическом цикле двух методов интенсификации сушки (в толстых слоях и на поверхности откосов укрупненных валков) позволит не только сохранить, но и повысить на 8,5% те значения расчетных цикловых сборов, которые достигаются при уборке фрезерного торфа с конечной влажностью 45% по типовой технологической схеме.

### Библиографический список

- 1. Перспективные технологии производства фрезерного торфа: учеб. пособие/ А.Н. Васильев. Тверь: ТГТУ, 2007. 184 с.
- 2. Смирнов В.И., Черткова Е.Ю. Экспертная оценка интенсификации процессов сушки в геотехнологии торфяного производства // Горный информационно-аналитический бюллетень. М: МГГУ, 2011. № 9. С. 106–113.
- 3. *Технология* и комплексная механизация разработки торфяных месторождений: учеб. пособие / А.Е. Афанасьев [и др.]. М.: Недра, 1987. 311 с.
- 4. *Тарасов В.И*. Интенсификация добычи фрезерного торфа. // Торфяная промышленность. 1990. № 7. С. 20–22.
- 5. Васильев А.Н. Направления модернизации технологического процесса добычи фрезерного торфа с раздельной уборкой // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. № 9. С. 185–188.

УДК 622.331:662.271.4 091

### Копенкина Л.В.

Копенкина Любовь Владимировна, к. т. н., доцент каф. торфяных машин и оборудования ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет» (ТвГТУ). Тверь, Академическая, 12

### Kopenkina L.V.

Kopenkina Lubov V., Ph.D., Associate Professor of Department. peat machines and equipment VPO «Tver State Technical University» (TvGTU). Tver, Academicheskaya, 12

## НАУЧНЫЕ ШКОЛЫ В ОБЛАСТИ ТОРФЯНОГО ДЕЛА МОСКОВСКОГО ТОРФЯНОГО ИНСТИТУТА

RESEARCH SCHOOL OF BUSINESS PEAT MOSCOW PEAT INSTITUTE

Аннотация. Рассмотрены этапы развития основных научных школ Московского торфяного института – геологии и разведки торфяных месторождений, физики и химии торфа, торфяного производства, торфяной механики и машин.

*Ключевые слова*: научная школа, торф, болото

Abstract. The stages of development of the main schools of the Moscow Institute of peat – Geology and peat deposits, physics and chemistry of peat, peat production, peat mechanics and machines.

Keywords: Scientific School, peat swamp

Виделить разные научные направления и школы, которые стали образовываться с начала XX века и продолжают развиваться в настоящее время. Научные школы в области торфяного дела Московского торфяного института стали основополагающим фактором для эффективного развития отечественного торфяного производства и оказали влияние на дальнейшие научные исследования ученых не только в рамках вуза, но и в других научно-исследовательских структурах в России и за рубежом.

Термин «научная школа» имеет различные определения. Можно отметить следующие признаки научной школы:

- объединение группы ученых для решения определенной проблемы или изучения объекта;
- новый теоретический подход и методы изучения, отличающиеся от других научных школ;
- существенное влияние на развитие науки и техники данного направления;
- привлечение последователей в других научных школах, т. е. интенсивное влияние на теоретические и практические положения и методы.

Также они формируются в разных центрах действия.

Научные школы называются по имени лидера или метода и объекта исследования, по главной теоретической идее. С течением времени в связи с изменением методов изучения, теоретических подходов, центров действия, сменой лидеров научные школы трансформируются, из них выделяются новые научные школы, которые могут сохранять или изменять научные традиции и научные направления.

Развитие науки о торфе и торфодобывании связано с созданием специальных научных центров. Первый в стране научно-экспериментальный институт по торфу – Инсторф был организован в 1921 году при Центральном управлении торфяными предприятиями (Цуторфе). Для проведения экспериментальных работ была создана Торфяная опытная станция (ТОС), открытая в 1927 году в Тверской (с 1931 г. – Калининской) области. В 1929 году были организованы филиалы Инсторфа, превратившиеся впоследствии в самостоятельные институты: Украинский – в Киеве, Ленинградский – в Ленинграде, торфяной отдел в институте промышленности БССР в Минске на правах Белорусского филиала.

