

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет»

На правах рукописи

Утенкова Татьяна Геннадьевна



ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ
ОБОРУДОВАНИЯ ПО ОБЕЗВОЖИВАНИЮ САПРОПЕЛЯ ПРИ ЕГО
ДОБЫЧЕ

2.8.8. Геотехнология, горные машины

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Иванов С.Л.

Санкт-Петербург – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1 ОСОБЕННОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ САПРОПЕЛЯ И ГОРНЫЕ МАШИНЫ ДЛЯ ЕГО ДОБЫЧИ И ОБЕЗВОЖИВАНИЯ.....	11
1.1 Инженерно-геологические особенности сапропелевых отложений	11
1.1.1 Образование сапропелей	11
1.1.2 Состав и свойства сапропелей	15
1.2 Месторождения сапропеля.....	21
1.3 Разработка сапропелевых месторождений.....	24
1.4 Гидротранспорт сапропелей	34
1.5 Обзор современных отечественных и зарубежных технологий обезвоживания сапропелей	35
1.5.1 Обезвоживание в центрифугах	36
1.5.2 Обезвоживание в инерциоиде.....	37
1.5.3 Обезвоживание в геотекстильных контейнерах	37
1.5.4 Виброобезвоживание	38
1.5.5 Обезвоживание с помощью гигроскопического эффекта пористого материала	38
1.6 Использование сапропелей	40
1.7 Выводы по Главе 1	41
ГЛАВА 2 ОБОСНОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО МЕТОДА МЕХАНИЧЕСКОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ САПРОПЕЛЯ.....	43
2.1 Механизмы поглощения влаги пористыми материалами.....	43
2.1.1 Теория Ленгмюра	46
2.1.2 Теория БЭТ	47
2.1.3 Теория капиллярной конденсации	48
2.1.4 Теория объемного заполнения пор Дубинина	50
2.2 Оценка свойств микрофибры и ее применимости в методах механического обезвоживания	52

2.3	Опыт использования микрофибры как материала для поглощения влаги из дисперсных обводненных материалов	53
2.4	Механизмы движения влаги в органических дисперсных материалах.....	55
2.5	Выводы по Главе 2	56
ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ САПРОПЕЛЯ.....		57
3.1	Организация экспериментальных исследований.....	57
3.2	Оценка массовой доли влаги в исследуемых образцах сапропеля.....	63
3.3	Оценка гранулометрического состава исследуемых образцов сапропеля.....	67
3.4	Качественный и количественный анализ сапропелевого сырья.....	70
3.4.1	Силикатный анализ	70
3.4.2	Диатомовый анализ.....	72
3.4.3	Микробиологические исследования сапропелевого сырья	74
3.5	Анализ образцов микрофибры, использованных в экспериментальных исследованиях.....	75
3.6	Обобщенные результаты экспериментальных исследований.....	79
3.7	Выводы по Главе 3	81
ГЛАВА 4 ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ САПРОПЕЛЯ.....		83
4.1	Методика расчёта и выбора основных параметров оборудования механического обезвоживания сапропеля.....	84
4.2	Параметры ленточного конвейера оборудования по механическому обезвоживанию сапропеля	86
4.2.1	Обоснование ширины ленты и параметров приводного, натяжного барабанов и обезвоживающих барабанов.....	86
4.2.2	Расчет производительности оборудования механического обезвоживания сапропеля	87

4.2.3	Расчет тягового усилия на приводном барабане и мощности привода	88
4.3	Результат расчета ленточного конвейера	89
4.4	Рекомендации по совершенствованию оборудования механического обезвоживания сапропеля.....	91
4.5	Выводы по Главе 4	93
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		94
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ		96
ПРИЛОЖЕНИЕ А Технические характеристики лазерного анализатора модели SALD-2300 SHIMADZU (Япония)		109
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Технические характеристики термогравиметрического анализатора LECO TGA-701		111
ПРИЛОЖЕНИЕ В Акт о внедрении результатов исследования		112
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Патент на изобретение		114

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы

Сапропель представляет собой ценный природный ресурс органогенного происхождения. Общие запасы сапропелей в Российской Федерации оцениваются в 200 млрд м³. Сапропель, представляя собой отложения водоемов суши, состоящие, в основном, из органических веществ и остатков водных микроорганизмов, а также минеральных веществ, широко применяется в различных областях производства продукции для сельского хозяйства, медицины, фармацевтической промышленности. Однако добыча и переработка сапропеля осложнены его высокой гидрофильностью и влагоемкостью и, соответственно, технологическими трудностями их обезвоживания и доведения до кондиционной влажности.

Большинство известных технологий обезвоживания экскавированного сапропеля основаны на механизмах отстаивания и фильтрации, которые малоэффективны, а сушка на полях занимает длительное время, требует значительных площадей, имеет жесткую зависимость от метеорологических условий. Кроме того сушка обусловлена затратами на перекачку и требует специальные средства механизации для сбора сапропеля.

Современные системы внутрикарьерной переработки и конвейерного транспортирования (ПСС) добываемого нерудного сырья позволяют повысить эффективность процессов механического обезвоживания, сократить транспортные расходы. Поэтому задача разработки технологий внутрикарьерного обезвоживания добываемого сапропеля с применением специализированного оборудования для его обезвоживания является актуальной.

Степень проработанности исследуемого направления.

Изучением процессов обезвоживания органогенных материалов занимались ученые Аджиев В.Е., Афанасьев А.Е., Бабенко С.А., Богатов Б.М., Березовский Н.И., Бокуцова К.П., Дементьев В.А., Игнатенков В.Г., Курзо Б.В., Михайлов А.В., Николаева Л.А., Рыжих А.Б.,

Семенова З.В., Тарасов Ю.Д., Хименков И.А., Шестопапов И.С., Штин С.М., Клоескнер Н.Д.

Ими были рассмотрены вопросы механического обезвоживания органоматериалов, в том числе и сапропеля, предложены элементы технологий и средства механизации. Несмотря на значительный объем теоретических и экспериментальных исследований по указанной тематике, отсутствуют способы и технические решения, обеспечивающие непосредственное механическое обезвоживание сапропеля в условиях карьера, исключающие значительную долю транспортных расходов. Таким образом, для разработки оборудования по механическому обезвоживанию сапропеля в условиях карьера и обоснования диапазонов его функционирования необходимо проведение дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

Объектом исследования является процесс механического обезвоживания сапропеля.

Предмет исследования – исполнительный орган оборудования по механическому обезвоживанию сапропеля.

Целью исследования является обоснование параметров и режимов работы оборудования в технологическом процессе механического обезвоживания сапропеля, добываемого методом гидромеханизации, для создания нового научно-обоснованного технического решения внутрикарьерного модуля механического обезвоживания сапропеля.

Идея работы заключается в использовании пористого влагопоглощающего материала в качестве покрытия обезвоживающих барабанов, который позволяет создать перепад давлений, достаточный для стадийного удаления влаги из сапропеля и доведения его до кондиционной влажности.

Для реализации поставленной цели в диссертации были решены следующие задачи:

1. Провести анализ и обобщение результатов теоретических и экспериментальных исследований по теме диссертационной работы и обосновать эксплуатационные требования, предъявляемые к разрабатываемому оборудованию механического обезвоживания сапропеля в условиях карьера.

2. Обосновать метод механического обезвоживания сапропелевой пульпы, основанный на механизме капиллярного поднятия влаги в слое пористого материала при его ротационном контакте со слоем сапропеля.

3. Провести экспериментальные исследования в лабораторных условиях по выявлению зависимости остаточного влагосодержания сапропеля от времени его контакта с пористым влагопоглощающим материалом.

4. Обосновать структуру модуля механического обезвоживания сапропеля, режимы функционирования и выполнить синтез его рабочего органа.

5. Разработать практические рекомендации по использованию предложенного метода и оборудования механического обезвоживания сапропеля в условиях карьера.

Научная новизна работы:

1. Обоснована структура внутрикарьерного модуля механического обезвоживания сапропеля непрерывного действия, включающая загрузочно-распределительное устройство, ленточный конвейер и ряд последовательно установленных обезвоживающих барабанов, совместно обеспечивающих непрерывность процесса поэтапного снижения влагосодержания сапропеля.

2. Установлена зависимость изменения влагосодержания сапропеля в тонком слое от времени его контакта с поверхностью обезвоживающих барабанов, позволяющая выбрать рациональные режимы работы оборудования.

Теоретическая и практическая значимость:

1. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования служат основой для создания оборудования по механическому обезвоживанию сапропеля.

2. Обосновано применение микрофибры в качестве покрытия обезвоживающих барабанов оборудования механического обезвоживания сапропеля.

3. Разработана принципиальная схема и комплекс критериев для оборудования по обезвоживанию сапропеля заданной влажности в условиях карьера.

4. Техническое решение оборудования механического обезвоживания защищено патентом Российской Федерации.

5. Разработаны практические рекомендации по использованию внутрикарьерного оборудования механического обезвоживания сапропеля.

Получен акт о внедрении результатов диссертации в ООО «Эковит», утвержденный генеральным директором Большаковым В.Ю. 05.08.2022 г.

Методология и методы исследований.

При решении поставленных задач используется комплексный подход, включающий научный анализ, обобщение и обработку результатов ранее опубликованных теоретических и экспериментальных исследований в области обезвоживания сапропелей и других органогенных материалов, проведение экспериментальных исследований по выявлению зависимостей изменения влагосодержания сапропеля от времени его контакта с обезвоживающими барабанами, покрытыми слоем пористого влагопоглощающего материала, для обоснования выбора способа обезвоживания, структуры модуля механического обезвоживания сапропеля и режимов его функционирования.

Содержание диссертации **соответствует** паспорту научной специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины по п. 14 «Критерии и технологические требования при создании новых и совершенствования

применяемых горных машин с учетом особенностей условий их эксплуатации при разработке месторождений твердых полезных ископаемых».

На защиту выносятся следующие **положения**:

1. Установленная в результате исследования зависимость коэффициента интенсивности обезвоживания сапропеля от времени контакта обезвоживающих барабанов, покрытых микрофиброй, со слоем сапропеля, *описываемая логарифмической функцией*, позволила определить оптимальные режимы процесса обезвоживания, при которых за время контакта до 2 с влагосодержание сапропеля снижается на 90% (с 19 до 1,9 кг/кг).

2. Установленная в результате исследования зависимость параметров процесса обезвоживания сапропеля от скорости движения ленты и количества обезвоживающих барабанов, покрытых микрофиброй, позволили определить оптимальные параметры конструкции установки для обезвоживания, при которых кондиционная влажность сапропеля 65% достигается при скорости движения ленты – 0,28 м/с и использовании 7 обезвоживающих барабанов.

Степень достоверности результатов работы. Достоверность научных положений, выводов и заключений подтверждается тем, что теория построена на известных, проверенных данных, фактах, согласуется с опубликованными экспериментальными данными, использованием современных методик сбора и обработки исходной информации, удовлетворительной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Апробация результатов. Основные положения, выводы и заключения работы докладывались на Всероссийской (национальной) научной конференции «Фундаментальные и прикладные исследования. Актуальные проблемы и достижения», Санкт-Петербург, 11 декабря 2020 г.; Научной конференции студентов и молодых ученых «Полезные ископаемые России и их освоение», Санкт-Петербург, 09-26 марта 2021 г.; XIX Всероссийском конкурсе студентов и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования», Санкт-Петербург, 12-16 апреля 2021 г.; VIII Международной научно-практической конференции «IPDME-2021», Санкт-Петербург, 13-15 апреля

2021 г.; 79-ой Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования», Магнитогорск, 19-23 апреля 2021 г.; Международном форуме-конкурсе молодых ученых, Санкт-Петербургский Горный Университет, 16-20 мая 2022 г.; Научной конференции студентов и молодых ученых «Полезные ископаемые России и их освоение», Санкт-Петербург, 21 апреля 2022 г.

Личный вклад автора состоит во включенном участии на всех этапах процесса, непосредственном участии в получении исходных данных и научных экспериментах, личном участии в апробации результатов исследования, разработке экспериментального стенда, выполненных лично обработке и интерпретации экспериментальных данных, подготовке публикаций по выполненной работе.

Публикации результатов диссертационной работы. Результаты диссертации в достаточной степени освещены в 4 печатных работах (пункты в списке литературы № 66, 83, 95, 97), в том числе в 3 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в 1 статье - в издании, входящем в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен патент (пункт в списке литературы № 65, Приложение Г).

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из оглавления, введения, четырех глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 108 наименований и 4 приложения. Диссертация изложена на 114 страницах машинописного текста, содержит 37 рисунков, 16 таблиц.

ГЛАВА 1 ОСОБЕННОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ САПРОПЕЛЯ И ГОРНЫЕ МАШИНЫ ДЛЯ ЕГО ДОБЫЧИ И ОБЕЗВОЖИВАНИЯ

1.1 Инженерно-геологические особенности сапропелевых отложений

1.1.1 Образование сапропелей

Сапропели – это донные отложения, которые образуются в результате осаждения на дно мертвых остатков микроорганизмов и растений, в состав сапропелей также входят неорганические компоненты биогенного происхождения. Согласно энциклопедическому определению, сапропель – это отложения водоемов суши, состоящие, в основном, из органических веществ и остатков водных микроорганизмов, а также минеральных веществ [14].

Состав сапропеля зависит от характерных особенностей озера, от климатических изменений. Известно, что средний прирост сапропеля в небольших озерах без заметного притока составляет 1.05 мм/год, в небольших с притоками – 3.56 мм/год, а в больших озерах с многочисленными притоками – 6.64 мм/год. Со временем озера зарастают и превращаются в болота [76].

Образование сапропеля происходит в воде при недостатке или полном отсутствии кислорода, поэтому они богаты водородом [5,47,76].

Выделяют несколько стадий зарастания водоемов:

- 1-я (юность) – неизменный первоначальный рельеф котловины, первичное расчленение озерной чаши (горизонтальное и вертикальное), гидробиоценоз еще не сложился.

- 2-я (зрелость) – в результате абразиционно-аккумулятивного процесса сформированы береговые склоны (подводные и прибрежные), сложен гидробиоценоз, углубления ложа водоема выровнены за счет образовавшегося озерного ила и речных наносов.

- 3-я (старость) – дно водоема полностью покрыто илистыми отложениями, на прибрежных склонах хорошо развиты заросли водной растительности.

•4-я (дряхлость) – центральная равнина водоема и подводный склон выровнены, в рельефе дна наблюдается только прибрежный склон, водная растительность распространена по всей акватории водоема.

•5-я (умирание) – озеро превращается в болото.

В зависимости от морфологических особенностей, минерального состава, температурного и газового режима, интенсивности фотосинтеза выделяют 8 типов озер, в которых формируется сапропель (таблица 1.1) [5,47,76].

Таблица 1.1 – Типологическая характеристика сапропелевых озер [76].

Тип	Морфологические особенности, минеральный состав, температурный режим озера	Газовый режим, кислотность	Прозрачность	Интенсивность фотосинтеза по Винбергу, мг O₂/м² в сутки
Ультраолиготрофные	Эрозионно-тектоническое происхождение в кристаллических породах, глубина более 100 м, низкая концентрация биогенных элементов, холодные озера	Хорошая аэрация по всей глубине, рН 7,8	10-20 м	0,5 – 1,0
Олиготрофные	Тектоническое, ледниково-эрозионное или карстовое происхождение в кристаллических и осадочных породах, глубина 30 – 70 м, низкая концентрация биогенных элементов, холодные озера	Хорошая аэрация по всей глубине, рН 7,8	5-13 м	1,0 – 7,5

Продолжение таблицы 1.1

Тип	Морфологические особенности, минеральный состав, температурный режим озера	Газовый режим, кислотность	Прозрачность	Интенсивность фотосинтеза по Винбергу, мг O ₂ /м ² в сутки
Мезотрофные	Ледниково-аккумулятивное и эрозионное происхождение в осадочных породах, глубина 12-25 м, достаточная концентрация биогенных компонентов, умеренно теплые озера	Аэрируется только верхний слой, рН 7,5 – 8,0	3-8 м	2,5 – 7,5
Эвтрофные	Озера различного происхождения в осадочных (преимущественно в глинистых) породах, глубина – 5-12 м, значительное количество биогенных компонентов, хорошо прогреваются до дна.	Аэрируется только верхний слой, рН 7,5 – 8,0	1-5 м	2,5 – 7,5
Политрофные	Озера различного происхождения в осадочных породах, значительное количество биогенных компонентов, в летний период вода сильно прогревается до дна.	Недостаток кислорода, рН 6,0 – 7,0	0,4-3 м	7,5-10
Слабодистрофные	ледниково-эрозионное происхождение в кристаллических и осадочных породах, глубина – 10-30 м, постоянный подток кластического материала и гуминовых веществ, умеренно теплые озера	Кислорода достаточно, рН 6,0 – 7,0	2-5 м	0,5-1,0

Продолжение таблицы 1.1

Тип	Морфологические особенности, минеральный состав, температурный режим озера	Газовый режим, кислотность	Прозрачность	Интенсивность фотосинтеза по Винбергу, мг O ₂ /м ² в сутки
Дистрофные	Озера различного происхождения с заболоченными водосборами, глубина – 3-10 м, большое поступление органического материала и гуминовых веществ, в летний период вода сильно прогревается до дна.	Кислорода мало, рН 5,0 – 6,5	1,0-3 м	0,5-1,0
Сильнодистрофные	Очень мелкие озера (1-3 м) с обильным поступлением гуминовых веществ, значительная концентрация органического материала и гуминовых веществ, в летний период вода сильно прогревается до дна.	Кислорода мало, рН 5,0 – 6,5	0,5-2 м	0,5-1,0

Нужно отметить, что хозяйственная деятельность человека ускоряет процессы эвтрофикации (заиливания) озер.

Степень заиливания (заполнения озерной котловины) в первую очередь зависит от глубины озера. Степень заполнения озерной котловины можно определить по формуле 1.1 [76]:

$$C = \frac{m}{H+m}, \quad (1.1)$$

где m – мощность отложений (осадков), м;

H – глубина озера, м.

Значения C могут изменяться от 0 (для возникших озер) до 1 (озеро, превратившееся в торфяник).

1.1.2 Состав и свойства сапропелей

Исходя из существующей нормативной документации (ГОСТ Р 54000-2010) Российской Федерации, сапропели в зависимости от свойств и состава классифицируют на органические, органоглинистые, органокремнеземистые, органоизвестковые и известковые. В зависимости от содержания тяжелых металлов выделяют сапропели первого и второго классов пригодности.

Классификация сапропелей в зависимости от вещественного состава, в том числе от содержания органики, степени ее разложения, минеральной составляющей, содержания остатков микроорганизмов, была разработана Рубинштейном А. Я. (рисунок 1.1) [47,48,66].

Хотя классификация была предложена для оценки условий строительства, она может быть использована при анализе степени гидрофильности сапропеля. Гидрофильность сапропелей зависит, прежде всего, от содержания и состава органических соединений биогенного и абиогенного генезиса.

Вещественный состав сапропелей определяется условиями их формирования в водоемах с различной проточностью. Необходимо упомянуть, что чрезвычайно большое значение имеет характеристика грунтов, на которых расположен этот водоем, его глубина, особенности развития растительности, характер зарастания (сверху вниз, снизу вверх), степень анаэробности среды, в которой идет преобразование растительности. Большое влияние на формирование сапропелей имеет привнос твердой минеральной составляющей с водотоками, впадающими в озеро, эрозионными процессами в периоды снеготаяния и дождливые периоды.

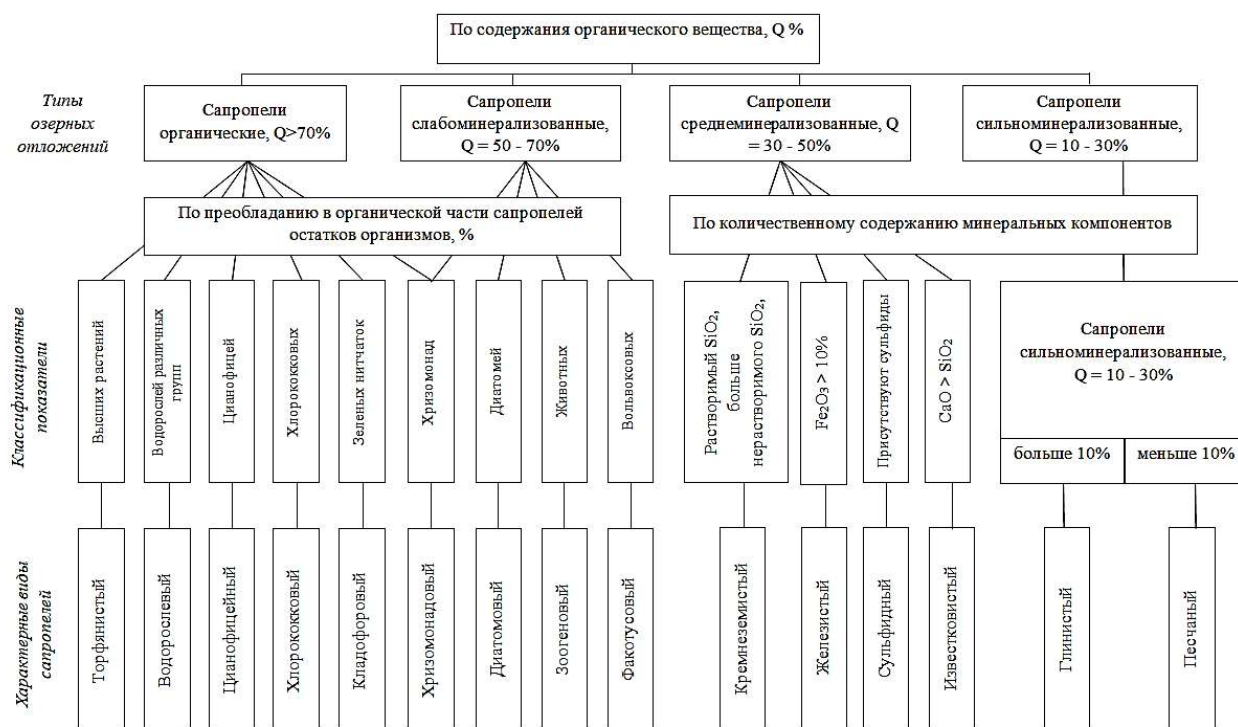


Рисунок 1.1 - Генетическая классификация сапропелей [47].