Датой основания Института торфа АН БССР считается 25 декабря 1932 года (решение Президиума АН БССР).

Для усиления работ в области механизации торфодобывания в 1934 году в Ленинграде был создан ВИМТ – Всесоюзный научно-исследовательский институт механизации торфяной промышленности.

Важнейшими центрами научных исследований по торфу были отделы научно-исследовательских работ Московского торфяного института, Белорусского политехнического института (г. Минск), Свердловского горного института, Томского и Каунасского политехнических институтов, Украинского института инженеров водного хозяйства (г. Ровно). В вузовских центрах осуществлялась не только подготовка инженеров для торфяной отрасли, но и подготовка научных кадров в области торфяного дела – кандидатов и докторов наук.

В 1936 г. приказом Народного комиссара тяжелой промышленности Московский торфяной институт был объединен с научно-исследовательским институтом торфяной промышленности (Инсторфом) и до 1939 г. существовал как единый учебно-научнопроизводственный комплекс.

В 1941 году Инсторф был объединен с ВИМТ во Всесоюзный научноисследовательский институт торфяной промышленности (ВНИИТП). В состав института вошла Торфяная опытная станция (ТОС), преобразованная в 1955 году в Калининский филиал ВНИИТП.

Исследования в области торфяного дела велись по широкому спектру проблем, разработка которых способство-

вала повышению эффективности торфяного производства.

В истории Тверского государственного технического университета, а именно в период существования Московского торфяного института, можно выделить основные научные школы в области торфяного дела, тесно связанные с развитием кафедр торфяного профиля.

### Геология и разведка торфяных месторождений

Основатели научной школы – профессора *В.С. Доктуровский* (1884–1935), *Д.А. Герасимов* (1894–1944), *С.Н. Тюремнов* (1905–1971).

Первым заведующим кафедрой болотоведения МТИ с 1922 г. был профессор, создатель московской школы болотоведов Владимир Семенович Доктуровский. Одним из первых Доктуровский применил пыльцевой метод при изучении торфяников, создал первый атлас пыльцы в торфе. Выполнил классификацию верховых торфяников БССР.

Доктуровский был избран в 1930 г. председателем советской болотной подкомиссии Международного общества почвоведов. В 1930 г. он издал работы «Торфяные болота: их устройство и развитие», «О межледниковых флорах СССР», «О межледниковых флорах», «Uebersicht der Moorunter suchen inder USSR». В 1931 г. - «Новые данные по флоре межледниковых и подледниковых отложений в СССР», «Новые данные по межледниковой флоре в СССР», «О торфяниках Закавказья», «Материалы к стратиграфии ленинградских торфяников».

В 1935 г. был издан учебник для торфяных втузов В.С. Доктуровского «Торфяные болота. Происхождение, природа и особенности болот СССР». В 1936 г. в журнале «Почвоведение» были опубликованы материалы по изучению торфяников Закавказья. Материалы В.С. Доктуровского по истории торфяников Европейской развития части СССР были использованы в дальнейшем В учебном пособии С.Н. Тюремнова «Торфяные месторождения».

В 1935 г. кафедру болотоведения МТИ возглавил соратник и продолжатель школы Доктуровского Дмитрий Александрович Герасимов, геоботаник, палинолог, болотовед (1894–1942). Состав геоботанического кабинета Инсторфа полностью вошел в состав кафедры болотоведения МТИ. С 1935 г. кафедра болотоведения была переименована в кафедру торфяных месторождений.

Герасимов выполнил первые исследования по торфяным болотам Центрального региона. По результатам экспедиций на Урал, в Марийскую область, среднюю полосу России и другие регионы он показал различия двух основных типов торфяных месторождений на территории СССР - верховых и низинных, установил приближенную границу распространения верховых торфяников в европейской части страны. Герасимов ввел понятия: торфогенный слой, видовой анализ торфа. Разработал принципы первой генетической классификации торфа для Урала. В 1930-х гг. Герасимов организовал работы по определению прироста, распада и химического состава живой и отмершей биомассы в различных экологических условиях, роли микроорганизмов в распаде тканей отмерших растений. Наиболее значительные публикации: «Жизнь болот и образование торфа» (1926), «Торф, его происхождение, залегание и распространение» (1932).

Первое торфяно-болотное районирование в Европейской части СССР было проведено *В.С. Доктуровским* и *Д.А. Герасимовым* в 1932 г.

Ученик академика В.Н. Сукачева, профессора В.В. Алехина, болотоведов В.С. Доктуровского, Д.А. Герасимова, Сергей Николаевич Тюремнов возглавлял кафедру «Торфяные месторождения и их разведка» в 1937–1961 гг. Разработал основы геологии и разведки торфяных месторождений, ряд вопросов по классификации торфяных залежей, геоморфологической классификации торфяников, районирования.

Создал учебники «Торфяные месторождения» (1940), «Торфяные месторождения и их разведка» (1949). Под руководством С.Н. Тюремнова защитили диссертации многие преподаватели и сотрудники кафедры торфяных месторождений – А.В. Пичугин, И.Ф. Ларгин, С.Ф. Ефимова, А.С. Оленин, А.Н. Свентиховская, Н.А. Копенкина и др.

В целях уточнения определения видового ботанического состава торфов сотрудники кафедры более детально исследовали анатомию растений-торфообразователей. В результате был издан атлас растительных остатков, встречаемых в торфе (Е.С. Истомина, М.М. Коренева, С.Н. Тюремнов, 1938).

руководством профессора С.Н. Тюремнова сотрудники кафедры торфяных месторождений детально разработали классификацию видов торфа, используя большой накопленный материал полевых исследований, Инсторфа. Классификация работы торфов была обсуждена и принята Всесоюзным совещанием по классификации торфов и степени разложения в 1941 г., в 1949 г. переработанная сотрудниками кафедры классификация была рекомендована техническим советом Главторффонда при Совете Министров РСФСР для практического использования всеми министерствами, ведомствами, организациями, производящими торфоразведочные работы на территории РСФСР.

Первый вариант классификации торфяных месторождений в зависимости от расположения их по рельефу опубликован С.Н. Тюремновым в 1940 г. Отдельные работы были направлены на комплексное изучение торфяника в целом: растительного покрова, торфяной залежи и геологического окружения. На протяжении ряда лет кафедрой проводились работы по совершенствованию методики разведки торфяных месторождений. В 1953 г. С.Н. Тюремнов, Е.А. Виноградова дали расширенную геоморфологическую классификацию торфяных месторождений для Европейской части Союза в связи с их промышленным использованием.

Был разработан метод опробования торфяных залежей (С.Н. Тюремнов, И.Ф. Ларгин, 1956). Изучались гидрологический режим торфяных болот, гидрохимия болотных вод (А.В. Пичугин, П.В. Матюшенко, А.И. Шатенев). Исследования торфяников Западной Сибири выявили новые типы залегания торфяников, обусловленные своеобразием форм рельефа и геологического строения этой территории (Е.А. Виноградова, 1957).

Районирование Европейской части Союза в крупном масштабе было выполнено *С.Н. Тюремновым* (1940–1949).

В Западной Сибири на основе экспериментальных работ Главторффонда установлено 9 торфяно-болотных областей в пределах лесной и лесостепной зон (С.Н. Тюремнов, 1957). Основными факторами районирования приняты климатические и геоморфологические условия расположения торфяников.

С.Н. Тюремновым был определен возраст болот БССР, средней полосы Европейской части Союза и западносибирских торфяников (1956–1957). Работы по пыльцевому анализу торфяников позволили С.Н. Тюремнову, М.М. Кореневой в 1953 г. прийти к заключению, что пыльца древесных пород в целом лучше сохраняется в сапропелях и верховых торфах.