Следует отметить и антропогенные факторы, прежде всего контаминации [52,53]. Кроме того, нужно сказать, что скорость и активность разложения органического материала при формировании сапропеля зависит от деятельности микроорганизмов (бактерий, актиномицетов, микромицетов, микроводорослей).

Сапропель имеет вид желеобразной массы, его консистенция близка к сметанообразной. Отличительной чертой сапропелей является его коллоидная структура. Окраска сапропеля может быть разнообразной: темно-оливковая, коричневая, серая, почти черная, серо-желтая, голубоватая, розовая и даже красная. На цвет влияет состав донных отложений [3,5,35,76].

Содержание органического вещества в сапропелях может быть определено методом потери массы при прокаливании, а состав минеральной части определяется в солянокислых и щелочных вытяжках методом фотоколориметрии, групповой состав определяется по методике группового анализа торфа. Практически все минеральные компоненты органических

сапропелей входят в состав органических соединений, а в органоминеральных и минерализованных сапропелях они находятся в свободном состоянии [76].

По мере уменьшения органического вещества увеличивается содержание таких элементов, как алюминий, железо, фосфор, магний, сера и калий. Часто с уменьшением органического вещества резко увеличивается содержание кремнезема или кальция.

В зависимости от состава сапропеля подразделяются на кремнеземистые, известковые и смешанные. Элементарный состав органического вещества представлен в таблице 1.2, химический состав сапропелей в таблице 1.3 [76].

Таблица 1.2 - Элементарный состав органического вещества сапропелей [76].

Содержание органического вещества, %	С	О	Н	Н	С
≥ 90%	54,5-60,8	-	6,6-7,4	4,0-4,9	-
80-90	50,5-60,8	29,7-34,1	6,3-7,8	3,3-5,9	0,3-1,8
70-80	47,2-58,6	30,4-34,1	6,5-7,7	3,5-5,1	0,3-2,7
60-70	48,3-61,4	30,7-39,6	6,8-8,1	3,4-6,0	0,6-3,1
50-60	50,5-60,0	30,6-35,8	6,9-7,6	3,6-5,6	0,5-2,6
40-50	47,4-59,1	25,7-39,8	5,1-8,1	3,4-5,9	1,0-5,6
30-40	49,3-60,9	23,6-33,8	6,8-9,0	3,2-5,4	1,4-6,3
20-30	50,2-59,1	25,3-36,9	6,3-8,9	3,4-5,3	0,7-3,9
10-20	52,4-30,4	30,4-32,2	7,6-8,4	4,2-6,3	2,3-4,9
В целом	47,2-61,4	23,6-39,9	5,1-9,0	3,2-6,3	0,3-6,3

Таблица 1.3 - Химический состав сапропелей (% на сухое вещество) [76].

Содержание органического вещества, %	Общий SiO ₂	Растворимый SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅	СO ₂	N	pH
≥90	2,5	0,4	0,7	0,7	1,8	0,2	0,2	0,7	0,2	0,4	3,8	5,5
85-90	6,1	0,4	1,4	0,9	1,9	0,4	0,2	1,0	0,1	1,0	3,9	6,1
80-85	10,2	3,7	1,3	1,3	2,2	0,3	0,2	0,9	0,2	1,0	3,7	5,9
75-80	12,6	8,1	2,6	2,0	2,6	0,4	0,4	1,0	0,4	0,7	3,2	6,4
70-75	17,4	7,1	2,0	3,7	2,6	0,6	0,4	1,0	0,2	0,6	3,3	6,4

Продолжение таблицы 1.3

Содержание органического вещества, %	Общий SiO ₂	Растворимый SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅	C O ₂	N	pH
65-70	19,5	13,3	3,0	3,6	4,0	0,4	0,2	1,5	0,4	1,0	2,8	6,2
60-65	21,6	6,1	4,6	4,2	4,0	0,6	0,3	1,7	0,5	1,9	2,7	6,9
55-60	23,3	8,5	2,7	4,2	6,3	0,6	0,6	0,7	0,6	2,4	2,7	6,2
50-55	26,9	16,9	2,9	3,6	4,7	0,7	0,5	0,9	0,4	5,5	2,3	6,6
45-50	32,8	17,6	2,8	3,8	5,1	0,8	0,5	1,4	0,7	4,2	2,1	6,6
40-45	27,3	15,8	2,8	4,6	9,9	0,9	0,6	1,3	0,5	11,5	2,1	6,9
35-40	35,0	16,5	3,7	4,1	8,9	1,0	0,6	1,5	0,6	9,1	1,7	7,0
30-35	39,2	8,3	3,3	4,2	11,6	1,1	0,8	1,2	0,6	10,9	1,1	7,0
25-30	45,5	11,8	3,7	4,1	9,6	1,1	0,5	1,6	0,5	8,8	1,2	7,0
20-25	33,4	2,1	2,8	4,7	18,8	1,4	0,5	1,6	0,5	23,4	1,0	6,4
15-20	31,3	2,8	3,5	4,5	22,0	1,5	1,1	1,9	0,4	19,9	0,8	7,0
10-15	35,2	3,3	2,7	4,7	22,2	1,2	0,5	0,9	0,5	21,4	0,5	7,4
5-10	34,8	0,8	2,4	4,4	17,7	1,1	0,8	1,5	0,5	19,9	0,3	7,6
В целом	26,6	8,9	2,8	3,9	8,9	0,9	0,5	1,3	0,5	9,0	2,5	6,6

Естественное влагосодержание сапропелей колеблется в пределах от 100 до 3000 % и зависит от степени уплотнения и содержания органического вещества. Чем меньше уплотненность и чем больше содержание органического вещества, тем выше естественное влагосодержание. При одинаковом содержании органики с глубиной естественное влагосодержание снижается, так как нижние слои уплотняются за счет вышележащих слоев [57,76].

Высокие значения естественного влагосодержания поверхностных горизонтов отложений сапропеля дают представление об их высокой влагоемкости, которая является верхним пределом тиксотропного состояния и

характеризуется влажностью, соответствующей образованию рыхлой структуры при гидрофильной коагуляции суспензии [3,5,57,76].

Влагоемкость структуры сапропелевых отложений соответствует верхнему пределу содержания свободной влаги в порах структурного каркаса. Для органических сапропелей влагоемкость составляет 355-1000%. Скорость **водоотдачи** (свободной влаги) в процессе сушки для нормальных условий колеблется в пределах 160-180 мг/см² в час.

Величина максимальной молекулярной влагоемкости (55-85%) определяет верхний предел содержания физически связанной воды [76].

По величине **гигроскопической влажности** (3-9%), которая увеличивается по мере возрастания содержания органического вещества, определяется количество прочно связанной воды. Гигроскопическая влажность сапропеля – это отношение массы удаленной влаги высушиванием до постоянной массы, к массе высушенного сапропеля.

В сапропелях содержится внутриклеточная вода, которая составляет значительную долю от общей влажности отложений [3,5, 76].

В процессе сушки происходит **усадка** сапропеля. Величина усадки зависит от начальной и конечной влажности, содержания органического вещества и дисперсности. При уменьшении влажности и снижении содержания органического вещества усадка сапропелевых отложений уменьшается. Величина усадки составляет 64-97% начального объема, а **пористость** снижается примерно в 9 раз. Удельный объем твердой фазы уменьшается в 3-6 раз [76].

Общий объем пор снижается с уменьшением объема воды. Воздух частично заполняет поры скелета при влагосодержании 120%. Это свидетельствует о том, что скелет отложений сжимается и приобретает известную жесткость при влагосодержании менее 80-100% [42].

Сапропели относят к ненабухающим грунтам, так как при капиллярном смачивании водой сапропели естественной влажности не проявляют способности к набуханию. Но при заливании водой сапропели могут

увеличить свой объем. Это объясняется **водопоглощением** под действием осмотического всасывания влаги. Осмотическое набухание происходит за счет высокой влагоемкости органического вещества. Влагоемкость прямо пропорциональна содержанию органического вещества. При перемешивании осмотическое набухание также возрастает, так как при перемешивании происходит разрыхление структурной сетки и увеличение дисперсности сапропелей, влажность повышается, приближаясь к наибольшей влагоемкости осадка [42].

При естественной влажности **плотность** сапропелей мала. Объемный вес скелета часто не превышает 50-500 кг/м³ и возрастает по мере уменьшения содержания органического вещества. Исследования показали, что объемный вес связан с влажностью сапропеля и не зависит от его состава [76].

Соответственно невысокой плотности пористость сапропелевых отложений достаточно высока и может достигать 94-96 % у органических сапропелей и 72-93% - у минерализованных. Большое количество тонкодисперсных частиц органического вещества обуславливает высокую пористость сапропелей [5,76].

Пластичность сапропелей зависит от содержания органического вещества, которое определяет их влагоемкость и гидрофильность. При снижении содержания органического вещества с 90 до 10 % число пластичности уменьшается с 350-650 до 120-170, граница раскатывания снижается плавно - с 250-350 до 100-150, граница текучести снижается резко – с 620-850 до 200-250 [57,76].

Достаточно высокое значение числа пластичности не позволяет отнести сапропели к глинам согласно СНиПу, так как большое значение числа пластичности сапропеля обусловлено высоким содержанием органики, а не глинистой фракции [5,76].

В целом сапропелевые отложения относят к высоко пластичным породам. С глубиной влажность сапропелей, особенно минерализованных,

снижается, поэтому они могут находиться в пластичном и полутвердом состоянии [76].

Водопроницаемость зависит от содержания органического вещества и от плотности самого сапропеля. При увеличении содержания органического вещества и снижении объема пор значение коэффициентов фильтрации уменьшаются с 50-1200 до 0,02-0,06 мм/сутки [5,76].

При одинаковых значениях плотности органические сапропели в 10-20 раз менее проницаемы, чем минерализованные. Поэтому сапропели относят к слабопроницаемым породам [5,76].

Прочность сапропелей в первую очередь зависит от влажности. Сапропелевые отложения с высокой влажностью 300-1200% имеют невысокую прочность 5-50 кг/см². При высыхании до влажности 70-150% пластическая прочность возрастает до 20-300 кг/см² [5,76].

1.2 Месторождения сапропеля

Согласно данным С.М. Штина [76] на Европейской части Российской Федерации и на территории стран СНГ насчитывается более 2100 месторождений озерного сапропеля. Общий запас сапропелевого сырья естественной влажности составляет около 44 млрд. м³. Месторождения озерного сапропеля Сибири и Дальнего Востока изучены слабо, исключение составляют лишь отдельно взятые озера: Духовое, Очки, малые озера Обь-Иртышского междуречья, Кобяйского улуса, водоемы Ханты-Мансийского автономного округа [56,74,81,82,89,93]. Нужно отметить, что особое внимание уделяется вещественному составу сапропелей. Основные месторождения сапропеля показаны на рисунке 1.2.

По оценкам компании АО «Сапропелевые месторождения», которая создана с целью развития сапропеледобывающей отрасли, на всей территории Российской Федерации выявленные запасы сапропеля оставляют около 225 млрд. м³ естественной влажности, однако на сайте компании информация по каждому месторождению не приводится.



Рисунок 1.2 - Основные месторождения сфагнума России [105]

По оценкам компании АО «Сфагнумовые месторождения», которая создана с целью развития сфагнумодобывающей отрасли, на всей территории Российской Федерации выявленные запасы сфагнума оставляют около 225 млрд. м³ естественной влажности, однако на сайте компании информация по каждому месторождению не приводится.

В настоящий момент в России не более 15 зарегистрированных предприятий по добыче сфагнума, крупнейшие из которых приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Крупнейшие предприятия по добыче сапропеля в России

Предприятие по добыче сапропеля	Месторождение	Добыча и переработка сапропеля	Выпускаемая продукция	Мощность производства
ООО «Эковит»	Озеро Савельево, Переславский район, Ярославская область	Добыча с помощью земснаряда; Смешивание с высушенным	Органическое, почвообразующее удобрение	10 000-20 000 т/год
ООО "АГРОКОНТУР"	Озера Челябинской области	Промораживание в отстойниках	Органические удобрения, почвосмеси, грунты	2000 м ³ /год
ООО "ГеоСпецСтрой"	Озеро Кайволы-Куль, Тюменская область	Добыча с помощью земснаряда; Обезвоживание в геотубах, (89-94% до 60%)	Сыпучий сапропель, пастообразный сапропель, сапропель таблетированный, комбинированные органо-минеральные смеси	120 000 т/год
ООО "РУСЭКО ОРГАНИКС"	Озера Чувашской и Марийской республик	Добыча с помощью замснаряда; Обезвоживание в геотубах	Таблетированный сапропель, подкормка для птиц и животных, органоминеральное удобрение	-
ООО "Эковектор"	озеро Белое, Новосибирская область	Добыча с помощью земснаряда; Отстаивание; Гранулирование	Кормовые добавки	10 000 т/год

1.3 Разработка сапропелевых месторождений

Сапропель можно отнести к органопылеватым породам слабой степени литификации и уплотняемости. В среднем содержание глинистой фракции (0,005 мм) колеблется в пределах от 15 до 30 %, пылеватых частиц (0,005-0,25 мм) – от 55 до 80 %, тонкопесчаных фракций (0,05-0,25 мм) – 6-13%. Коэффициент агрегированности сапропелей варьируется от 1,2-2,6, (у органоминеральных и известковых сапропелей) до 13,7 (у глинистых сапропелей). Такой диапазон коэффициента агрегированности характерен для пород с пластифицированно-коагуляционными структурными и конденсационными связями. В естественном состоянии плотность сапропеля мала и не превышает 50-250 кг/м³, водопроницаемость – менее 0,01-0,001 м/сут. При компрессии плотность скелета сапропеля возрастает в 2,9-6,8 раз, поэтому сапропель можно отнести к сильно сжимаемым грунтам [3].

Технология добычи и переработки включает в себя ряд производственных процессов (рисунок 1.3). При разработке сапропелевых месторождений, как и при разработке других месторождений, необходимо учитывать физико-механические свойства полезного ископаемого, горно- и гидрогеологические условия залегания [25]. Месторождения сапропеля чаще всего имеют пологое или горизонтальное залегание, а мощность отложений может напротив изменяться в диапазоне от 1 до 50 м [13,17,18,68]. Обоснование системы разработки месторождения озерного сапропеля земснарядом может быть выполнено по классификации В.В. Ржевского, при этом главный критерий выбора того или иного земснаряда – это направление выемки в профиле карьерного поля. Все системы разработки делятся на 2 группы, главное отличие которых заключается в положении рабочей зоны. Так у первой группы положение рабочей зоны на протяжении всего периода эксплуатации месторождения остается неизменным, а у второй группы – переменное положение рабочей зоны [26,38,40].

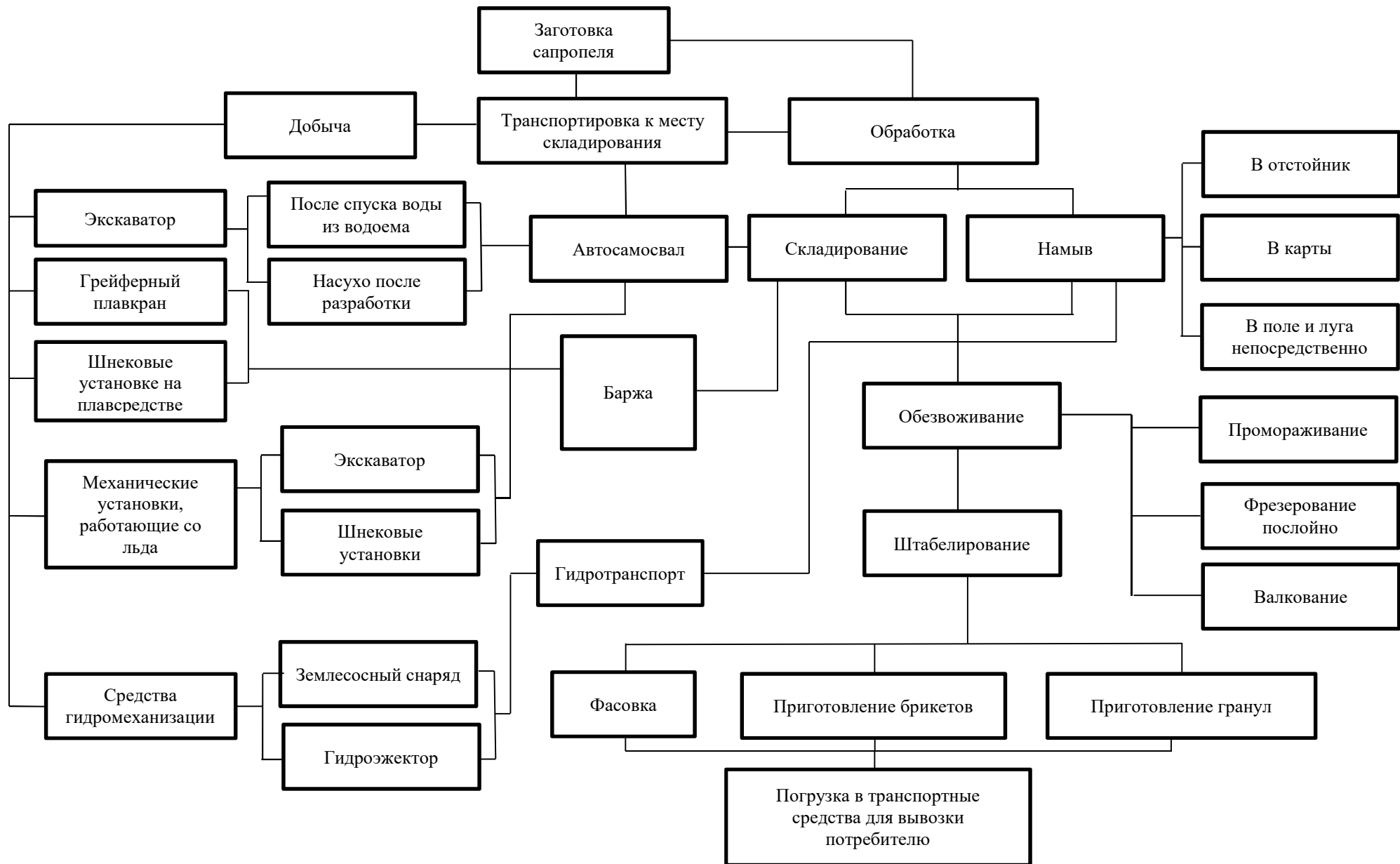


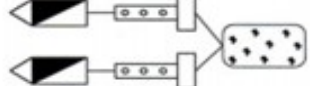

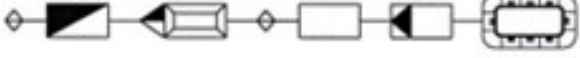



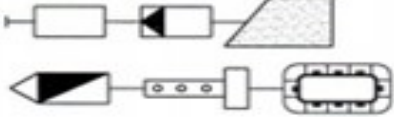
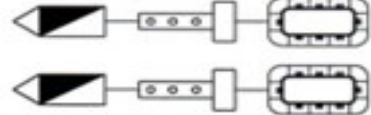
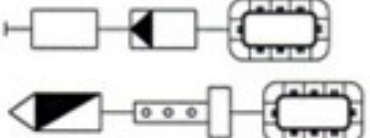
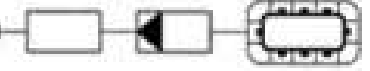


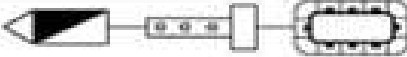
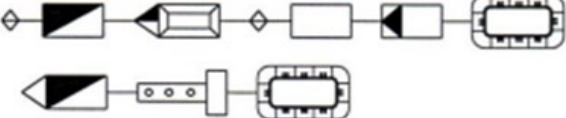
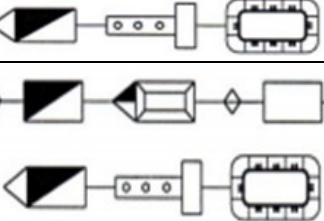
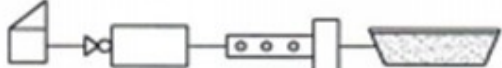
Рисунок 1.3 - Основные производственные процессы добычи сапропелей в зависимости от структуры комплексной механизации [25].

Проведенные исследования показали, что наиболее часто для разработки сапропелевых месторождений применяют гидромеханизированные комплексы (таблица 1.5) [25,26,75,77]. Следует отметить, что этот способ является наиболее дешевым и технологичным.

Таблица 1.5 – Гидромеханизированные комплексы [25].