В 1949 г. С.Н. Тюремнов на основании изучения большого стратиграфического материала предложил считать пограничный горизонт торфяников результатом изменения климатических условий в сторону сухости в суббореальное время, образование которого стратиграфически синхронно для всех торфяных месторождений средней полосы Европейской части Союза. Изучение торфов пограничного горизонта позволило решить ряд инженерных вопросов, в частности, выяснить причины оползневых процессов и деформаций карьеров торфяников.

Большие специальные исследования кафедра проводила по изучению морфологии процесса торфообразования. Эта проблема возникла в связи с изучением проходимости болот. Проходимость болот изучалась А.В. Пичугиным

(1949) методом исследования микростратиграфии верхнего слоя субстрата под различными группировками растительности. В дальнейшем данные микроструктуры торфа были использованы для понимания процессов торфообразования и торфонакопления, для технологии торфяного производства. В результате проведенных работ была разработана классификация типов поверхторфяных месторождений ности (С.Н. Тюремнов, А.А. Ниценко), положенная Министерством электростанций в основу нормативов проектирования болотно-подготовительных работ.

В 1959 г. вышло новое расширенное и переработанное издание атласа растительных остатков, встречающихся в торфе (А.В. Домбровская, М.М. Коренева, С. Н. Тюремнов).

В 1956 г. кафедрой торфяных месторождений было положено начало новому направлению по изучению редких и рассеянных элементов в торфе (С.Н. Тюремнов, А.Н. Свентиховская, И.Г. Калягин, с 1962 г. – И.Ф. Ларгин, С.Е. Приемская, И.В. Мокроусова, Г.А. Тихомирова).

За период 1956–1964 гг. были исследованы торфяные месторождения, расположенные в различных геологических, геоморфологических, географических и почвенных зонах: на Кольском полуострове, в Карелии, Прибалтике, в средней полосе, на Кавказе, Черноморском побережье, в районе Поти-Кобулети, Томской области (Васюганье), Забайкалье – в Тарбагатайской депрессии, на Камчатке (западное и восточное побережья). В результате была разработана методика исследования на содержание в торфе редких и рассеянных элементов.

Последователем научной школы стал профессор Иван Федотович Ларгин (1921–2002), который с 1960 г. заведовал кафедрой торфяных месторождений в Калинине.

### Физика торфа

Основатель научной школы – профессор *Михаил Петрович Воларович* (1900–1987). С 1933-го по 1964 гг. он заведовал кафедрой физики в Москов-

ском торфяном институте (затем в Калининском политехническом институте), занимаясь реологическими исследованиями по торфу и основав одно из направлений науки о торфе – физику торфа. Одновременно руководил лабораторией высоких давлений Института физики Земли имени О.Ю. Шмидта.

Со своими сотрудниками М.П. Воларович выполнил серию работ в области реологии разнообразных коллоидных и грубодисперсных систем с различной концентрацией дисперсной фазы: глин, красок, торфов, сапропелей, нефтепродуктов, клеев, пищевых продуктов и др. Разработал ряд методов и создал более 20 конструкций ротационных вискозиметров. Под руководством М.П. Воларовича разработано несколько стандартов испытаний смазочных материалов и свойств битумов при высоких температурах.

За открытие пьезоэлектрического эффекта горных пород, его теоретическое, экспериментальное исследование и внедрение в практику геологогеофизической разведки *М.П. Воларович* и его сотрудники были удостоены в 1973 г. Государственной премии СССР.

М.П. Воларович подготовил 24 доктора и 105 кандидатов наук. Среди его учеников известные в России и за рубежом ученые: И.И. Беркович, Н.И. Гамаюнов, Н.Б. Демкин, И.И. Лиштван, Н.И. Малинин, С.Г. Солопов, Н.В. Чураев и лр.

Систематическое развитие физики торфа как новой области знаний было связано с изучением дисперсности торфа. Первые работы по определению степени дисперсности были выполнены *Е.П. Семенским, Х.И. Ривкиной, М.П. Воларовичем, Т.М. Кузминской*.

В дальнейшем работы по дисперсности торфа развил *Н.В. Чураев*. Основываясь на принципе седиментометра *Н.А. Фигуровского*, он предложил специальную конструкцию седиментометра для торфяных суспензий, развил его теорию и разработал методику проведения седиментометрического анализа.

Одним из первых в нашей стране Воларович начал применять для дис-

персионного анализа и изучения строения частиц дисперсной фазы, структуры, водных свойств торфов, фильтрации и других процессов теплои массопереноса в торфяных системах электронную микроскопию, рентгеноструктурный анализ, радиоизотопы (радиометоды и ядерные излучения).

В 1956 г. при кафедре физики была организована радиохимическая лаборатория, реорганизованная в Калинине в 1960 г. Приступили к изучению водопроницаемости торфяных залежей, капиллярного поднятия, движения грунтового потока и ряда других явлений, связанных с интенсивным осушением залежей и технологией торфа, при помощи радиоактивных изотопов (М.П. Воларович, Н.В. Чураев, Н.И. Гамаюнов, Л.С. Амарян и др.). Путем применения радиоактивных индикаторов выяснили механизм внутреннего тепломассопереноса в процессе сушки кускового и слоев фрезерного торфа при контакте их с залежью. На основе этих исследований даны конкретные рекомендации по интенсификации сушки

С 1956 г. в радиохимической лаборатории проводились работы по созданию комплекса приборов для определения влажности, плотности, зольности торфа. Исследования, предпринятые М.П. Воларовичем, Н.В. Чураевым, Б.Я. Минковым, Л.Г. Родэ, Ю.В. Баевым, показали, что метод ядерных измерений можно использовать для определения плотности и влажности фрезерного торфа. Результаты представлены в книге М.П. Воларовича, Н.В. Чураева «Исследование торфа при помощи радиоактивных изотопов» (1960), в сборнике «Новые физические методы исследования торфа» (1960).

Продолжателем научной школы в Калинине стали профессора *Н.И. Гамаюнов, Н.В. Чураев, Л.С. Амарян*.

# Химия и химическая технология торфа

Основатель научной школы – профессор *В.Е. Раковский* (1900–1988).

Использование торфа как химического сырья поставило вопрос о введении курса по химии торфа, в котором излагались необходимые сведения по химическому составу торфа, способах его переработки. Впервые в институте этот курс ввел Владимир Евгеньевич Раковский, под руководством которого была создана кафедра химической технологии торфа. Он руководил кафедрой с 1948-го по 1959 гг.

Раковский дал химико-технологическую оценку торфа как сырья для химической переработки. Разработал теорию спекания и коксообразования твердых топлив. Создал новые технологические процессы по производству торфяного полукокса, переработки торфяного дегтя и получения торфяных фенолов, по производству прочного кокса при совместной переработке торфа и нефти, а также по созданию углеродных адсорбентов на основе торфа и продуктов его переработки.

Под его руководством разработана принципиальная схема использования торфа и летучих продуктов термической деструкции для прямого восстановления железных руд. Отдельные разработки по термической переработке торфа были реализованы при строительстве газогенераторных станций и в установках по переработке дегтя.

Широкие исследования по химии полисахаридов торфа позволили создать ряд технологических процессов получения белково-углеводных кормов из торфа.

Многолетнее изучение теоретических вопросов генезиса горючих ископаемых, химического состава торфов и растений-торфообразователей, выяснение влияния времени, физических и химических факторов привели к созданию общей теории происхождения гумусовых топлив и описанию механизма процессов углефикации растительного материала.

*Раковский* подготовил более 40 кандидатов и одного доктора наук.