Область применения комплекса	Пример комплекса	Индекс комплекса
При разработке озерных непогребенных сапропелевых месторождений		3-1
		3-2
		3-3
		3(п)-4
		Гф(Ш)-С
		СЗ(С)-С
		3у(Г)-С
		Бу3у(Г)-С-1
При разработке озерных погребенных сапропелевых месторождений		ЭОП-В-1 ЗОП-П-1
		ЗОП-П-2 ЗОП-П-2
		ЭОП-П-3 ЗОП-П-3
		ЭОП-ВП-4

Продолжение таблицы 1.5

Область применения комплекса	Пример комплекса	Индекс комплекса
При разработке озерных погребенных сапропелевых месторождений		ЭОП-ВП-5
		Гф(Ш)-С ЗОП-П2
		Гф(Ш)-О ЗОП-П2
		БуЗу(Г)-С-2

Условные обозначения и краткое описание области применения гидромеханизированных комплексов представлены в таблицах 1.6 и 1.7.

Таблица 1.6 – Условные обозначения [25].

Условное обозначение	Наименование
	Земснаряд
	Земснаряд с погружным грунтовым насосом
	Грейферный снаряд
	Скреперный самоотвозной земснаряд катамаранного типа
	Землесосная станция
	Экскаватор
	Баржа или шаланда

Продолжение таблицы 1.6

Условное обозначение	Наименование
	Автосамосвал
	Буровой станок
	Склад полезного ископаемого
	Пульпопровод
	Поле или луг
	Береговой отстойник
	Отвал

Таблица 1.7 - Краткое описание области применения комплексов [25].

Индекс комплекса	Условие применения
3-1	Широко распространенная схема комплекса гидрооборудования; разработка сапропелевых месторождений
3-2	Разработка непогребенных сапропелевых месторождений при непосредственном намыве на поля и луга
3-3	Разработка непогребенных сапропелевых месторождений с большим грузопотоком при непосредственном намыве на поля и луга
3(п)-4	Разработка непогребенных сапропелевых месторождений с применением землесосных снарядов с погружными грунтовыми насосами для повышения глубины разработки карьера
Гф(Ш)-С	Разработка непогребенных сапропелевых месторождений с применением грейферных снарядов и гидротранспортированием на берег

Продолжение таблицы 1.7

Индекс комплекса	Условие применения
СЗ(С)-С	Разработка непогребенных сапропелевых месторождений с применением скреперных самоотвозных земснарядов катамаранного типа
Зу(Г)-С	Разработка непогребенных сапропелевых месторождений текущей и частично вязко текущей консистенции при малых масштабах работы
БуЗу(Г)-С-1	Разработка непогребенных сапропелевых месторождений скважинным способом
ЭОП-В-1 ЗОП-П-1	Разработка сапропелевых месторождений погребенных под слоем вскрышных пород с применением экскаваторов на вскрышных породах и земснарядов на полезном ископаемом
ЗОП-П-2 ЗОП-П-2	Разработка сапропелевых месторождений погребенных под слоем торфа с применением земснарядов как на добыче торфа, так и на добыче сапропеля
ЭОП-П-3 ЗОП-П-3	Разработка сапропелевых месторождений погребенных под слоем торфа с применением экскаваторов на добыче торфа и на земснарядов на добыче сапропеля
ЭОП-ВП-4	Разработка погребенных сапропелевых месторождений валовым способом применением экскаваторов
ЭОП-ВП-5	Разработка погребенных сапропелевых месторождений валовым способом применением земснарядов
Гф(Ш)-С ЗОП-П2	Разработка сапропелевых месторождений погребенных под слоем торфа с применением грейферных снарядов на добыче торфа и земснарядов на добыче полезного ископаемого
Гф(Ш)-О ЗОП-П2	Разработка сапропелевых месторождений погребенных под слоем вскрышных пород с применением грейферных снарядов на вскрышных породах и земснарядов на добыче полезного ископаемого
БуЗу(Г)-С-2	Разработка погребенных сапропелевых месторождений скважинным способом с селективной выемкой

Преимущества гидромеханизированного способа заключаются в возможности осуществления поточной технологии, в возможности подачи пульпы на значительное расстояние и в относительно небольших затратах энергии и труда [26]. У данного способа есть несколько недостатков: во время добычи при механическом воздействии сапропель образует пятно мутности, есть необходимость в больших площадях под отстойники или карты намыва [18,25,36,75].

Существует несколько вариантов системы разработки: продольная (фронт добычных работ перемещается параллельно длинной оси карьерного поля), поперечная (фронт горных работ перемещается параллельно короткой оси карьерного поля), веерная (фронт работ перемещается по вееру с общим центром) и кольцевая (разработка ведется кольцевыми полосами либо от центра к границам карьерного поля, либо от границы к центру, при этом рабочая зона охватывает все борта по периметру карьера) (рисунки 1.4-1.7). Основные элементы системы разработки при добыче сапропеля показаны на рисунке 1.8 [76].

Выбор варианта системы разработки зависит от дальнейшей переработки сапропеля (намыв на поля или обезвоживание с помощью различных устройств).

Перед началом горных работ разрабатываются технологические карты, в которых предусматривают весь комплекс работ, включающий добычу, транспортировку и переработку.

Длина плавучего пульпопровода зависит от расстояния (на которое нужно транспортировать) и высоты (на которую необходимо поднять пульпу). Места берегового подключения устанавливают на расстоянии равном длине плавучего пульпопровода. Кроме того необходимы и вспомогательные операции, выполняемые с помощью крана-завозни и буксирного катера, такие, как укладка якорей, удлинение или укорачивание плавучего пульпопровода, перемещение земснаряда. Основные элементы системы разработки с

помощью земснарядов месторождений озерного сапропеля – высота забоя, ширина котлована и прорези, заложение подводных откосов, размеры блоков.

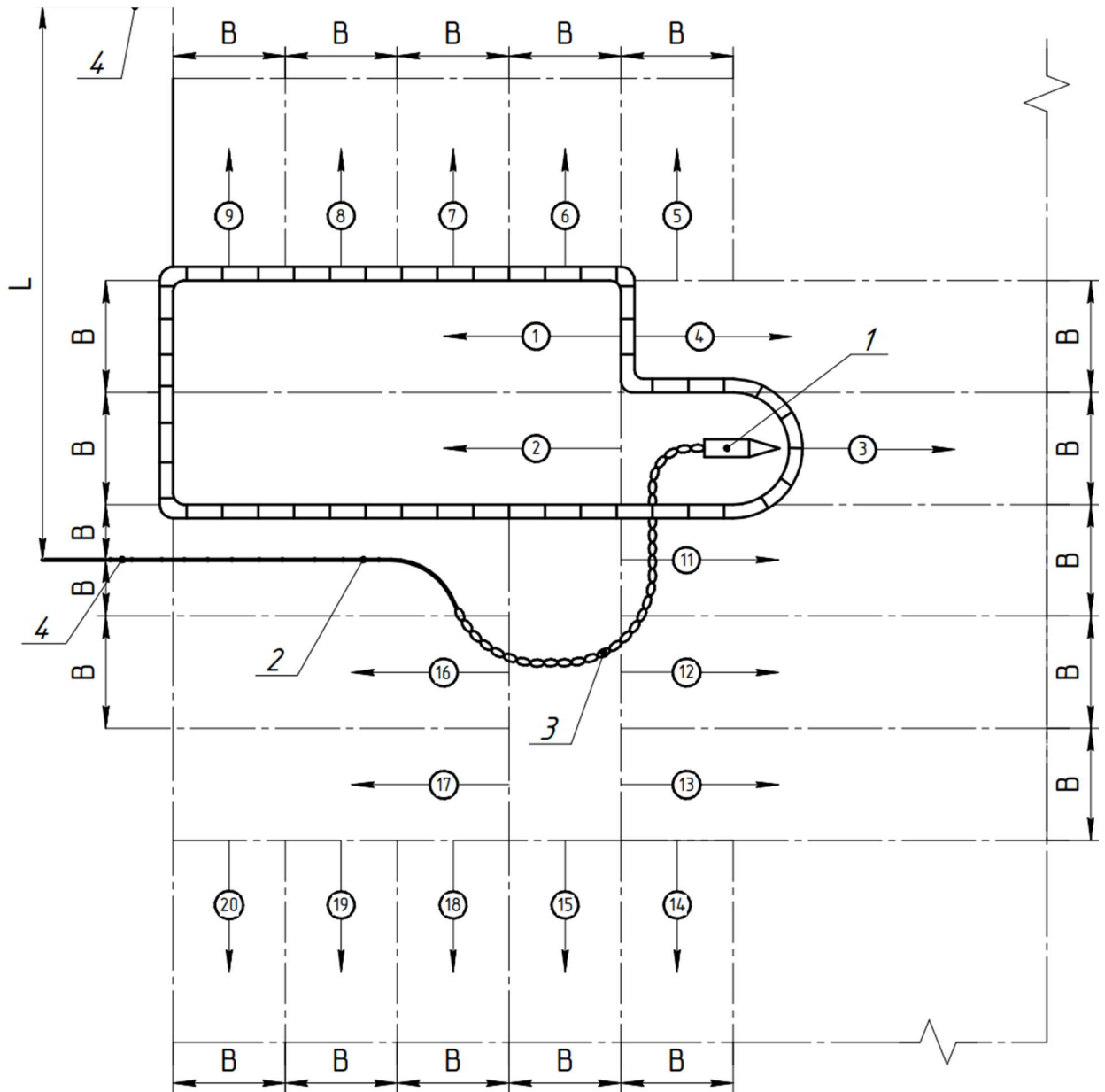


Рисунок 1.4 - Схема сплошной системы разработки руслового карьерного поля [76].

1 – землесосный снаряд, 2 – магистральный пульпопровод на эстакаде, 3 – плавучий пульпопровод, В – ширина заходки земснаряда, L – расстояние между подсоединениями плавучего пульпопровода, 1-20 – очередность выемки, 4 – береговые подключения плавучего пульпопровода.

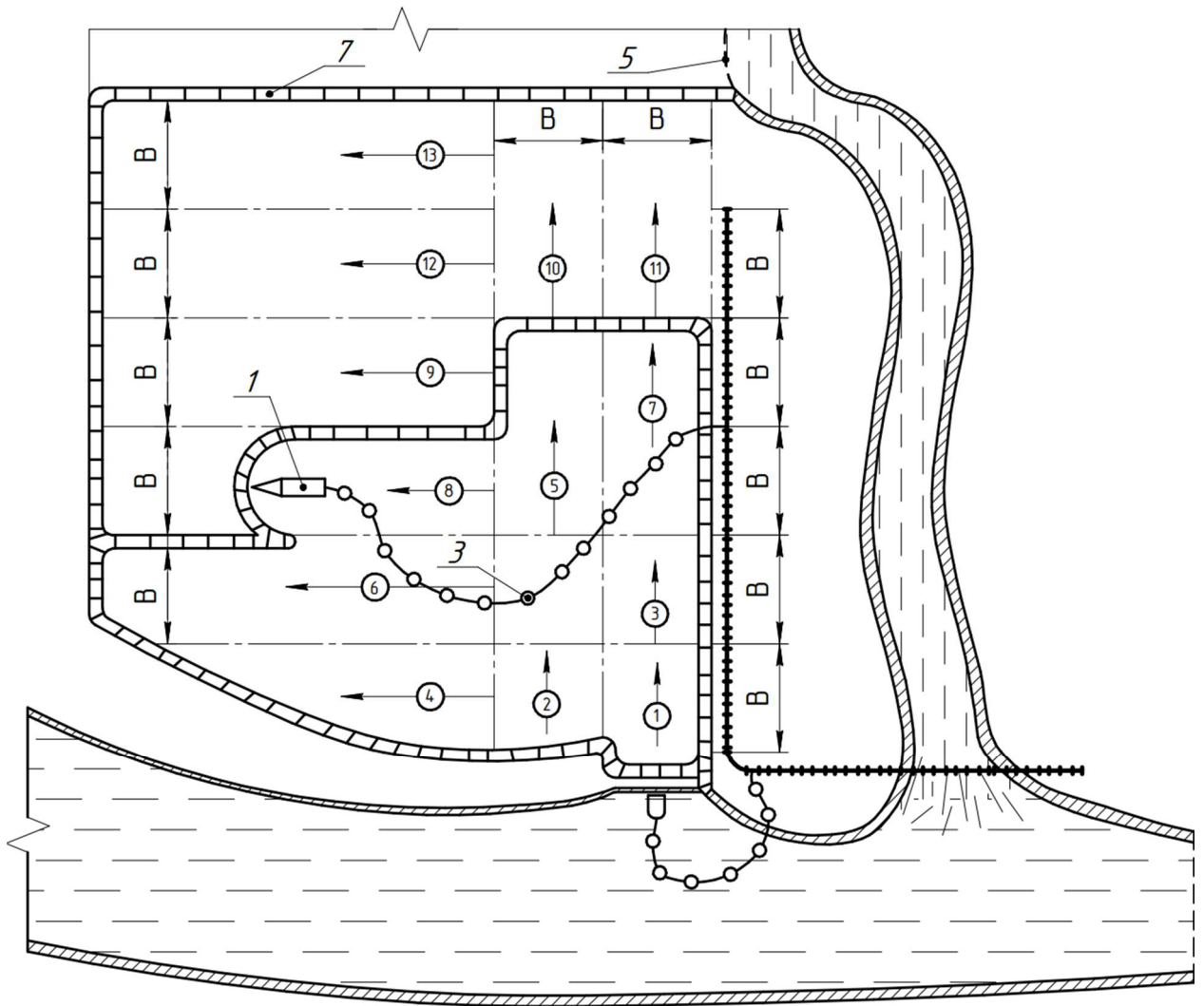


Рисунок 1.5 - Схема сплошной поперечной системы разработки пойменного карьерного поля [76].

2 – землесосный снаряд, 2 – магистральный пульпопровод, 3 – плавучий пульпопровод, 4 – береговое подключение плавучего пульпопровода, 5 – контур карьерного поля, 6 – дамба-перемычка с трубой и задвижкой, 7 – борт уступа растительного слоя.

При разработке по всей длине и ширине выемки необходимо обеспечить проектную отметку дна с учетом проектных требований по охране окружающей среды. Возможны послойная разработка в несколько подходов земснаряда с точным соблюдением отметок и с учетом установленного защитного слоя, а также сплошная разработка забоя на всю мощность [5,13,25,76].

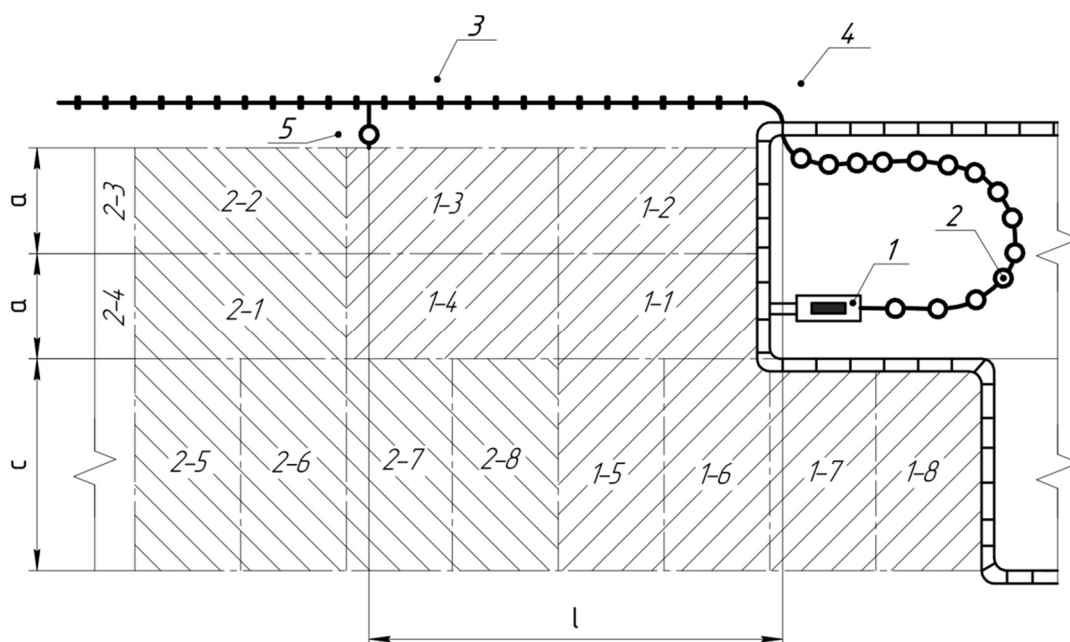


Рисунок 1.6 - Односторонняя схема разработки сапропелевых месторождений земснарядами [76].

1 – земснаряд, 2 – плавучий пульпопровод, 3 – береговой пульпопровод, 4 – 1-е береговое подключение плавучего пульпопровода, 1-1, 1-2...- очередность выемки участков.

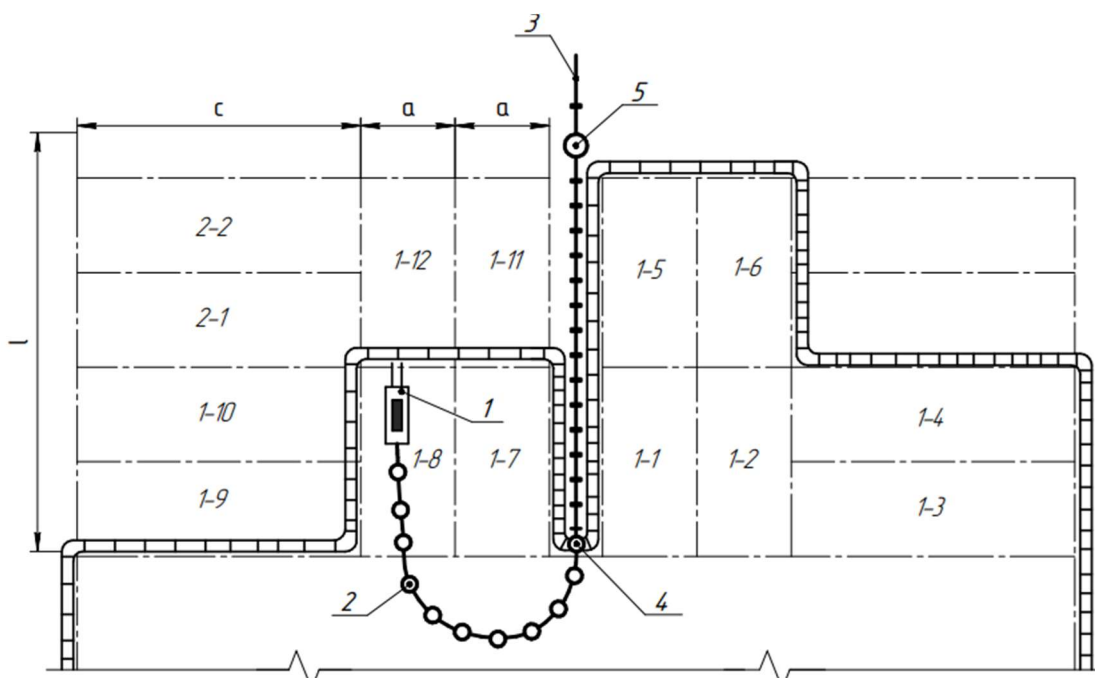


Рисунок 1.7 - Двухсторонняя схема разработки сапропелевых месторождений земснарядами [76].

1 – земснаряд, 2 – плавучий пульпопровод, 3 – береговой пульпопровод, 4 – 1-е береговое подключение плавучего пульпопровода, 1-1, 1-2...- очередность выемки участков.

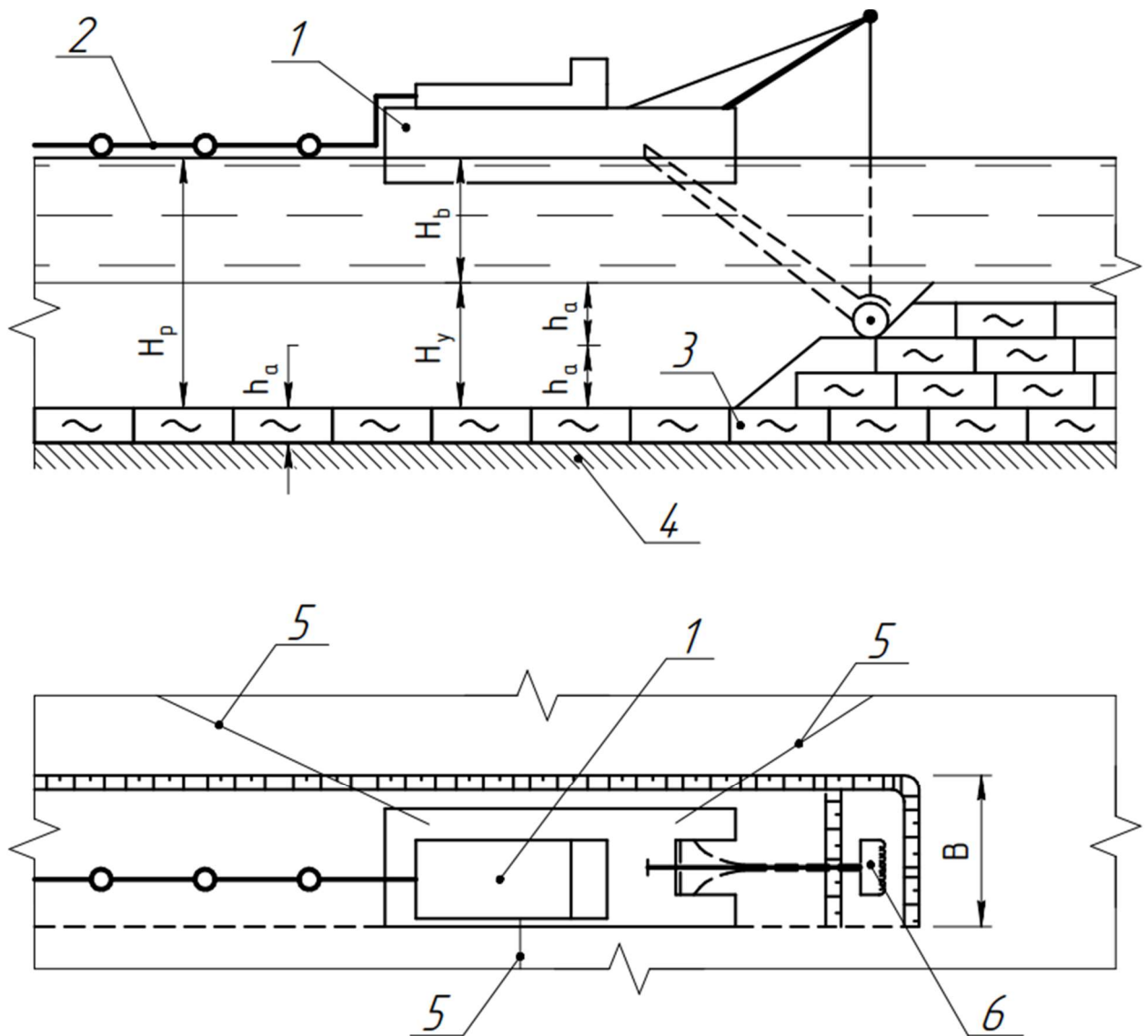


Рисунок 1.8 - Элементы системы разработки при добыче сапропеля земснарядом с грунтозаборным устройством шнекового типа [76].