В 1959 г. под руководством В.Е. Раковского была организована лаборатория комплексной переработки торфа, что значительно расширило исследо-

вания. В 1970-е гг. научное руководство лабораторией осуществлял профессор И.И. Лиштван.

### Технология торфяного производства

Основатели научной школы – профессор *В.Г. Горячкин* (1894–1962), *В.С. Варенцов* (1900–1972), *М.А. Веллер* (1875–1966), *Е.П. Семенский* (1895–1964).

В 1930–1959 гг. кафедрой технологии торфяного производства заведовал выдающийся ученый в области торфяного дела Виктор Георгиевич Горячкин.

В.Г. Горячкин сформировал научное направление, которое охватывает различные аспекты добычи, сушки, хранения торфа - основы технологии торфяного производства. Он является автором ряда учебников и учебных пособий по технологии добычи и сушки торфа: «Эксплуатация торфяных залежей на топливо» (1932), «Технология производства торфяного топлива» (1939), «Технология добычи и сушки торфа» (1948), «Основы технологии торфяного производства» (1953), «Общий курс технологии торфодобывания» (1959).

С момента организации кафедры под руководством В.Г. Горячкина проводилась работа по созданию и теоретическому обоснованию технологии торфяного производства. На торфяном месторождении Пальцо Брянской области были проведены исследования по фрезерному способу производства торфяного топлива. Выявлены основные показатели производства на дренированных полях, разработаны технология и организация, предложены методы учета показателей и количества готовой продукции.

В сезоне 1930 г. на основании этих материалов выпускниками кафедры велись работы по внедрению нового способа на торфопредприятиях. Результаты работы были опубликованы в книгах В.С. Варенцова «Проектирование торфяных хозяйств по фрезерному

способу добычи» (1933) и «Сушка и уборка фрезерного торфа» (1935).

Владимир Семенович Варенцов (1900–1972) – один из создателей промышленного фрезерного способа добычи торфа. В 1948 г. он был удостоен, совместно с другими разработчиками, Государственной (Сталинской) премии II степени.

Многочисленные научные и экспериментальные работы по сушке и уборке кускового торфа, выполненные работниками кафедры, позволили научно обосновать эти этапы производства, создать рациональные схемы и приемы работ, способствующие снижению себестоимости, интенсификации производственных процессов, повышению качества готовой продукции (В.Я. Антонов, В.Г. Булычев, Д.А. Бегак, В.С. Варенцов, В.Г. Горячкин, С.А. Сидякин, М.Р. Степанов, Е.П. Семенский, Н.М. Топольницкий).

К числу таких работ относятся: изучение влияния на режим сушки метеорологических, почвенных и технологических факторов; разработка новых форм и размеров кусков и новых фигур сушки; исследование процессов теплои массообмена между торфом и поверхностью полей разлива, влияние осушения полей на интенсификацию процессов сушки, создание классификации полей, схем осушения и технологических схем и приемов работ по разливу и сушке гидроторфа.

Михаил Абрамович Веллер (1875—1966) заведовал кафедрой технологии гидроторфа (карьерные разработки) в 1945—1962 гг. Автор учебников «Гидроторф (организация торфяных предприятий и их эксплуатация)» для торфяных техникумов (1932, 1935, 1936), «Производство торфяного топлива» для вузов (1940, соавторы), «Технология гидроторфа» (1948, 1956, соавторы). Один из авторов «Справочника по торфу» (1944).

Так как основное количество топливного торфа в 1930-е гг. добывалось в виде кусковой продукции (97,7%), внимание было обращено на разработку основ технологии гидроторфа. Были разработаны методы расчета содержа-

ния сухого вещества в торфяной пульпе, движения пульпы в трубках, глубины разлива, производительности точек разлива (В.Я. Антонов, М А. Веллер, В.П. Власов и др.), технологические схемы сушки и уборки гидроторфа и методы расчета длительности сушки кускового торфа (В.Я Антонов, В.С. Варенцов, В.Г. Горячкин, С.А. Сидякин и др.).