1 – земснаряд, 2 – плавучий пульпопровод, 3 – сапропель, 4 – водоупор, 5 – папильонажный трос, 6 – грунтозаборное устройство шнекового типа, H_p – глубина разработки, H_b – высота слоя разработки, B – фронтальный забой.

1.4 Гидротранспорт сапропелей

Сапропель в смеси с водой образует практически однородную систему (пульпу). О ВНИИГиМе Н.М. Москалевым была получена формула для определения гидравлических потерь в пульпопроводе (формула 1.2) [76]:

$$h_i = \frac{16\tau_o}{3\gamma_o D} + \lambda \frac{V^2}{2qD}, \quad (1.2)$$

где τ_o - предельное сопротивление сдвигу для ила, г/см²;

γ_o - плотность пульпы, г/см³;

D - диаметр пульпопровода, см;

λ - коэффициент пропорциональности в формуле Дарси, зависящий от числа Рейнольдса (Re);

V - средняя скорость течения пульпы, м\с.

Значительный вклад в исследование процессов гидротранспорта дисперсных систем внес М.А. Беляевский. Его результаты исследований свидетельствуют о том, что кривая течения дисперсной системы – это взаимосвязь суммарных напряжений τ , возникающих при деформации потока под влиянием внешних сил, обобщающих все напряжения от пластических, вязких, прочностных и упругих свойств системы. Напор при гидротранспорте пульпы вычисляется по формуле 1.3 [13,25,76]:

$$I_H = a_o + a_1 v + a_2 v^2 + a_3 v^3 + a_4 v^4 \quad (1.3)$$

где $a_o - a_4$ – коэффициенты полинома уравнения течения дисперсной системы в модельной трубе;

v - скорость течения пульпы, м\с.

Для выбора грунтового насоса и обоснования его оптимального режима работы совместно с пульпопроводом строят график зависимости расчетной дальности транспортирования пульпы от напора [3,76].

1.5 Обзор современных отечественных и зарубежных технологий обезвоживания сапропелей

Наиболее дорогостоящими технически сложно осуществимыми процессами переработки сапропеля являются процессы его обезвоживания.

В настоящее время существует ряд способов и методов обезвоживания сапропелей, среди которых наиболее распространены сушка, центрифугирование и фильтрование [17,58,77,66].

Известен ряд устройств, которые могут использоваться для обезвоживания грубодисперсных грунтов. К таким устройствам относятся шнековые сепараторы, однако для тонкодисперсных сапропелей они не применимы [105,108,108].

В России чаще всего используется технология сушки. Сапропель просто разливают на поля. Такая технология является мало эффективной, высыхает только верхний слой сапропеля, внутри он остается влажным. Сушка занимает весь летний период, при этом занимают значительные площади земель, происходит загрязнение сапропелей семенами растений, что снижает его товарные свойства [29,69,77].

1.5.1 Обезвоживание в центрифугах

Существует два основных типа центрифуг: фильтрующие и осадительные. Вторые для обезвоживания сапропеля практически не применяются из-за низкой эффективности и производительности при обезвоживании сапропелей коллоидной структуры. Поэтому чаще используют фильтрующие центрифуги [60,72,77].

Принцип обезвоживания в фильтрующих центрифугах (рисунок 1.9) заключается в подаче сапропелевой пульпы в аппарат, под действием центробежных сил пульпа перемещается к фильтрующему элементу, который представляет из себя перфорированную стенку вращающейся корзины.

Твердые частицы задерживаются на стенке, образуя осадок, а влага проникает сквозь отверстия и впоследствии выводится из аппарата [72]. Степень обезвоживания в центрифугах может достигать 85 %. К недостаткам этого оборудования можно отнести большие энергозатраты и низкую производительность.

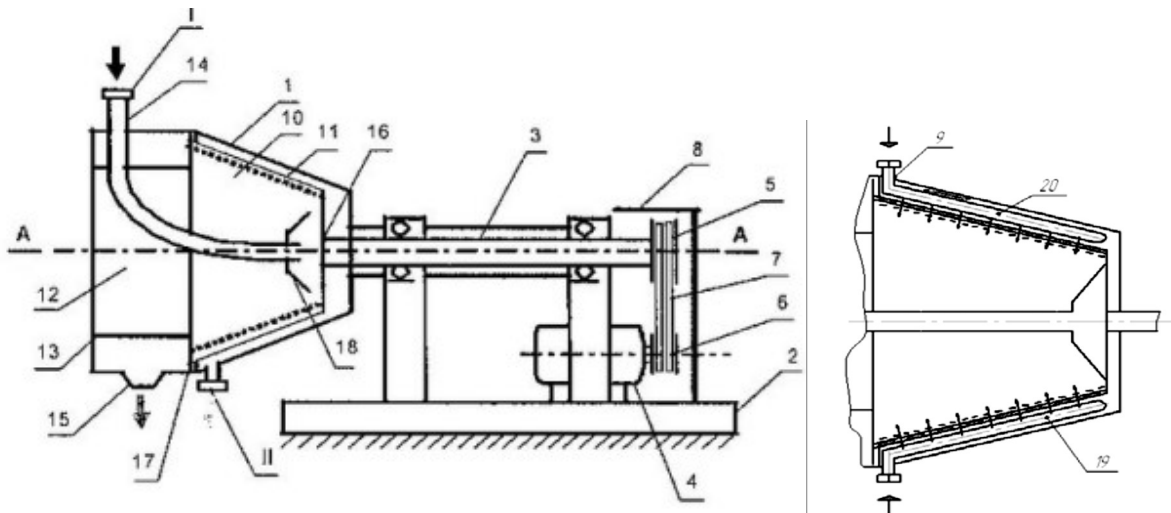


Рисунок 1.9 - Центрифуга для обезвоживания компонентов кормов [72]
 1 – корпус; 2 – сварная рама; 3 – приводной вал; 4 – электродвигатель; 5,6 – шкивы; 7 – ремень; 8 – кожух; 9 – трубы для подачи горячего пара или воздуха; 10 – перфорированный ротор; 11 – фильтрующий элемент; 12 – крышка; 13 – зажимы; 14 – труба для подачи суспензии; 15 – окно для выгрузки твердой основы материала; 16 – ступица; 17 – фланец; 18 – стакан для равномерного распределения потока по образующей ротора; 19 – насадки для очистки фильтрующего элемента от твердых частиц.

1.5.2 Обезвоживание в инерциоиде

Инерциоид состоит из конической корзины с ребрами жесткости, которые являются каркасом для крепления нетканого фильтра, обтянутого сеткой. Фильтр при вращении пропускает воду и задерживает обезвоженный сапропель. Аппарат является относительной новой разработкой. Его предлагается использовать при производстве витаминно-кормовой добавки на основе сапропеля (требуемая влажность сапропеля 70-80%) [24,71,72].

1.5.3 Обезвоживание в геотекстильных контейнерах

Технология обезвоживания в геотекстильных контейнерах Geotube широко применяется за рубежом, в частности в Европе и США, для обезвоживания сильно обводненных суспензий (илов) [96]. Изготовлением геотекстильных контейнеров занимаются такие крупные компании, как голландская компания TenCate (имеет большой опыт в производстве тканей для

промышленных целей), индийская компания КК Enviro, китайская компания Geotrst и другие[1,4,86,87].

Суть технологии заключается в заполнении контейнера обводненным илом и ожидание схода свободной влаги. После схода свободной воды производят повторную подкачку до 5 раз. Для обезвоживания тонких илов (сапропелей) есть необходимость в добавлении коагулянтов. При использовании данной технологии для сильно обводненных илов можно достигнуть 66% влажности. Среди недостатков можно отметить то, что для осуществления этой технологии требуются немалые площади, и невысокую степень обезвоживания.

1.5.4 Виброобезвоживание

Вибрационное воздействие на процесс водоотделения было проверено Тарасовым Ю.Д. в Санкт-Петербургском горном институте. Эксперимент (частота колебаний – 50 Гц, амплитуда – 4 мм) показал, что при вибрационном воздействии отделения влаги не происходит, так как в сапропеле несвязанная жидкость практически не содержится или содержится в очень малых количествах, в зависимости от состава сапропеля [76,77].

1.5.5 Обезвоживание с помощью гигроскопического эффекта пористого материала

Известны комплексы для снижения влагосодержания сапропеля (рисунок 1.10) и машины для обезвоживания сапропеля [62,63,64,64].

Все аппараты включают в себя загрузочное устройство, плоскую гибкую резиновую ленту, по краям которой установлены буртики, и водоотделители, последовательно установленные над лентой.

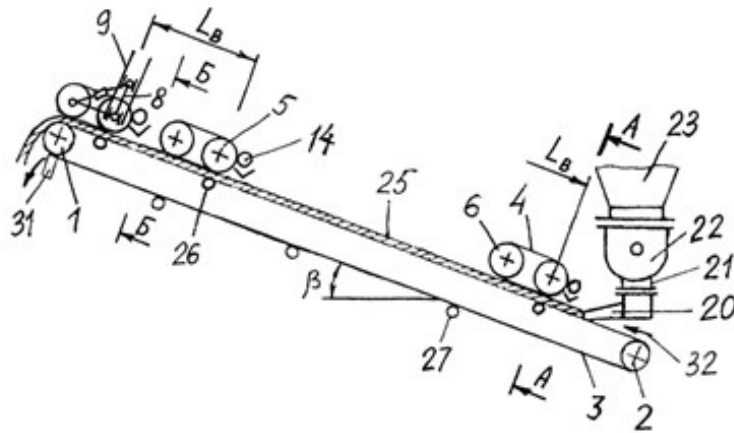


Рисунок 1.10 - Комплекс для снижения влагосодержания сапропеля [64]

1, 2 – приводной и натяжной барабаны; 3 – гибкая плоская лента; L_b – водоотделители; 4 – бесконечная гибкая лента; 5, 6 – барабаны; 7 – слой пористого материала; 8 – первое звено шарнирного трехзвенника; 9 – направляющие; 10 – второе звено шарнирного трехзвенника (связывает оси барабанов 5 и 6); 11 – третье звено; 12 – винтовые стяжки; 13 – цепная передача; 14 – отжимной ролик; 20 – целевой дозатор; 21 – разгрузочный патрубок; 22 – шнек; 23 – контактный чан; 25 – слой сапропеля; 26, 27 – роликовые опоры; 31 – скребковый очиститель; 32 – направление движения верхней ветви ленты.

Сапропель подается на ленту тонким слоем (около 6 мм), продвигаясь с лентой, сапропель взаимодействует с водоотделителями, отдавая им свою влагу. Особенность технологии заключается в том, что обезвоживание происходит за счет гигроскопического эффекта пористого материала незамкнутой капиллярной структуры, который проявляется при последовательном сжатии и восстановлении этого материала.

Водоотделитель может быть в виде барана, обтянутого слоем пористого материала, или в виде ленты натянутой двух барабанах, к которой крепится слой пористого материала.

К недостаткам можно отнести низкую производительность, так как обезвоживание происходит в тонком слое, размеры пор влагопоглощающего материала.

1.6 Использование сапропелей

Издавна сапропель использовался в сельском хозяйстве жителями, живущими вблизи водоемов как удобрение. Сапропелевые удобрения - единственные в своем роде почвообразующие удобрения, что имеет большое значение при рекультивации нарушенных земель [85,88].

Удобрения на основе сапропеля имеют ряд преимуществ перед другими удобрениями, и, в первую очередь, они способствуют росту гумусового слоя. При использовании таких удобрений увеличивается количество полезных микро- и макроэлементов в почве, вследствие чего повышается урожайность различных сельскохозяйственных культур. Нужно отметить, что наибольшая урожайность наблюдается при совместном использовании минеральных и сапропелевых (органических) удобрений [51,54,80]. Известковый сапропель используется в качестве источника углерода для культивирования фосфатмобилизующих микроорганизмов, так как фосфор, наряду с калием и азотом, – важнейший биогенный компонент, необходимый для роста и развития растений [39].

При строительстве автомобильных дорог и аэродромов используют активированный сапропель (высушенный при 110 °С и далее подвергнутый механической активации) в качестве добавки в асфальтобетоны, что повышает их прочность в 1,5 – 3 раза по сравнению с другими композитными материалами без сапропелевых добавок [43,96]. Активированный сапропель используют в качестве интегрального компонента для производства топливных брикетов, улучшающего их технические характеристики за счет повышения содержания углерода и связующего компонента [31,55].

В медицине сапропель широко используют в качестве лечебных грязей, а в фармацевтической промышленности - при производстве биологически активных веществ. Выделенный из сапропеля гуминовый комплекс безвреден, стимулирует биологические процессы в организме человека и животных, обладает антисептическими и антимикробными свойствами [27]. Сапропель используют и при производстве стабильных гетерогенных биокатализаторов с

требуемой ферментативной активностью. Производство таких биокатализаторов подразумевает использование сапропелевых илов пресноводных водоемов, прошедших термохимическую обработку путем отжига полукоксов в инертной атмосфере при 600°C [7,45,50].

В химической промышленности сапропель используют для производства никелевых катализаторов [94].

В нефтегазовой отрасли сапропелевые эмульсии используются при бурении скважин в глинистых и глинисто-карбонатных породах [32,34].

Отмечается также использование торфо-сапропелевых смесей для землевания и снижения пожарной опасности самовозгорающихся пород месторождений торфа [30,84].

В животноводстве сапропель успешно применяется в качестве кормовых добавок для различных животных. Например, в мясе гусей, получавших кормовые добавки на основе сапропеля, содержание белка было выше на 5,7%, а содержание жира - на 4% по сравнению с контрольными аналогами. Отмечалось и улучшение вкусовых качеств мяса [15]. Использование кормовых добавок на основе сапропеля при откормке овец улучшило конверсию питательных веществ. Анализ показал увеличение конверсии протеина в пищевой белок примерно на 4% [2]. При добавлении сапропеля в корма для уток улучшалось качество и вкус их мяса [73].

1.7 Выводы по Главе 1

1. Россия обладает огромными запасами сапропеля, но, не смотря это, производству продуктов на его основе не уделяется должного внимания.

2. Предприятия, занимающиеся добычей и переработкой сапропеля, зачастую придерживаются мало эффективной технологии сушки, которая занимает долгое время и в процессе которой происходит снижение товарных свойств сапропеля.

3. Проведенные поисковые исследования средств механизации по обезвоживанию сапропелей свидетельствуют о том, что техническое обеспечение процессов обезвоживания далеко от совершенства. Процессы

центрифугирования и фильтрации не целесообразно применять для обезвоживания сапропелей, так как известно, что они практически не фильтруются.

4. Основой для создания современного оборудования по обезвоживанию сапропеля могут послужить машины и комплексы по обезвоживанию сапропеля за счет гигроскопического эффекта пористого материала.

ГЛАВА 2 ОБОСНОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО МЕТОДА МЕХАНИЧЕСКОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ САПРОПЕЛЯ

Для разработки оборудования, обезвоживание в котором происходит за счет гироскопического эффекта пористого материала [61,62,63,64], было принято решение применить микрофибру в качестве заменителя пористого материала незамкнутой капиллярной структуры, который из-за крупности и хаотичного расположения его пор менее эффективен тонкопористой и износостойкой микрофибры.

История создания микрофибры начинается еще во второй половине 20 века. Уже тогда ученые пытались создать более совершенные ткани, которые были бы прочнее в разы существующих аналогичных тканей из натуральных волокон. Впервые это получилось у японских ученых Тойохико Хикоту и Миеси Окамото. Ультратонкие волокна 0,7 ден (Деньé (сокращённо - ден) – внесистемная единица линейной плотности волокон или нитей, то есть отношение их массы к длине. 1 ден = 0,05 г/450 м) им удалось произвести путем выдувания полиамида. В настоящее время микрофибра широко используется во всем мире для производства спортивной одежды и термобелья. По сравнению с другими материалами, микрофибра обладает высокой износостойкостью и легко пропускает влагу. В быту и медицине ее используют для протирки поверхностей [8,9,79].

2.1 Механизмы поглощения влаги пористыми материалами

Капиллярные явления могут наблюдаться в капиллярно-пористых телах или узких сосудах, в которых расстояние между стенками капилляров соизмеримо с радиусом кривизны поверхности жидкости [37]. Причина этого явления кроется во взаимодействии стенок капилляра и жидкости. Поведение жидкости будет зависеть от характеристик материала. Поверхность стенок может быть:

- лиофильной (то есть смачивается, рисунок 2.1 а), при этом мениск будет иметь вогнутую форму, будет наблюдаться избыточное направленное к центру

кривизны давление Лапласа поднимает жидкость капилляре (положительное капиллярное поднятие);

- лиофобной (то есть не смачиваться, рисунок 2.1б). В этом случае мениск имеет выпуклую форму, а избыточное давление Лапласа опускает жидкость в капилляре (отрицательное капиллярное поднятие);

- индифферентной (никак не взаимодействует), избыточное давление Лапласа отсутствует, уровень жидкости в капилляре не изменяется [21,37,49].

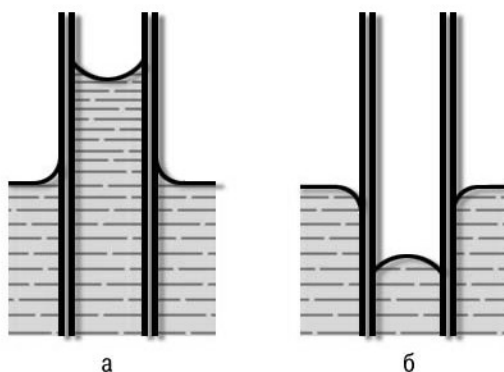


Рисунок 2.1 – капиллярный эффект при лиофильной (а) поверхности стенок и лиофобной (б)

Высота капиллярного поднятия и опуская жидкости рассчитывается по формуле Жюрена (формула 2.1):

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{r_0 \cdot g \cdot (\rho_{ж} - \rho_{г})}, \quad (2.1)$$

где θ – угол смачивания жидкостью стенок капилляра, градусы;

r_0 – радиус капилляра, м;

$(\rho_{ж} - \rho_{г})$ – разность плотностей жидкости и газовой среды, кг/м³.

Фитильный эффект способствует всасыванию влаги и распространению ее вдоль волокна (рисунок 2.2 а – капиллярный эффект, б – фитильный эффект).

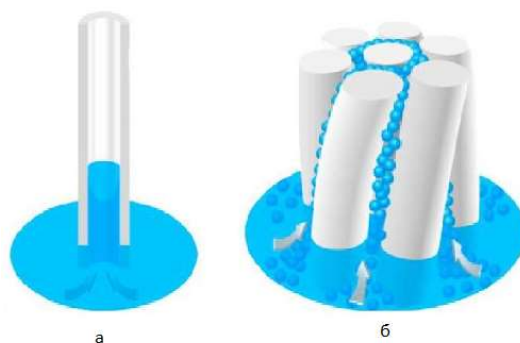


Рисунок 2.2 - а – капиллярный эффект, б – фитильный эффект [102].

Скрученная нить имеет большее количество капиллярных каналов, которые поглощают воду как насосы [53].

Основной характеристикой пористых материалов является величина удельной поверхности, которую можно рассчитать по формуле 2.2:

$$S'_{уд} = \frac{S}{V} \text{ м}^{-1} \text{ или } S_{уд} = \frac{S}{m} = \frac{S}{V\rho} = \frac{S'_{уд}}{\rho}, \quad (2.2)$$

где m - масса пористого материала, кг;

V – объем пористого материала, м³;

ρ - плотность пористого материала, кг/м³.

Пористость материала рассчитывается по формуле 2.3:

$$\Pi = \frac{V_p}{V_{общ}}, \quad (2.3)$$

где V_p - объем всех пор, м³;

$V_{общ}$ - объем пористого тела, м³.

Удельный суммарный объем рассчитывается по формуле 2.4:

$$V_{уд} = \frac{V_p}{m}, \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (2.4)$$

Размер и форму пор относят к важным характеристикам пористых структур.

Согласно классификации Дубинина, пористые тела в зависимости от размера пор, разделяются на макропористые (150-200 нм), мезопористые (2 – 50 нм) и микропористые (менее 2 нм). Каждому классу пористого материала соответствует свой механизм поглощения влаги.

В макропористых телах адсорбция происходит с образованием адсорбционной пленки на поверхности материала. Удельная поверхность

составляет порядка 0,5 - 2,0 м²/г. Описать процесс адсорбции можно с помощью теории Ленгмюра или БЭТ (теория, разработанная Брунауэром, Эмметом и Теллером) [21].

Для описания поглощения влаги мезопористыми материалами используется теория капиллярной конденсации. Удельная поверхность мезопористых материалов колеблется от 10 до 500 м²/г. Как правило мезопористые материалы характеризуются не только значением удельной поверхности, но и распределением объема или поверхности пор по их размерам [21].

Для описания поглощения влаги микропористыми материалами используется теория объемного заполнения пор (теория Дубинина). Удельная поверхность таких материалов может достигать 1000-2000 м²/г [21].

Удельная поверхность материалов, поры которых имеют щелевидную форму, рассчитывается по формуле 2.5:

$$S_{уд} = \frac{2V_p}{d_p}, \quad (2.5)$$

где - V_p – удельный объем пор, м³;

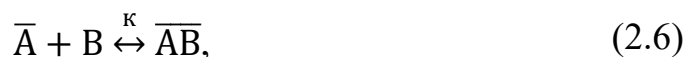
d_p – ширина щелевидной поры, м.

2.1.1 Теория Ленгмюра

Теория Ленгмюра подразумевает адсорбцию молекулы адсорбата на определенных свободных центрах, располагающихся на поверхности твердого тела. Необходимо выполнение следующих условий:

- адсорбция является мономолекулярной (на одном центре адсорбируется только одна молекула) и локализованной (адсорбирующиеся молекулы не перемещаются);
- поверхность адсорбента – эквипотенциальна;
- боковое взаимодействие между адсорбированными молекулами отсутствует.

В этом случае адсорбцию рассматривают как квазихимическую реакцию между молекулами адсорбата и адсорбционными центрами (формула 2.6):



где \bar{A} - адсорбционный центр,

B - молекула адсорбата,

\bar{AB} - адсорбционный комплекс,

K – константа адсорбционного равновесия.

Согласно теории Ленгмюра уравнение изотермы (рисунок 2.3) мономолекулярной адсорбции выглядит следующим образом (формула 2.7):

$$A = A_{\infty} \frac{K_p}{1+K_p}, \quad (2.7)$$

где K_p – константа уравнения, характеризующая энергию взаимодействия адсорбента и адсорбата, чем сильнее их связь, тем больше значение константы.

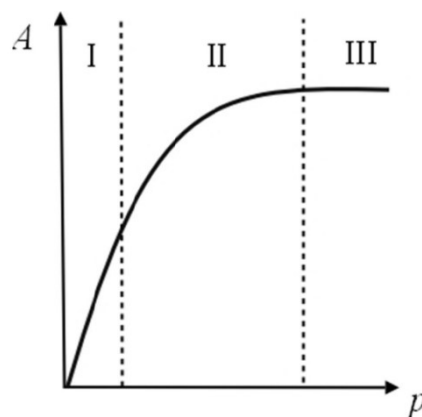


Рисунок 2.3 – Изотерма адсорбции Ленгмюра (A – величина адсорбции, P – давление)

Участок I. $K_p \ll 1$, поэтому K_p можно пренебречь, в этом случае величина адсорбции будет линейно зависеть от давления адсорбата.

Участок II. Рост величины адсорбции замедляется, так как постепенно заполняются адсорбционные центры.

Участок III. Мономолекулярный слой полностью заполнился [9,11].

2.1.2 Теория БЭТ

Теория БЭТ используется для описания полимолекулярной адсорбции. В основе теории лежат те же исходные положения, что и в теории Ленгмюра. Главное отличие заключается в допущении возможности адсорбции

нескольких слоев адсорбата. Теория БЭТ подробно рассматривается в работах Карнаухова А.П. и Полторака О.М.

Уравнение изотермы полимолекулярной адсорбции (рисунок 2.4) согласно теории БЭТ выглядит следующим образом (формула 2.8):

$$A = \frac{A_{\infty} C \frac{p}{p_s}}{\left(1 - \frac{p}{p_s}\right) \left[1 + (C-1) \frac{p}{p_s}\right]}, \quad (2.8)$$

где A_{∞} - емкость монослоя, моль/г;

C - константа БЭТ;

p - равновесное давление паров адсорбата над поверхностью адсорбента, Па;

p_s - давление насыщенных паров над поверхностью жидкого чистого адсорбата, Па.

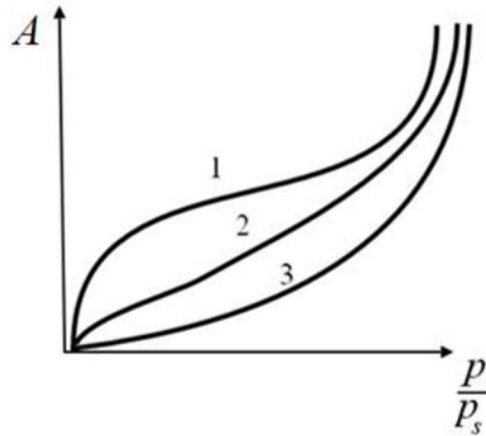


Рисунок 2.4 – Изотерма полимолекулярной адсорбции при различных значениях константы C

Кривая 1 получается при $C \geq 20$ и свидетельствует о том, что изначально формируется монослой, а затем образуются последующие слои. Кривая 2 получается при $1 \leq C \leq 20$, изотерма адсорбции занимает промежуточное состояние. Кривая 3 $C \leq 1$. Формирование полимолекулярного слоя начинается еще до полного заполнения монослоя [9,11].

2.1.3 Теория капиллярной конденсации

Капиллярная конденсация заключается в том, что объемное заполнение пор происходит при меньших давлениях, чем давление насыщенного пара над

плоской поверхностью жидкости. Для протекания капиллярной конденсации необходимо, чтобы адсорбат смачивал стенки поры. Изначально на стенках пор происходит образование слоя в результате полимолекулярной адсорбции. Далее возникает искривленная поверхность, образованная за счет смыкания слоев или из-за геометрической формы пор.

Равновесное давление пара над искривленной поверхностью с отрицательной кривизной выражается с помощью уравнения Кельвина (формула 2.9):

$$\ln \frac{p}{p_s} = -\frac{2\sigma V_m}{RT r_m}, \quad (2.9)$$

где σ - поверхностное натяжение адсорбата, Дж/м²;

V_m - молярный объем адсорбата, м³/моль;

r_m - равновесный радиус кривизны, м.

Равновесный радиус кривизны определяется по формуле 2.10:

$$r_m = \frac{r_k}{\cos \theta}, \quad (2.10)$$

где r_k - радиус поры, м;

θ - краевой угол, градусы.

Рассчитывая размеры мезопор с использованием уравнения Кельвина, необходимо принимать допущение: адсорбат полностью смачивает поверхность пор, угол $\theta = 0$, поэтому радиус поры принимается равным равновесному радиусу кривизны ($r_m = r_k$).

С учетом всех допущений уравнение Кельвина принимает следующий вид (формула 2.11):

$$\ln \frac{p}{p_s} = -\frac{2\sigma V_m}{RT(r_p - t)}, \quad (2.11)$$

где t - толщина адсорбционной пленки, м.

В зависимости от формы пор изотермы адсорбции (рисунок 2.5) будут отличаться. Если адсорбция обратима, то ветви изотермы адсорбции и десорбции совпадают [9,11].

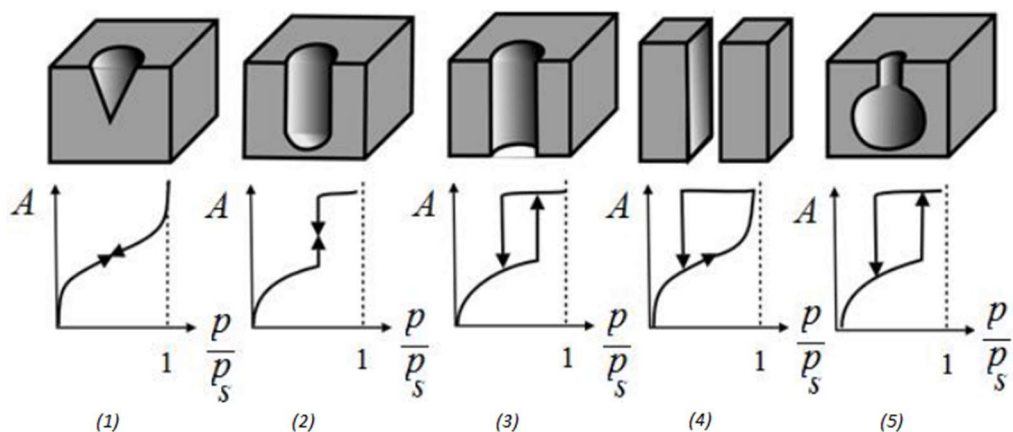


Рисунок 2.5 – Изотермы адсорбции в конических (1), цилиндрических тупиковых (2), цилиндрических сквозных (3), щелевых (4) и бутылкообразных (5).

2.1.4 Теория объемного заполнения пор Дубинина

Из-за весьма малых размеров пор адсорбция происходит во всем их объеме, а не на поверхности стенок микропор. В этом случае для описания процессов адсорбции все вышеупомянутые теории не подходят. Из-за очень малого расстояния между стенками пор происходит резкое увеличение энергии взаимодействия адсорбата и адсорбента даже при относительно малых значениях давления, далее изотерма адсорбции практически не изменяется. Сравнение изотерм в макро- и микропористых материалах показано на рисунке 2.6.

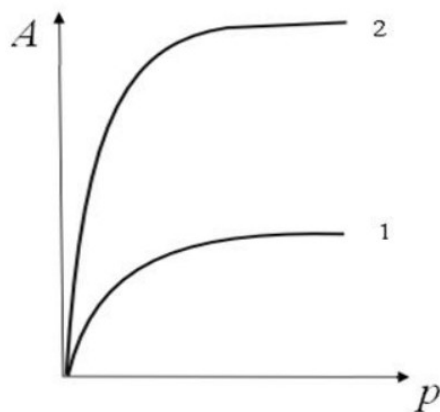


Рисунок 2.6 – Изотермы адсорбции на макро- (1) и микропористых материалах (2)

Поскольку в микропористых материалах заполнение пор происходит не послойно, а объемно, то параметром, характеризующим адсорбцию, является дифференциальная свободная энергия, которая выражается следующим уравнением (формула 2.12):

$$\varepsilon = RT \ln \frac{p_s}{p}. \quad (2.12)$$

Степень заполнения микропор θ определяется как отношение величины текущей адсорбции A к величине максимальной A_0 или отношение заполненного адсорбционного пространства V к предельному V_0 (формула 2.13).

$$\theta = \frac{A}{A_0} = \frac{V}{V_0}. \quad (2.13)$$

Дубинин и Радушкевич предположили, что с помощью гауссовой кривой описывается распределение степени заполнения пор по дифференциальной свободной энергии адсорбции (формула 2.14):

$$\theta = \exp \left[- \left(\frac{\varepsilon}{E} \right)^2 \right], \quad (2.14)$$

где ε – свободная дифференциальная энергия адсорбции, Дж;
 E - характеристическая свободная энергия адсорбции, Дж.

С учетом значения θ получается следующее уравнение адсорбции (формула 2.15):

$$A = A_0 \exp \left[- \left(\frac{\varepsilon}{E} \right)^2 \right]. \quad (2.15)$$

Подставив ε в выражение 2.15, получим уравнение Дубинина-Радушкевича изотермы адсорбции, которое чаще используют в логарифмической форме (формула 2.16):

$$\ln A = \ln A_0 - \frac{R^2 T^2}{E^2} \left(\ln \frac{p_s}{p} \right)^2. \quad (2.16)$$

Уравнение Дубинина-Радушкевича носит линейный характер для большинства адсорбентов (например, активированные угли), однако при использовании других адсорбентов могут наблюдаться отклонения от линейности. Поэтому был предложен более общий вид уравнения для

описания адсорбции в микропористых материалах и сделано предположение, что распределение степени заполнения микропор определяется распределением Вейбула, а не гауссовой кривой (формула 2.17):

$$\ln A = \ln A_0 - \frac{R^n T^n}{E^n} \left(\ln \frac{p_s}{p} \right)^n, \quad (2.17)$$

где n - параметр распределения, зависящих от структуры адсорбента [9,11].

2.2 Оценка свойств микрофибры и ее применимости в методах механического обезвоживания

Микрофибра – это ткань, состоящая из волокон диаметром от 0,01 до 10 мкм. Ткань изготавливают в основном из полиэстера и полиамида, при этом их соотношение может быть разным (80/20, 70/30), в зависимости от назначения микрофибры в ее состав могут входить полипропилен, серебро, фосфат серебра, хлорид серебра. Плотность микрофибры находится в диапазоне от 80 до 450 г/м², влагопоглощение - в 3-8 раз (в зависимости от состава и плотности) больше собственной массы. Ткань из микрофибры обладает развитой капиллярной структурой, хорошей воздухопроницаемостью [12,52,90].

Микрофибра относится к гидрофобным материалам. Важно отметить, что такой материал не смачивается водой, однако свободно пропускает ее сквозь свою структуру. В отличие от волокон обычных натуральных тканей, микроволокна расщеплены на концах (рисунки 2.7-2.8), в результате чего создается капиллярный эффект, за счет которого и происходит поглощение влаги [11,91,99].



Рисунок 2.7 – Микроволокно [108]

Одним из крупнейших производителей микрофибры в России является компания ООО «СЗ АТЛАС» (официальный представитель 1-го в России завода полного цикла по производству изделий из микрофибры). Для производства микрофибры используются полимеры. Сначала происходит плавление гранул, затем их формование в нити, полученные нити вытягивают и наматывают. Далее происходит текстурирование нити для придания необходимых физико-механических свойств, после текстурирования приступают к созданию полотна. При необходимости, полотно красят [100,101].

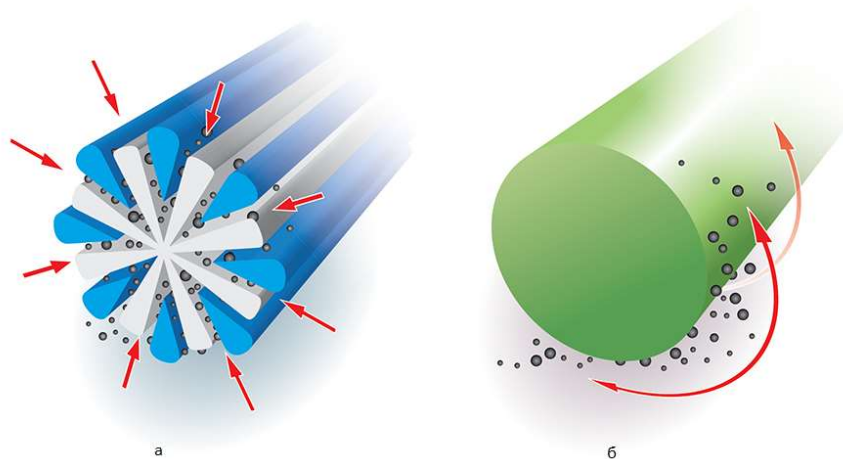


Рисунок 2.8 – Строение нитей микрофибры (а) и обычной натуральной ткани (б) [103]

2.3 Опыт использования микрофибры как материала для поглощения влаги из дисперсных обводненных материалов

Согласно исследованиям А.Г. Михайлова и И.И. Вашлаева всасывающее давление почвы увеличивается при ее контакте с микрофиброй, что свидетельствует о способности микрофибры поглощать влагу из грунтов [41].

Показателем свободной энергии грунтовой влаги является зависимость всасывающего давления ψ грунта от его влажности W (рисунок 2.9-2.10), которая описывается следующим уравнением (1 – без микрофибры; 2 – с микрофиброй) (формулы 2.18-2.19):

$$\psi = 6,8852 \cdot 10^5 e^{-0,3928W} \quad (2.18)$$

$$\psi = 2,8756 \cdot 10^5 e^{-0,294W} \quad (2.19)$$

На рисунке 2.10 показана зависимость удельной водовместимости микрофибры от изменения уровня грунтовых вод [41].

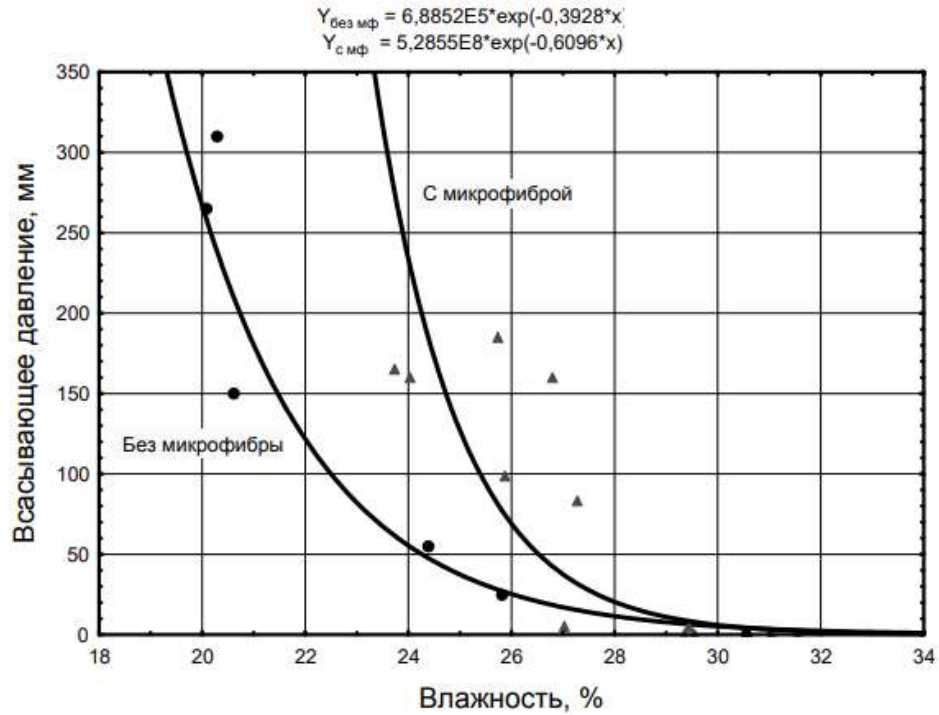


Рисунок 2.9 Изменение всасывающего давления натурального грунта и грунта с микрофиброй [41]

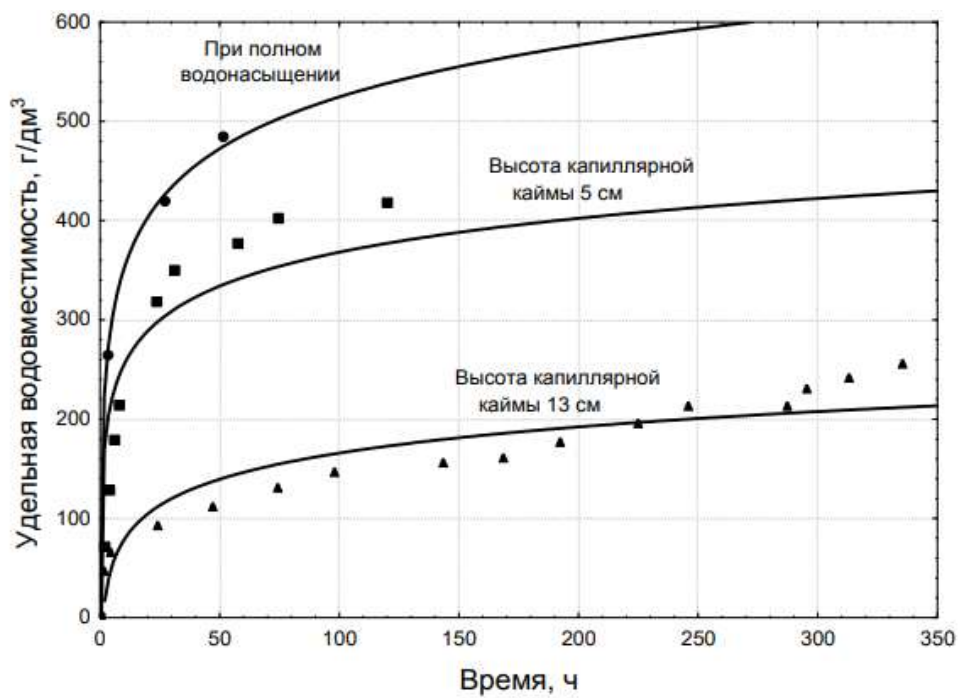


Рисунок 2.10 Изменение удельной водовместимости гигроскопического материала для различного уровня грунтовых вод [41].

2.4 Механизмы движения влаги в органических дисперсных материалах

Наиболее совершенную классификацию движения влаги в почве предложил А.А. Роде. Согласно этой классификации существует четыре механизма движения влаги: гравитационный, гравитационно-капиллярный, пленочно-капиллярный, пленочный.

Главным условием передвижения влаги является наличие разности сил, под действием которых происходит перемещение влаги. Также Роде выделяет несколько сил, которые воздействуют на влагу, содержащуюся в почве: силы тяжести, капиллярные силы, сорбционные силы, осмотические силы.