В 1938–1940 гг. велись работы по хранению фрезерного торфа в штабелях (В.С. Варенцов). Была установлена степень эффективности ряда мероприятий: устройства продольных траншей, различных вариантов поверхностей изоляции, внесения искусственного холода (сухой лед и жидкая углекислота), снятия верхнего слоя до зоны максимальной температуры. Результаты работ были использованы при составлении производственных инструкций.

В 1938-1940 гг. были проведены теоретические исследования по установлению всех технологических показателей производства фрезерного торфа на залежах различных характеристик. Материалы исследований и методики расчетов были положены в основу промышленных нормативов. Значительные работы были проведены по технологии сушки торфа в Заполярье (Мурманская обл.), по выработке показателей по фрезерному торфу для Западной Сибири.

Большие работы проводились работниками кафедры (В.Я. Антонов, И.Д. Беловидов, М.А. Веллер, В.П. Власов, В.Г. Горячкин, Е.П. Семенский и др.) по созданию основ новых схем производства. К ним относились гидроскреперный, поверхностно-послойный, карьерно-послойный (фрезформовочный) способы производства кускового торфа. Новое издание учебного пособия по курсу технологии новых схем производства кускового торфа было подготовлено в 1956 г. коллективом авторов (В.И. Абхази, В.Я. Антонов, М.А. Веллер, А.М. Кирюдчев, И.Л. Рапиовец, М.А. Сипкин).

В 1959–1964 гг. кафедрой руководил Евгений Петрович Семенский

(1895–1964). В Московском торфяном институте кафедра располагала лабораторией основ технологии торфяного производства (И.Д. Беловидов, Е.П. Семенский), в которой выполнялись как научные исследования, так и лабораторные работы студентов. В ней были разработаны стандартные методы определения технических свойств готовой продукции и соответствующая аппаратура для выполнения анализов. Достижения в области технического анализа торфа были обобщены Е.П. Семенским в учебных пособиях «Технический анализ торфа» (1949, 1958, 1966).

### Торфяная механика

Основатели научной школы – профессора *И.Г. Блох* (1888–1958), *С.Г. Солопов* (1901–1975).

Исидор Григорьевич Блох создал новую дисциплину «Торфяные машины». С 1931 г. он стал заведующим кафедрой торфяной механики. Блох организовал лабораторию торфяных машин, спроектировал более 10 установок. Подготовил более 10 кандидатов наук, создал научную школу в области механизации торфяного производства. Блох - один из авторов ряда машин для подготовки и разработки торфяных месторождений, внедренных в промышленность (элеваторная машина, гидроэлеваторная установка (1928-1929), полировочная машина системы Инсторфа (1930-1931), машина для экскавации пнистой залежи (1950-1952)). Автор учебников «Торфяные машины, их теория и расчет» (1939), «Руководство к работам в лаборатории торфяных машин» (1947, соавторы - М.В. Мурашов, Л.Л. Горинштейн).

Сергей Георгиевич Солопов возглавлял кафедру торфяной механики МТИ с 1953 г. Докторская диссертация Солопова на тему «Основания комплексной механизации добычи торфа на топливо экскаваторным способом с понижением эксплуатационной влажности», которую он защитил в Институте горного дела АН СССР (1954), стала крупным вкладом в развитие технологических процессов получения качественного мелкокуско-

вого топлива, послужила источником многих последующих научно-исследовательских работ, воплощенных в кандидатских и докторских диссертациях.

Работа по решению комплексной проблемы добычи кускового торфа с понижением эксплуатационной влажности была начата Солоповым в 1948 г. В 1949–1950 гг. им были проведены первые лабораторные испытания с проверкой безмундштучного метода формования торфа пониженной влажности в полевых условиях.

В 1951–1952 гг. Солопов занимался изучением теоретических вопросов, связанных с решением проблем структурообразования торфа, его пористости, дисперсности, влияния удельной поверхности на физико-механические свойства торфа при формовании и др.