Гравитационная сила всегда направлена вниз и имеет постоянную величину, остальные силы могут иметь любое направление и зависят в большей мере и от влажности грунта. Чем выше влажность грунта, тем ниже действие сил на передвижение влаги в почве. Кроме того А.А. Роде по диапазону влагосодержания делит почвенную влагу на легкоподвижную (от полной влагоемкости до наименьшей), среднеподвижную (от наименьшей влагоемкости до влажности разрыва капилляров), трудноподвижную (от влажности разрыва капилляров до влажности завядания), весьма трудноподвижную (от влажности завядания до максимальной адсорбционной влагоемкости) и неподвижную (от максимальной адсорбционной влагоемкости до 0) [10]. Величина сил, действующих на перемещение влаги в грунте, зависит и от гранулометрического и вещественного состава, плотности грунта [59].

Структурированность пор воды исследовалась с использованием ядерно-магнитного резонанса, что дало возможность убедиться в том, что даже в самых тонко-дисперсных системах с влагосодержанием более 100% полностью отсутствует свободная или капельно-жидкая воды, у которой время продольной релаксации (T_1) составляет 2,5 с, а в таких системах T_2 - менее 10^{-3} с [16].

2.5 Выводы по Главе 2

1. Нити микрофибры расщеплены на концах, в результате чего создается капиллярный эффект, за счет которого и происходит поглощение влаги.

2. Существует несколько теорий описания капиллярных явлений в пористых телах. В зависимости от диаметра нити микрофибры можно отнести к мезопористым или микропористым телам, поэтому для описания капиллярных явлений в микрофибре следует применять теорию капиллярной конденсации и теорию объемного заполнения пор Дубинина.

3. Исследования А.Г. Михайлова и И.И. Вашлаева доказали, что возможно использование микрофибры для поглощения влаги из грунта.

4. При обезвоживании тонкодисперсного сапропеля вероятно будет удаляться суспензия, а не свободная вода, как утверждается в некоторых исследованиях.

ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ САПРОПЕЛЯ

3.1 Организация экспериментальных исследований

При проведении эксперимента на машине по обезвоживанию сапропеля (рис.12, 13) к входным контролируемым, но неуправляемым переменным будут относиться:

- Свойства сапропеля (влажность, гранулометрический состав, физико-химические и биохимические свойства).

К переменным входным контролируемым и управляемым переменным будут относиться следующие факторы:

- Скорость движения ленты, м\с;
- Скорость подачи сапропеля на ленту, м\с;
- Скорость вращения обезвоживающих барабанов, м\с;
- Толщина слоя пористого материала (микрофибры), мм;
- Толщина слоя сапропеля на ленте, мм.

Учитывая основные недостатки технологического обеспечения работ по добыче сапропеля, автором была предпринята попытка создания инновационного продукта, позволяющего перейти на маломасштабную добычу сапропеля за счет использования вновь разрабатываемых образцов добычной техники. Основой для создания оборудования по обезвоживанию сапропеля послужили известные машины и комплексы для обезвоживания сапропеля, в которых обезвоживание происходит за счет гигроскопического эффекта пористого материала незамкнутой капиллярной структуры [65].

Была обоснована структура модуля механического обезвоживания сапропеля (рис.3.1-3.2) [65,97,95], рабочий орган которого рассматривается как система взаимосвязанных элементов, технические параметры которых функционально связаны между собой через геометрические форму и размеры последовательного ряда обезвоживающих барабанов, покрытых слоем пористого влагопоглощающего материала, и ленточного конвейера, при этом

скорость движения ленточного конвейера со слоем сапропеля и окружная скорость обезвоживающих барабанов согласованы.

В оборудовании (рисунок 3.1-3.3) реализована подача сапропеля на гибкую резиновую ленту с бортами через загрузочное приспособление. Далее сырье равномерно распределяется по всей ширине ленты с помощью мундштука коробчатой формы регулируемого сечения.

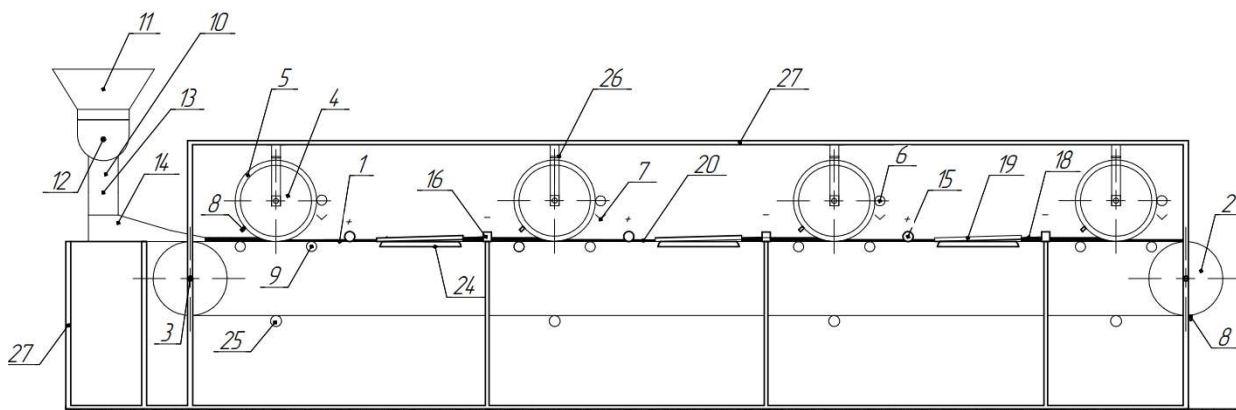


Рисунок 3.1 - Машина по обезвоживанию сапропеля (вид сбоку) [95]

1 – гибкая лента с бортами; 2 – приводной барабан; 3 – натяжной барабан; 4 – обезвоживающие барабаны; 5 – слой обезвоживающего материала; 6 – отжимной ролик; 7 – наклонный желоб; 8 – скребок; 9 – ролики; 10 – загрузочный отсек; 11 – дозатор; 12 – шнек; 13 – патрубок; 14 – мундштук; 15 – валик-контакт; 16 – рама; 17 – поворотный токопроводящий кронштейн; 18 – держатели; 19 – ножи-переворачиватели; 20 – слой сапропеля; 21 – прижимающее устройство; 22 – упругий элемент; 23 – демпфер; 24 – подпорная плита; 25 – роликоопоры; 26 – направляющие; 27 – несущая рама.

При движении ленты, находящийся на ее поверхности сапропель, в зоне между роликами, входит в контакт с обезвоживающими барабанами, покрытыми микрофиброй. Начинается процесс обезвоживания сапропеля. Часть обезвоженного сапропеля прилипает к слою микрофибры, и очищается с поверхности обезвоживающих барабанов с помощью скребка (или щетки) и возвращается обратно на ленту, а большая часть обезвоженного сапропеля продолжает движение к следующему обезвоживающему барабану.

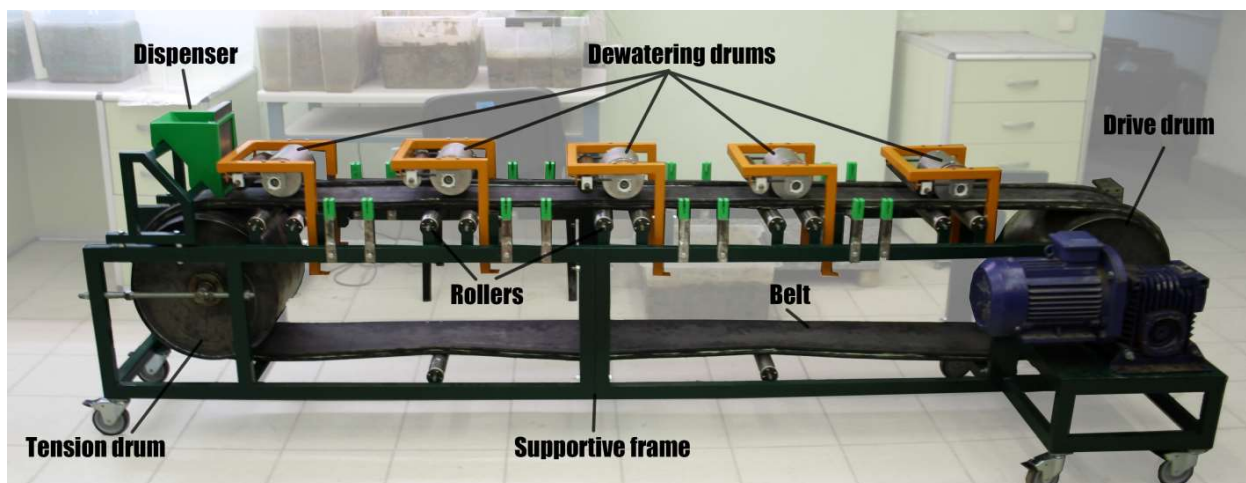


Рисунок 3.2 - Лабораторный стенд «Машина по обезвоживанию сапропеля»
(выполнено автором)

Поглощенная микрофиброй обезвоживающих барабанов влага отжимается с помощью перфорированного отжимного ролика (либо щеток) и отводится по наклонному желобу в накопительную емкость для отстаивания, а после отстаивания сбрасывается обратно в водоем.

Цилиндрическая поверхность обезвоживающих барабанов покрыта двумя слоями микрофибры (рисунок 3.4), изготовленной по ГОСТ Р 50962-96. Для внутреннего слоя покрытия барабанов применяли микрофибру плотностью 280 г/м², в качестве верхнего слоя использовали микрофибру плотностью 220 г/м². Внешний слой предотвращает загрязнение внутреннего, вследствие чего увеличивается его влагоемкость.



Рисунок 3.4 - Микрофибра до и после использования

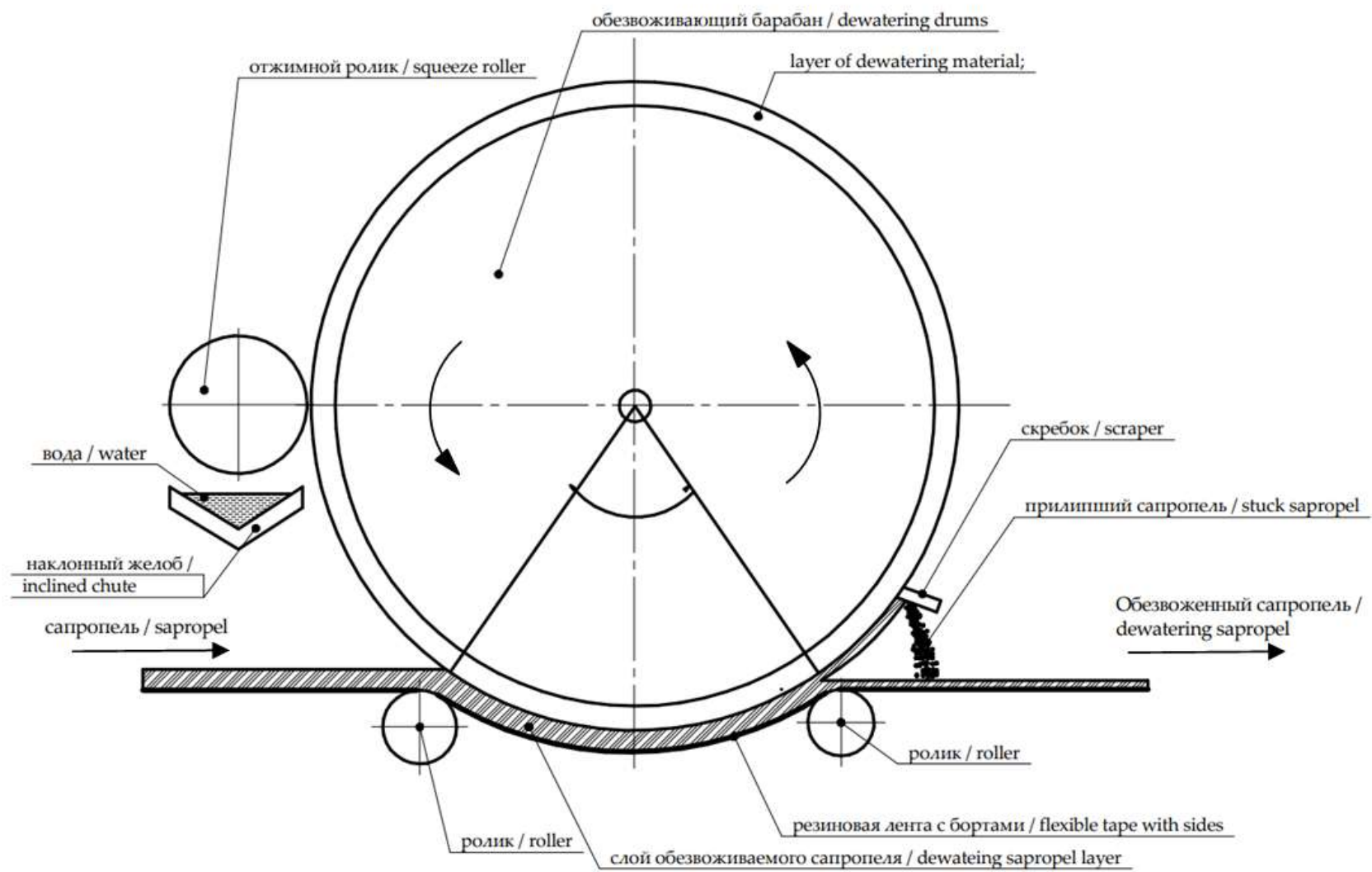


Рисунок 3.3 - Основные элементы машины по обезвоживанию сапропеля (выполнено автором)

В ходе эксперимента использовался сапрпель Савельевского месторождения, которое разрабатывает предприятие ООО «ЭКОВИТ». Названное месторождение разрабатывается предприятием ООО «Эковит» (рисунок 3.5), на котором производятся торфо-сапрпелевые удобрения. Максимальная производительность предприятия составляет 20 000 т/год. В процессе добычных работ и последующей переработки сохраняются все полезные свойства сапрпеля [17]. В едином непрерывном безотходном технологическом цикле получается расфасованная готовая экологически чистая продукция. Фасовка производится в мягкие контейнера от 10 л до 1 тонны.



Рисунок 3.5 - Общий вид объекта:

1 – озеро Савельево; 2 – магистральный пульпопровод; 3 – приемный бункер-накопитель; 4 – технологический цех производства торфо-сапрпелевого удобрения (Тентовый ангар 24x36 м)

Добыча сапропеля ведется с помощью плавучего земснаряда (МЗС-800П) с погружным грунтонасосным агрегатом, далее по пульпопроводу заполняют приемный бункер-накопитель объемом 500 м³. Из бункера-накопителя сапропель с влажностью более 90% подается в смеситель, где его перемешивают с измельченным (максимальный размер частиц – до 100 мкм) и высушенным до 28% влажности торфом [18]. Главным недостатком технологии является сушка торфа. Влажность торфа, поступающего на сушку в кинематический дезинтегратор, должна находиться в определенном диапазоне (40-55%), если не соблюдается такое условие, то на выходе получают бракованную продукцию или происходит возгорание торфа в кинематическом дезинтеграторе [17,18,75].

По результатам предварительных экспериментов был принят диапазон скорости движения ленты от 0,16 до 0,28 м/с. Угол охвата обезвоживающего барабана – 1,47 рад, температура в помещении – 21 °С. Для определения гранулометрического состава отбирались пробы сапропеля до обезвоживания и после последнего обезвоживающего барабана (2 параллельные пробы).

Пробы сапропеля отбирались для определения влажности после каждого обезвоживающего барабана в одноразовые емкости (по 3 параллельные пробы) (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Маркировка проб

Скорость движения ленты, м/с	Толщина слоя микрофибры, мм	Угол охвата ОБ лентой, рад	Толщина слоя сапропеля, мм	Температура, град. Цельсия	Начальная влажность сапропеля, %	Влажность сапропеля после 1-го ОБ, %	Влажность сапропеля после 2-го ОБ, %	Влажность сапропеля после 3-го ОБ, %
0,16	10	1,47	6	21	95	1.1 (7)	1.2 (7)	1.3 (7)
						1.1 (7)	1.2 (7)	1.3 (7)
						1.1 (7)	1.2 (7)	1.3 (7)
2.1 (9)						2.2 (9)	2.3 (9)	
2.1 (9)						2.2 (9)	2.3 (9)	
2.1 (9)						2.2 (9)	2.3 (9)	
0,22						3.1 (11)	3.2 (11)	3.3 (11)
						3.1 (11)	3.2 (11)	3.3 (11)
						3.1 (11)	3.2 (11)	3.3 (11)

Отбор проб производился по методике согласно ГОСТ 12071-2014 «Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов». Толщина слоя сапропеля - до 6 мм, толщина слоя обезвоживающего материала – 10 мм (2 мм – внешний слой, 8 мм – внутренний слой).

Определение массовой доли влаги в сапропеле термогравиметрическим методом проводилось в лаборатории научного центра «Экосистема» Санкт-Петербургского горного университета.

Для обоснования высокой гидрофильности сапропеля Савельевского месторождения были проведены дополнительные экспериментальные исследования, такие как силикатный анализ (проводился во Всероссийском научно-исследовательском геологическом институте им. А.П. Карпинского), диатомовый анализ (проводился в ФГБУ «ВНИИОкеангеология») и микробиологические исследования с помощью метагеномного анализа 16S рРНК в ресурсном центре Санкт-Петербургского государственного университета [33], также были выполнены посевы на питательные среды для установления таксонов микроорганизмов.

3.2 Оценка массовой доли влаги в исследуемых образцах сапропеля

Относительную влажность сапропеля рассчитывают как отношение массы влаги к массе влажного сапропеля, а абсолютную – как отношение массы влаги к абсолютно сухому веществу. В настоящее время, для определения влажности органических удобрений, в том числе и сапропеля (кроме торфа и торфопродукции), используют ГОСТ 26713-85 (Удобрения органические).

Для проведения анализа необходимы:

- Сушильный электрический шкаф или другое аналогичное оборудование (температура нагрева 105 – 110 °С, погрешность не более 2°С, ГОСТ 13474-79);
- Весы лабораторные 4 класса точности (предел взвешивания 500 г);

- Выпаривательные фарфоровые чаши (№ 1-4 для определения массовой доли влаги, № 5-6 для определения сухого остатка, ГОСТ 9147-80);
- Алюминиевые бюксы с крышками (высота – 40 мм, диаметр – 50 мм) для определения массовой доли влаги;
- Водяная баня (тип БКЛ или др.);
- Мешалка лабораторная (тип ЛМ или др.);
- Стеклянная палочка;
- Стаканчики для взвешивания (ГОСТ 25336-82).

Для начала выпаривательные чаши (или бюксы) высушивают при температуре 105 – 110 °С до постоянной массы, затем взвешивают (погрешность должна быть не более 0,1 г).

Для определения массовой доли навеску, массой 15 – 20 г., помещают ее в сушильный шкаф (или другое аналогичное оборудование), нагретый до 105 – 110 °С. Пробу высушивают в течении 5 часов, затем охлаждают 30 минут на воздухе, после взвешивают. Цикл операций продолжается до тех пор, пока разность двух последующих взвешиваний не превышает 0,1 г.

Массовую долю влаги определяют по формуле 3.1:

$$X = \frac{m_1 - m_2}{m} \cdot 100, \quad (3.1)$$

где m_1 – масса чаши со стеклянной палочкой и сухим остатком, г.;

m_2 – масса чаши со стеклянной палочкой, г.;

m - масса навески, г.

Допускаемые расхождения при массовой доле влаги до 30% - 0,3 %; 30 – 70 % - 1,0 %; 70 – 92 % - 1,2 %, более 92 % - 0,3 % [31].

В данной научно-исследовательской работе для определения влажности сапропеля предполагается использовать, вместо сушильного шкафа, термогравиметрический анализатор LECO TGA-701 (Рисунок 3.6)



Рисунок 3.6 - Термогравиметрический анализатор LECO TGA-701

Термогравиметрический метод заключается в следующем: по мере нагревания пробы фиксируют потерю массы, которая связана с десорбцией летучих компонентов, влаги, сгоранием органических веществ.

В состав анализатора входят:

- Печь нагрева;
- Встроенные электронные весы;
- Поворотный стол (на 19 проб);
- Управляющий компьютер.

При работе на термогравиметрическом анализаторе LECO TGA-701 одновременно можно проводить анализ 19 проб. Прибор выполняет анализ автоматически. Результат анализа отображается в числовой и графической форме на мониторе компьютера.

Результаты анализа относительной и абсолютной влажности и влагосодержания сапропеля приведены в таблицах 3.2 и 3.3. На рисунке 3.7. показан сапропель 65% влажности.

Таблица 3.2 – Значения относительной влажности сапропеля после обезвоживающих барабанов при различных скоростях движения ленты.

Скорость движения ленты, м/с	Толщина слоя микрофибры, мм	Угол охвата ОБ лентой, рад	Толщина слоя сапропеля, мм	Температура, град. Цельсия	Начальная влажность сапропеля, %	Влажность сапропеля после 1-го ОБ, %	Влажность сапропеля после 2-х ОБ, %	Влажность сапропеля после 3-х ОБ, %
0,16	10	1,47	6	21	93-97	83,21	74,9	66,04
						84,45	75,53	65,41
						84,9	75,25	65,6
0,22						87,07	77,02	68,12
						86,71	78,26	69,62
						86,56	78,28	68,65
0,28						89,12	82,75	74,63
						89,85	83,51	75,15
						89,62	82,39	74,05

Таблица 3.3 – Значения абсолютной влажности сапропеля после обезвоживающих барабанов при различных скоростях движения ленты.

Скорость движения ленты, м/с	Толщина слоя микрофибры, мм	Угол охвата ОБ лентой, °	Толщина слоя сапропеля, мм	Температура, град. Цельсия	Начальная влажность сапропеля, %	Влажность сапропеля после 1-го ОБ, %	Влажность сапропеля после 2-го ОБ, %	Влажность сапропеля после 3-го ОБ, %
0,16	10	1,47	6	21	1438,46	495,59	298,41	194,46
						543,09	308,66	189,10
						562,25	304,04	190,70
0,22						673,40	335,16	213,68
						652,45	359,98	229,16
						644,05	360,41	218,98
0,28						819,12	479,71	294,17
						885,22	506,43	302,41
						863,39	467,86	285,36



Рисунок 3.7 - Сапропель 65-66 % влажности.

3.3 Оценка гранулометрического состава исследуемых образцов сапропеля

Гранулометрический состав – весовое содержание частиц различной крупности, которое выражается процентным отношением к массе сухой пробы, взятой еще до анализа. В настоящее время чаще всего для определения гранулометрического состава грунтов используется метод лазерной дифрактометрии. Лазерный луч отклоняется на определенный угол при отражении от частиц разного размера. На основе интерференционной картины делают выводы о гранулометрическом составе.

Данная методика определения гранулометрического состава позволяет анализировать не только сухие образцы или в виде пасты, но и образцы естественной влажности.

Перед анализом пробу перемешивают и подвергают ультразвуковой обработке, чтобы вернуть частицы в состояние первичной дисперсности.

Результаты анализа предоставляются в виде таблицы и графиков дифференциального распределения частиц в зависимости от их крупности и интегральных кривых.

В центре коллективного пользования Горного университета находится лазерный анализатор модели SALD-2300 SHIMADZU (Япония), на котором анализировался гранулометрический состав сапропеля [6].

Исследовался гранулометрический состав сапропеля естественной влажности (93-97%) и сапропеля 65-66% влажности. Было отобрано по две параллельные пробы, выполнен сравнительный анализ гранулометрического состава сапропеля до и после его обезвоживания. Результаты анализа приведены в таблицах 3.4 и 3.5.

Таблица 3.4 - Содержание различных фракций в образцах сапропеля естественной влажности Савельевского месторождения

Проба 1			
Наименование фракции	Размер фракции, мм		% содержание
	от	до	
Песчаная	0,05	2	-
Пылеватая	0,002	0,05	61,1
Глинистая	<0,002		38,9
Коллоидная	<0,0002		-
Проба 2			
Наименование фракции	Размер фракции, мм		% содержание
	от	до	
Песчаная	0,05	2	0,1
Пылеватая	0,002	0,05	58,1
Глинистая	≤0,002		41,8
Коллоидная	≤0,0002		-

Таблица 3.5 - Содержание различных фракций в образцах сапропеля Савельевского месторождения после обезвоживания (влажность 61-65%)

Проба 1			
Наименование фракции	Размер фракции, мм		% содержание
	от	до	
Песчаная	0,05	2	27,38
Пылеватая	0,002	0,05	72,30
Глинистая	<0,002		0,33
Коллоидная	<0,0002		-
Проба 2			
Наименование фракции	Размер фракции, мм		% содержание
	от	до	
Песчаная	0,05	2	20,58
Пылеватая	0,002	0,05	78,95
Глинистая	≤0,002		0,47
Коллоидная	≤0,0002		-

Согласно классификации, которая разработана в инженерной геологии Охотиным В.В. (применима в настоящее время), сапропели относят к пылеватым глинам, содержание глинистой фракции превосходит 30%, в условиях при отсутствии органической составляющей и диатомовых водорослей, влажность таких грунтов не превышала бы 40%.

Повышенная влажность обеспечивается органической составляющей биогенного и абиогенного генезиса. Содержание биогенной органики (по данным прокаливанию) не превышает 32%. При этом необходимо отметить, что такая органика не образует свободной фазы в сапропеле, а присутствует в виде органических пленок на минеральных частицах, в противном случае при использовании метода лазерной дифрактометрии при определении гранулометрического состава была бы выделена коллоидная фракция размером менее 0,0001 мм.

Такие органические пленки на твердых частицах обычно формируются совместно с микробными (био пленки) и трудно отделяются от минерального зерна. Согласно исследованиям Звягинцева Д.Г. (профессора микробиологии МГУ) отделение пленок начиналось в центрифугах при ускорении свыше 5000g (Биология почв, 2005).

3.4 Качественный и количественный анализ сапропелевого сырья

3.4.1 Силикатный анализ

Для определения количества органического вещества используют ГОСТ 26714-85, который распространяется на органические удобрения. Согласно настоящему стандарту для определения органического вещества может быть использован термогравиметрический метод. После прокаливания пробы органического удобрения при температуре 800 °С определяют потерю его массы.

Для того чтобы определить массовую долю органического вещества, необходимо использовать сухой остаток навески после определения влажности сапропеля. Для проведения анализа сухой остаток тщательно перемешивают, затем не менее чем из 5 точек, отбирают навеску, масса которой составляет 3 г. Погрешность взвешивания должна быть не более 0,001 г.

Для проведения анализа необходимы:

- Муфельная печь, которая обеспечивает постоянную температуру нагрева порядка 1000 °С;
- Лабораторные весы 2-го класса точности (наибольший предел взвешивания – 200 г.);
- Эксикатор исполнения;
- Тигли фарфоровые №1 (или низкие, ГОСТ 9147-80);
- Щипцы тигельные.

Перед проведением анализа фарфоровые тигли прокаливают в печи при 800 °С до постоянной массы и взвешивают. Затем навески помещают в эти в

фарфоровые тигли. Муфельную печь постепенно нагревают до 800 °С и прокаливают при этой температуре 2 часа. Оставшийся зольный осадок охлаждают в открытой муфельной печи, затем 30 минут в эксикаторе и взвешивают. Последующие взвешивания проводят в течение часа и 30-ти минутного охлаждения после озоления. Цикл операций продолжается до тех пор, пока разность двух последующих взвешиваний не превышает 0,01 г.

Массовая доля органического вещества определяется по формуле 3.2 (в пересчете на С, в %):

$$X = (100 - A) \cdot 0,5, \quad (3.2)$$

где A – массовая доля золы, %;

0,5 – коэффициент для перевода на углерод.

Массовую долю золы определяют по формуле 3.3:

$$X = \frac{m_1 - m_2}{m} \cdot 100, \quad (3.3)$$

где m_1 – масса тигля после озоления с навеской, г.;

m_1 – масса тигля, г.;

m – масса навески, г.

Допускаемые расхождения при массовой доле влаги от 5 до 12 % - 0,3 %; 12 – 20 % - 0,5 %; более 20 % - 1,0 %.

Результатом считается среднее арифметическое двух параллельных определений.

Допускаемые расхождения при массовой доле влаги до 20 % - 1,0 %; 20 – 40 % - 0,8 %; свыше 40 % - 0,5 % [34].

Результаты силикатного анализа сапропеля естественной влажности приведены в таблице 3.6

Таблица 3.6 – Содержание оксидов в сапропелях Савельевского месторождения

Определяемые оксиды	Проба		Примечания
	1	2	
SiO ₂ %	38,520	36,040	Также было определено содержание V, Cr, Ba и ППП (потери при прокаливании). ППП характеризуют количественное содержание органического вещества и варьируются в узком интервале (31,4 – 32,4%)
CaO %	22,340	23,610	
Al ₂ O ₃ %	3,470	3,580	
Fe ₂ O ₃ общ %	1,329	1,397	
MgO %	1,088	1,164	
K ₂ O %	0,928	0,924	
Na ₂ O %	0,252	0,303	
P ₂ O ₅ %	0,105	0,104	
MnO %	0,090	0,094	

3.4.2 Диатомовый анализ

В образцах сапропелей был определен пресноводный диатомовый комплекс, состоящий из 23 видов, также обнаружены цисты золотистых водорослей. Сохранность створок диатомей была неодинаковой, некоторые виды представлены фрагментами, поэтому их удалось определить только до рода (например, *Nitzschia* sp. 1). Диатомовые водоросли позволяют нам определить палеоэкологию формирования донных отложений, основываясь на анализе литературных источников [19,98].

В диатомовом комплексе образцов сапропеля доминируют планктонные диатомеи *Aulacoseira islandica* (43% от общего состава комплекса), субдоминанта – бентосный вид, обрастатель *Staurosira venter* (25%), в числе сопутствующих видов – бентосные виды, обрастатель *Cocconeis placentula* (7%), донный *Sellaphora pupula* (4%), донный *Navicula radiosa* (3%), обрастатель *Encyonema silesiacum* (2%), донный *Navicula cryptocephala* (2%) и другие (рисунок 3.8) [98].

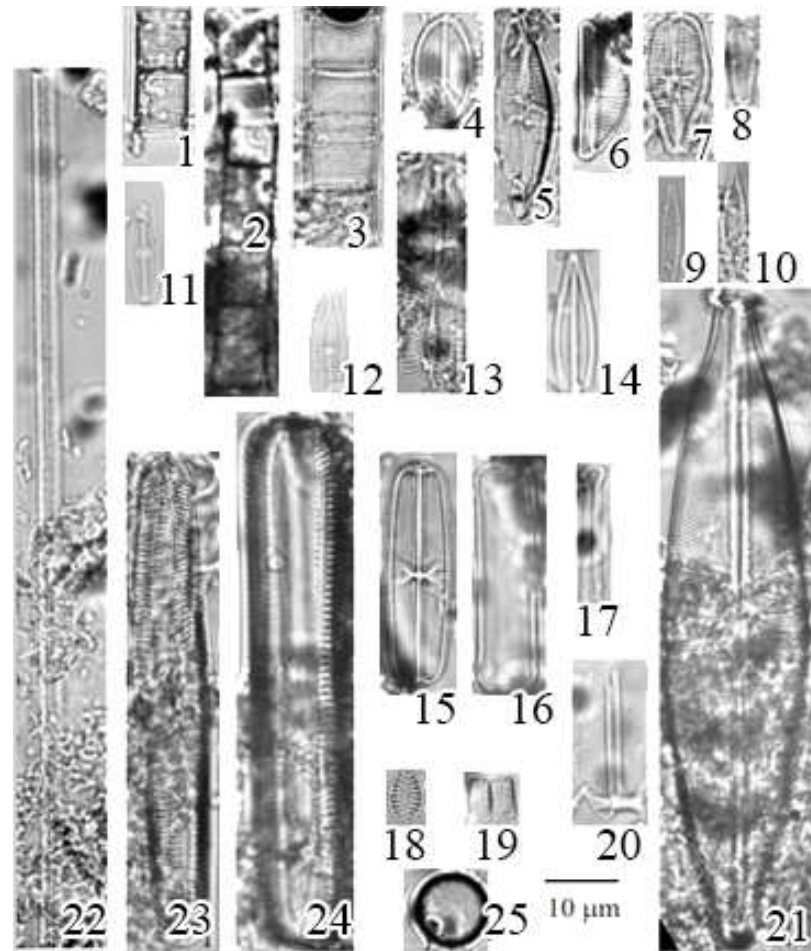


Рисунок 3.8 – Таблица микрофотографий диатомовых водорослей образца сапропеля

1-*Aulacoseira* sp., 2-3 – *Aulacoseira islandica* (O. Müller) Simons; 4 – *Cocconeis placentula* Ehrenberg; 5-6 – *Encyonema silesiacum* (Bleish) D.G. Mann; 7 – *Gomphonema constrictum* var. *Capitata* (Ehrenberg) Cl.; 8 – *G.* Sp.; 9 – *Pseudostaurosira* sp.1; 10 – *P.* Sp. 2; 11 – *Psammothidium* sp.; 12- *Navicula* sp.; 13 – *N. Radosa* Kützing; 14 – *N. Cryptocephala* Kützing; 15-16 – *Sellaphora pupula* (Kützing) Mer.; 17 – *Tabellaria 73enestrata* (Lyngb.) Kützing; 18-19 – *Staurosira venter* (Ehrenberg) Cl. Et Möller; 20 – *Stauroneis anceps* Ehrenberg; 21 – *S. phoenicenteron* (Nitzsch.) Ehrenberg; 22- *Ulnaria ulna* (Nitzsch.) P. Compère; 23-24 – *Pinnularia microstauron* (Ehrenberg) Cl.; 25 – циста золотистых водорослей.

Микробиологические исследования, в которые входит диатомовый анализ, дают возможность объяснить повышенное влагосодержание сапропелей и их водоудерживающую способность.

Диатомовые водоросли, створки раковин которых состоят из биогенного кремнезема, обычно характеризуются весьма высокой влажностью, как, например, озерные диатомовые илы Кольского полуострова, имеющие аномально высокую влажность (5000-6000%). Если прибегнуть к методу аналогии и проанализировать влияние присутствия диатомей на влагосодержание, то в качестве примера можно привести сапропели пресного озера Имандра, в которых содержание тонкодисперсной части до 30% диатомей обеспечивало повышение влажности практически до 100%, что согласуется с влажностью сапропелей Савельевского месторождения [44,78].

Следует отметить, что присутствуют крупные створки диатомовых водорослей, которые по размеру могут быть приравнены к песчаным частицам.

3.4.3 Микробиологические исследования сапропелевого сырья

Профессором Власовым Д.Ю. были выполнены посевы на питательных средах образцов сапропеля для выявленных таксонов микроорганизмов и их численности. Определены аммонифицирующие бактерии в количестве 10^6 - 10^7 колониобразующих единиц (КОЕ) на грамм субстрата, сульфатредуцирующие бактерии 10^4 - 10^5 КОЕ на грамм субстрата, железоредуцирующие – 10^4 - 10^5 КОЕ на грамм субстрата, микромицеты обнаружены единично, преобладали анаэробные микроорганизмы. Наличие аммонифицирующих бактерий весьма благоприятно для сельского хозяйства, так как генерация аммония способствует плодородию почв из-за хорошей усвояемости азота в форме NH_4^+ , которая входит в состав мочевины.

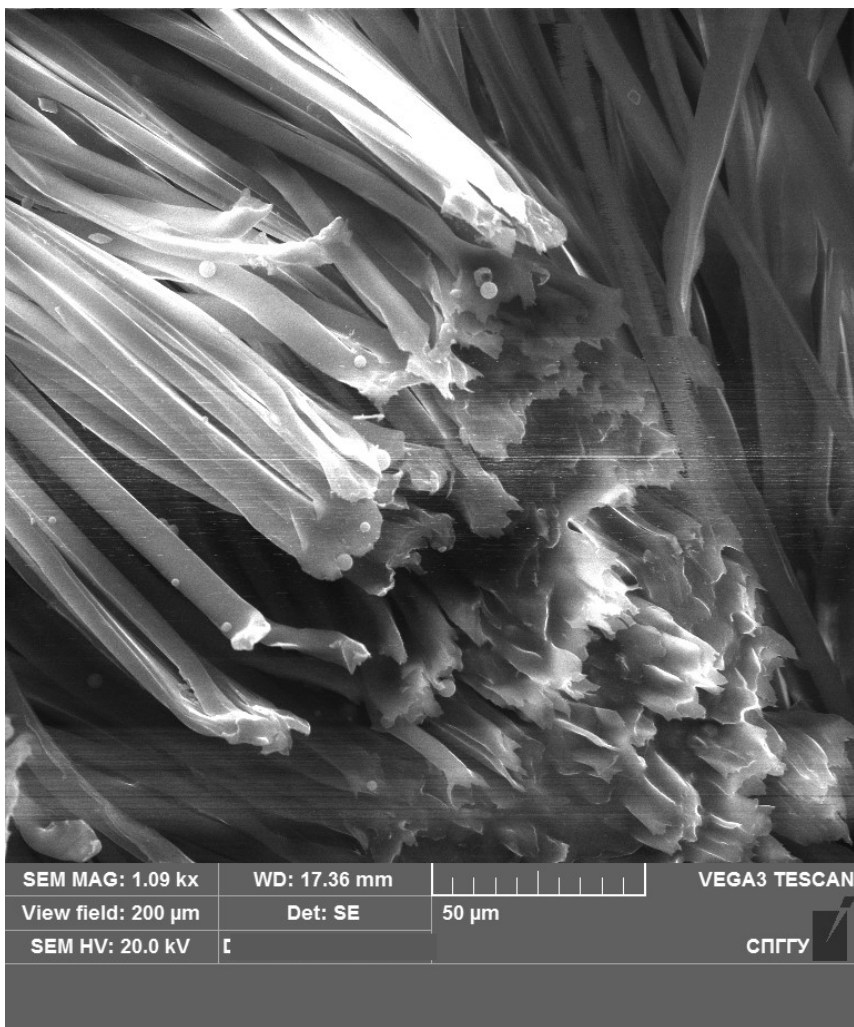
Исходя из результатов метагеномного анализа (по последовательности гена 16S рРНК) можно сделать вывод о том, что сапропель достаточно разнообразен по составу микробиома. Большую часть микробиома составляют бактерии, отмечается небольшое присутствие архей (3%). Среди бактерий преобладает класс Gammaproteobacteria (37%). Некоторые бактерии из этого класса имеют большое экологическое и медицинское значение. Среди

представителей Gammaproteobacteria отмечены анаэробные формы – сульфатредуцирующие бактерии.

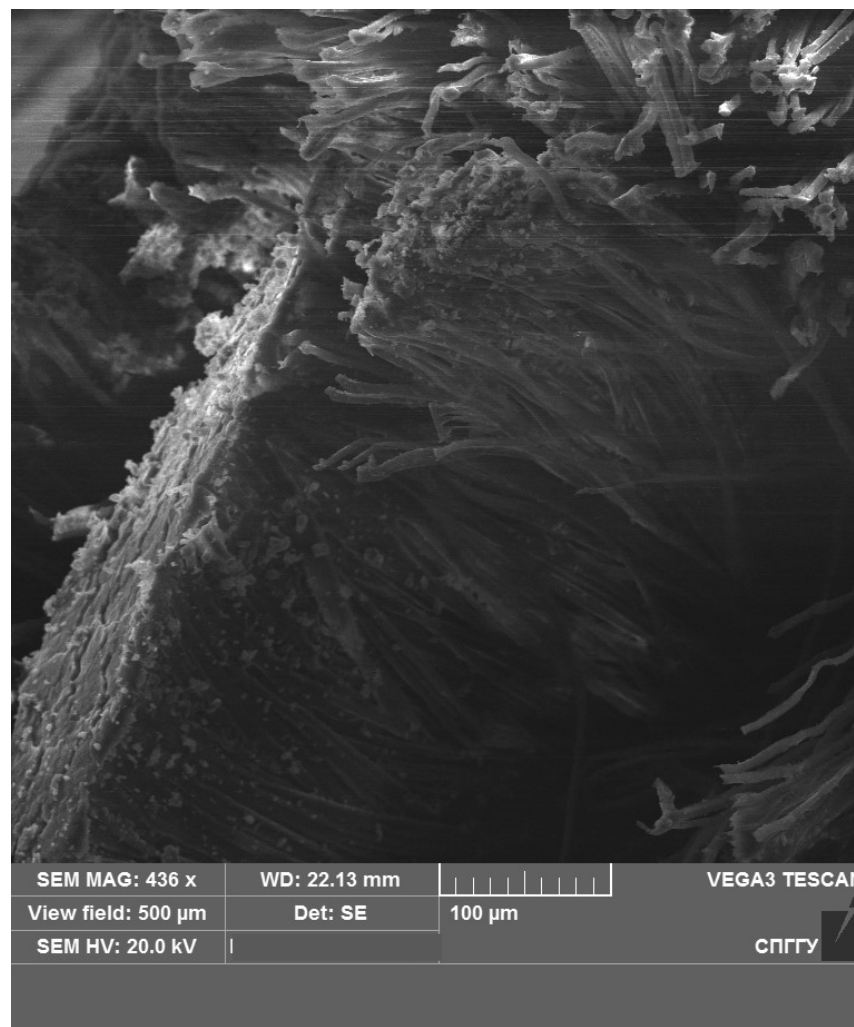
Следующий по численности класс Alphaproteobacteria (12%), который включает микроорганизмы с разными путями метаболизма. В него входят, например, уксуснокислые (ацетатные) бактерии, метилотрофы, а также бактерии, способные к спиртовому брожению. К подклассу Alphaproteobacteria относят Sphingomonadaceae (около 3% микробиома), которые способны развиваться в широком диапазоне условий (вода, почва, органические отложения), обладают высокой антагонистической активностью в отношении некоторых микроорганизмов. Некоторые виды сфингомонад известны способностью разлагать ароматические соединения, что делает их перспективными в биоремедиации. Выявленный в составе семейства род Sphingomonas выделяет во внешнюю среду экзополисахариды с высокой вязкостью. Это свойство имеет значение в формировании микробных биопленок. Благодаря этому свойству данные бактерии считаются перспективными для использования в промышленной микробиологии. Большинство представителей данной группы не является патогенами. На долю неидентифицированных бактерий приходится около 18% микробиома сапротеля, кроме того в пробе присутствуют диатомовые и золотистые водоросли, наличие которых специально изучалось в ФГБУ «ВНИИОкеангеология».

3.5 Анализ образцов микрофибры, использованных в экспериментальных исследованиях

Методом электронной микроскопии получены фотографии микроволокнистой структуры микрофибры до и после ее использования (рисунки 3.9-3.11). Наибольшему загрязнению подвергается внешняя сторона микрофибры, внутренняя сторона содержит незначительное загрязнение. После использования влагопоглощающий материал очищали путем промывки. Техническое обслуживание барабана предусматривает промывку его обезвоживающего слоя каждые 150 ч.