Все экспериментальные исследования он проводил в лабораториях кафедр торфяной механики, физики, технологии добычи и сушки торфа Московского торфяного института. 1951-1952 гг. под руководством Солопова были созданы первые модели спирально-конусного пресса для переработки торфа пониженной влажности; машины глубокого дренирования с цепным баром, позволяющим закладывать дрены в залежах любой глубины и пнистости, для интенсивного осушения торфяной залежи; прессстилочной машины для формования и выстилки торфа пониженной влажности. Машины были испытаны на ряде торфопредприятий (Мезиновском, Южно-Алферовском, Оршинском).

Солоповым была предложена классификация фракций торфяных дисперсных систем по физическим состояниям в зависимости от связи размеров частиц с влагоемкостью торфа и его прочностью; указана связь этих систем с производственными процессами добычи торфа; отмечено значение удельной поверхности твердой фазы как показателя торфяной дисперсной системы, технологического эффекта торфоперерабатывающих машин и качества кускового торфяного топлива; предложен метод определения величины удельной поверхности торфяных дисперсных систем и др.

Солопов С.Г. подготовил к защите около 50 кандидатов технических наук в области технологии и техники торфяной отрасли (П.Ф. Анисимов, В.С. Волков, Л.Ф. Коровицын, А.Н. Лукьянчиков, Б.П. Нажесткин, А.М. Панин, А.Ф. Ремизов, В.К. Фомин, В.И. Цветков и др.), являлся консультантом 9 докторов технических наук (И.Ф. Ларгин, М.М. Танклевский и др.).

Продолжателем научной школы торфяной механики был профессор Михаил Васильевич Мурашов (1906–1980). В период развития торфяного института в Калинине он создал научную школу в области теории и расчета торфяных машин.

# Механическая переработка торфа

Основатели научной школы – *Н.А. Наседкин, В.Г. Булычев, В.М. Наумович.* 

Профессор Николай Алексеевич Наседкин (1910-1943) был первым заведующим кафедрой «Механическая переработка торфа», возглавлял лабораторию изучению физико-механических свойств дисперсных систем. Наседкин заложил фундамент всестороннего теоретического изучения торфа и процессов, протекающих при его переработке (механика торфяного массива, теория прессования дисперсных материалов, искусственное обезвоживание, брикетирование, сушка торфа, моделирование физических процессов), внедрил в торфяную область основные принципы термодинамики.

Наседкин впервые ввел количественные методы исследования в торфяной области, тем самым заложил огромную программу действий, необходимых для правильного проектирования, планирования, эксплуатации торфяных месторождений. Весь материал по физическим свойствам торфа был обобщен в главе «Техническая физика торфа» в справочнике по торфу (1944). Профессор Н.А. Наседкин положил начало широкому изучению торфа и

торфяной залежи с позиций механики дисперсных систем. Его работы были продолжены С.С. Корчуновым, Л.С. Амаряном, результаты исследований нашли практическое применение.

Профессор Василий Георгиевич Булычев (1908–1972) возглавлял кафедру механической переработки торфа до 1961 г. Обширные исследования были проведены на кафедре по искусственному обезвоживанию торфа. Под научным руководством профессора В.Г. Булычева созданы теоретические предпосылки и разработаны режимные параметры этого процесса. Булычев занимался физикой грунтов применительно к торфу. В его исследованиях изучены и обобщены вопросы несущей способности, деформации, уплотнения, изменения водных свойств

торфяных залежей. Под его руководством был создан ряд приборов для определения физико-механических свойств грунта и торфа.

Василий Митрофанович Наумович (1916–1992) сыграл огромную роль в развитии научных основ технологии брикетирования торфа. Он стал продолжателем этой научной школы в Калининском торфяном институте, возглавив кафедру машин и процессов переработки торфа.

Таким образом, в период существования Московского торфяного института были основаны научные школы в области торфяного дела, оказавшие влияние на все торфяное производство и определяющие дальнейшие направления научных исследований во всех отраслях науки о торфе.