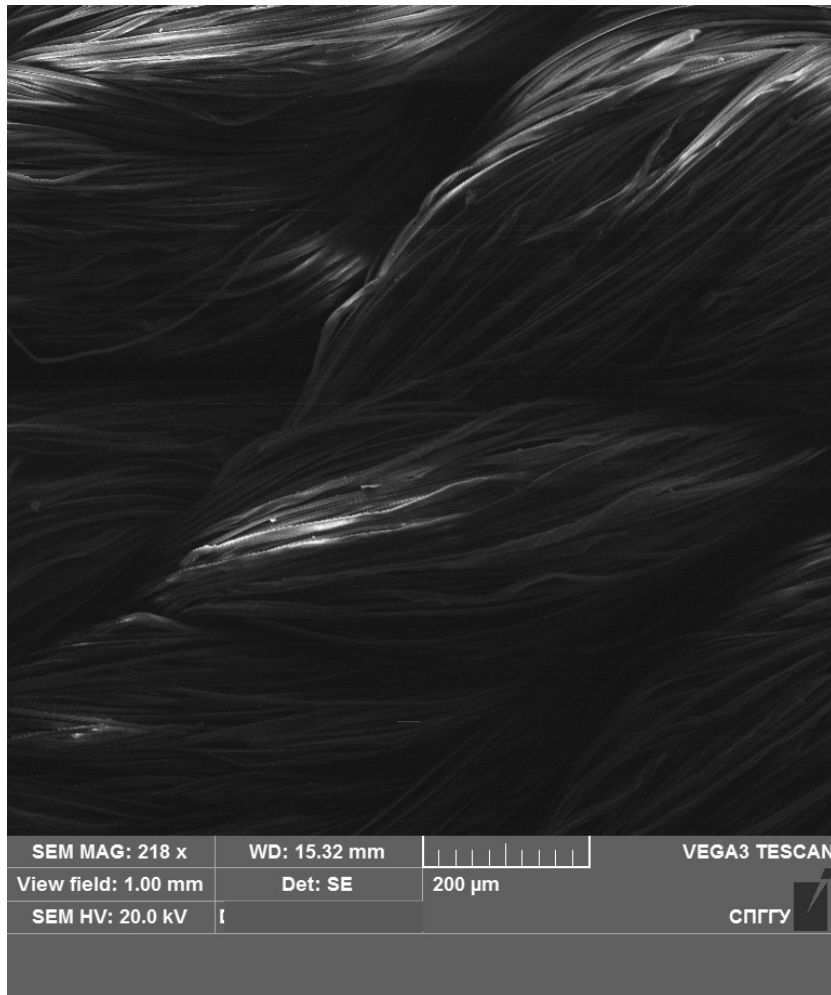


до использования (увеличение 1009х)

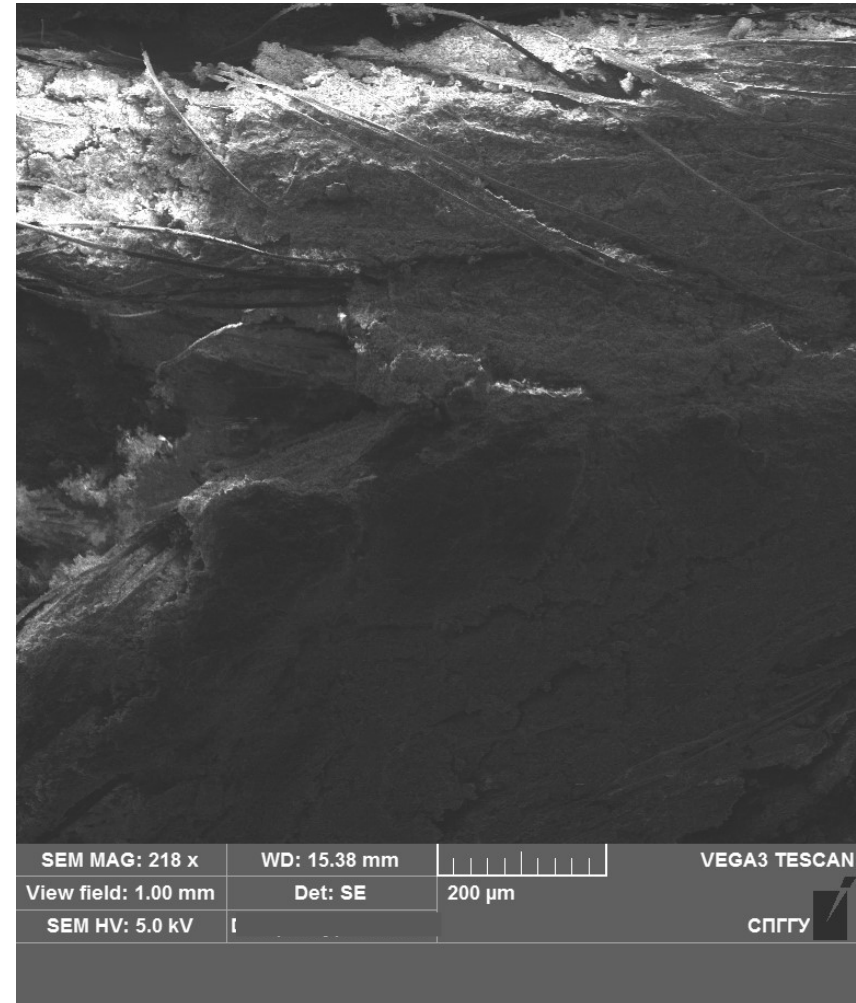


после использования (увеличение 436х)

Рисунок 3.9 – Микрофибра до и после использования

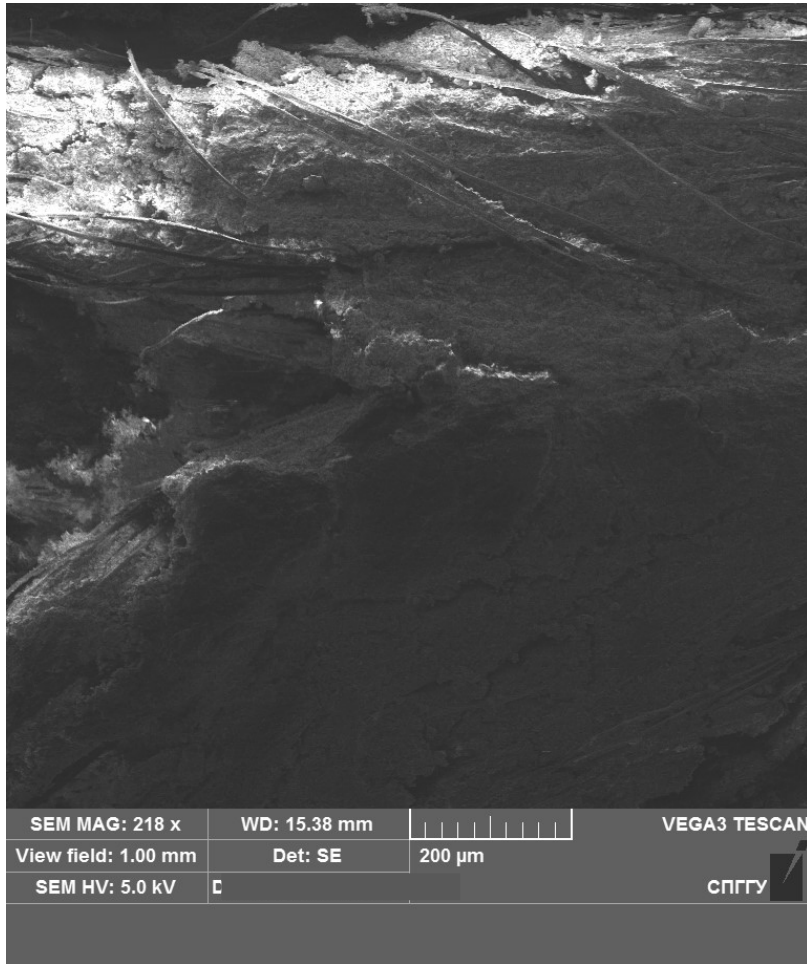


до использования (увеличение 218x)

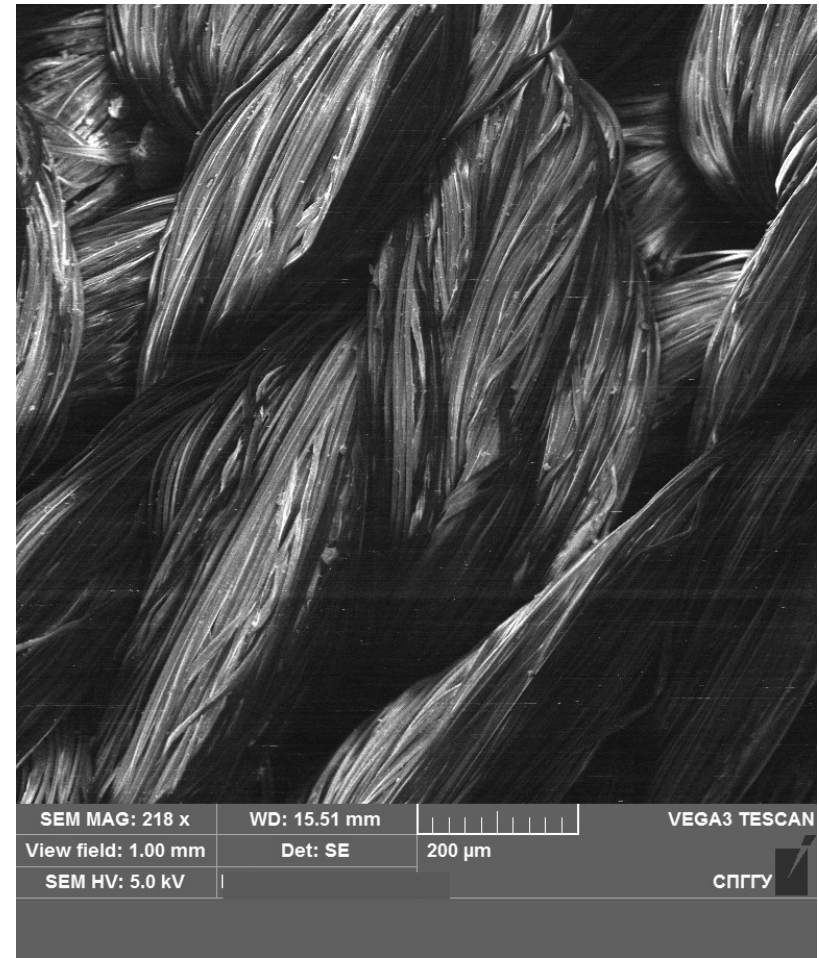


после использования (увеличение 218x)

Рисунок 3.10 – Микрофибра до и после использования



после использования (внешняя сторона, увеличение 218x)



после использования (внутренняя сторона, увеличение 218x)

Рисунок 3.11 – Микрофибра после использования

3.6 Обобщенные результаты экспериментальных исследований

На основе экспериментальных данных влажности сапропеля (таблицы 3.2-3.3) были рассчитаны количество влаги в сапропеле после каждой стадии обезвоживания (табл.3.7) и количество отжатой влаги после каждой стадии (табл.3.8), получена зависимость коэффициента интенсивности обезвоживания сапропеля от времени его контакта с поверхностью микрофибры (рис.3.12).

Таблица 3.7 – Количество влаги в сапропеле после каждой стадии обезвоживания

Скорость движения ленты, м/с	Начальная Масса воды, г	Масса навески, г	Масса воды после 1-го ОБ, г	Масса воды после 2-го ОБ, г	Масса воды после 3-го ОБ, г
0,16	9,35	10,00	8,32	7,49	6,60
			8,45	7,55	6,54
			8,49	7,53	6,56
0,27			8,71	7,70	6,81
			8,67	7,83	6,96
			8,66	7,83	6,87
0,36			8,91	8,28	7,46
			8,99	8,35	7,52
			8,96	8,24	7,41

Таблица 3.8– Количество отжатой влаги после каждой стадии обезвоживания

Скорость движения ленты, м/с	Масса отжатой влаги после 1-го ОБ, г	Масса отжатой влаги после 2-го ОБ, г	Масса отжатой влаги после 3-го ОБ, г
0,16	1,03	1,86	2,75
	0,91	1,80	2,81
	0,86	1,83	2,79
0,27	0,64	1,65	2,54
	0,68	1,52	2,39
	0,69	1,52	2,49
0,36	0,44	1,08	1,89
	0,37	1,00	1,84
	0,39	1,11	1,95

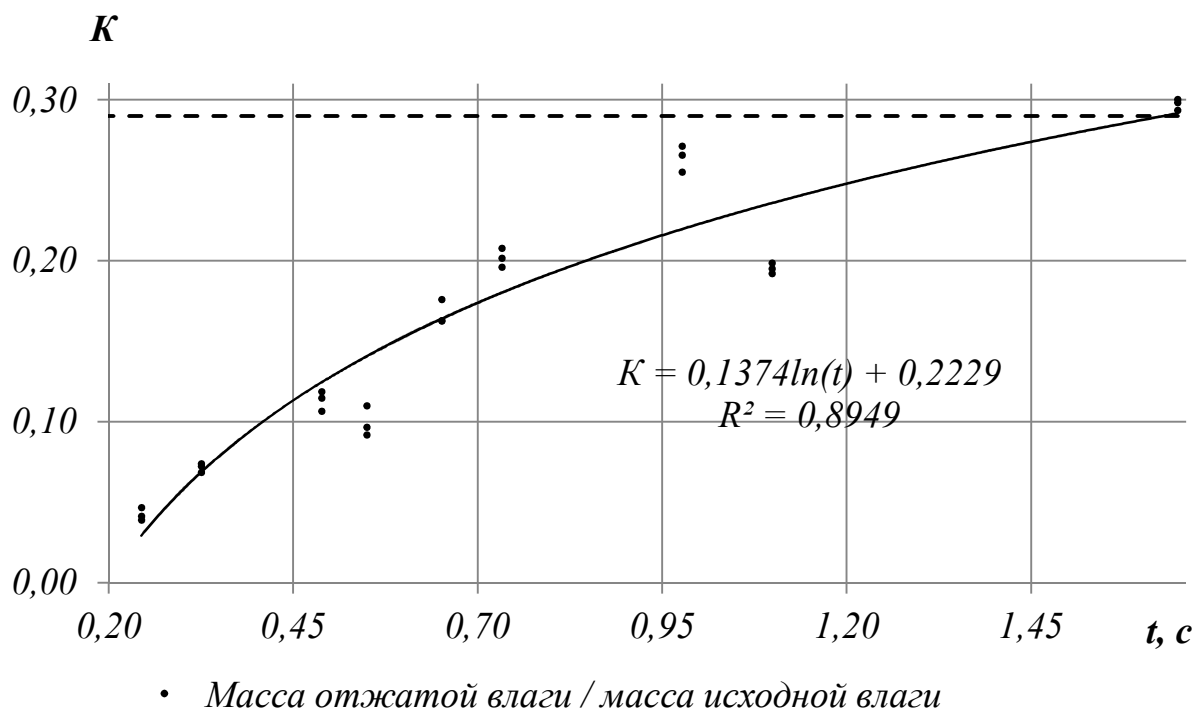


Рисунок 3.12 - Коэффициент относительной скорости потери влаги

Согласно графику изменения коэффициента интенсивности обезвоживания сапропеля от времени его контакта и поверхности микрофибры для достижения влажности 65 % время контакта составляет до 2 с. Полученная эмпирическая зависимость позволяет выполнить взаимную увязку конструктивных и режимных параметров работы оборудования по обезвоживанию сапропеля при его проектировании, а также может быть использована как основа при экономическом обосновании вновь организуемых производств.

На микрофотографиях (рис.3.10-3.12) видно, что при обезвоживании сапропеля микрофибра загрязняется частицами диаметром не более 5 мкм. Диаметр нити используемой микрофибры не более 5 мкм, при этом нить составлена из нескольких микроволокон.

Как уже отмечалось ранее, внешний слой футеровки обезвоживающих барабанов представляет из себя микрофибра с гладкой поверхностью (220 г/м²). Наибольшему загрязнению подвергается внешняя сторона микрофибры, обратная сторона содержит незначительное загрязнение (рисунок 3.11).

Проанализировав структуру микрофибры, можно сделать вывод, что поры имеют щелевидную форму, а скрученные микроволокна, составляющие нити, создают не только капиллярный, но и фитильный эффект, что улучшает способность микрофибры поглощать влагу из сапропеля.

3.7 Выводы по Главе 3

1. Гидрофильность сапропелей, определяющая возможность их обезвоживания, зависит от вещественного состава, биогенного и абиогенного генезиса.

2. На основании силикатного и диатомового анализов сапропель Савельевского месторождения согласно ГОСТ Р 54000-2010 можно классифицировать как органо-глинистый с содержанием органического вещества $\approx 32\%$, а используя классификацию Рубинштейна А.Я., в которой выделены разновидности биогенных грунтов, сапропель можно отнести к среднеминерализованному кремнеземистому типу, при этом часть кремнезема представлена биогенным SiO₂, который имеет максимальную водоудерживающую способность.

3. Исходя из результатов сравнительного анализа гранулометрического состава сапропеля до и после его обезвоживания можно сделать вывод, что обезвоживание сапропеля сопровождается изменениями гранулометрического состава в сторону его укрупнения. Это объясняется тем, что вместе с влагой уходит часть фракции размером от 2 до 50 мкм и происходит коагуляция более мелких частиц связанная со снижением влажности.

4. Экспериментально установлено, что изменение коэффициента интенсивности обезвоживания сапропеля от времени контакта ряда

обезвоживающих барабанов со слоем сапропеля описывается логарифмической функцией, при времени контакта до 2 с, влагосодержание сапропеля снижается на 90% (с 19 до 1,9 кг/кг).

5. В случае, если в получаемом продукте важно сохранение фракции 2-50 мкм, следует перед подачей сапропеля на линию обезвоживания предварительно добавлять в сырье флокулянт, подбор которого является задачей отдельного исследования.

ГЛАВА 4 ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ САПРОПЕЛЯ.

Разрабатываемое оборудование устанавливается в цехе, расположенном на борту карьера, в который сапропель, добываемый с помощью земснаряда, транспортируется по пульпопроводу. Оборудование по механическому обезвоживанию питается из демпферной емкости, что обеспечивает равномерность его загрузки и возможность, в случае необходимости, планового технического обслуживания и ремонта без остановки основного технологического процесса добычи сапропелевого сырья.

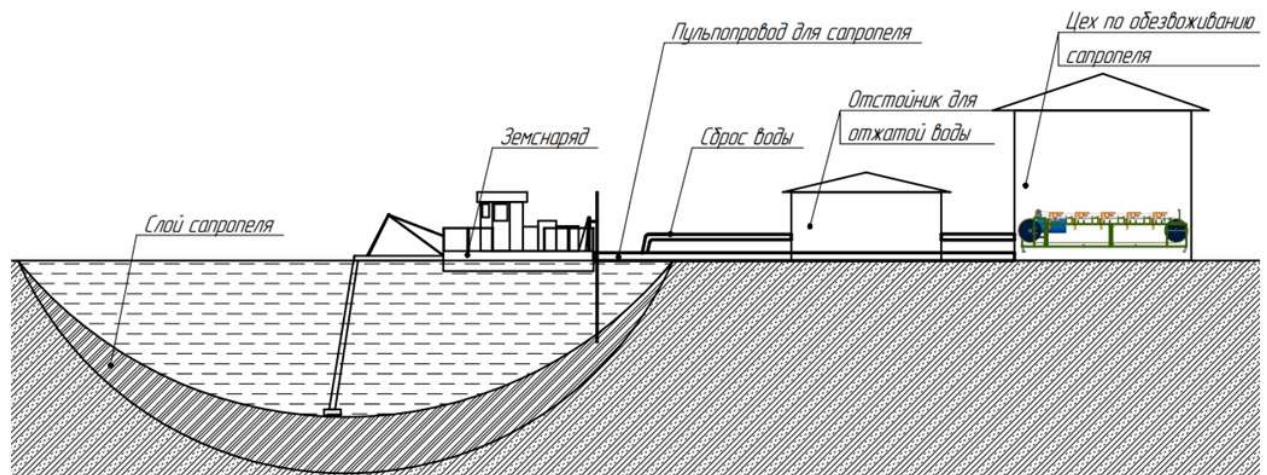


Рисунок 4.1 – Предлагаемая схема добычи и переработки сапропеля с применением разработанного оборудования по механическому обезвоживанию.

Отличительной особенностью разрабатываемого оборудования и предложенной геотехнологии является возможность добычи и обезвоживания сапропеля в зимний период. В условиях зимнего сезона добычи сапропеля для транспортирования сырья в цех по обезвоживанию следует использовать подогреваемый пульпопровод, а готовую продукцию складировать на отапливаемом складе.

4.1 Методика расчёта и выбора основных параметров оборудования механического обезвоживания сапропеля

При рассмотрении процесса взаимодействия элементов оборудования по обезвоживанию сапропеля с сырьем время контакта поверхности микрофибры и сапропеля будет соответствовать времени, за которое точка A на поверхности барабана пройдет расстояние L равное длине сектора охвата барабана лентой (рисунок 4.2; формула 4.1). По значению линейной скорости ленты v определяется угловая скорость точки и барабана при известном его радиусе r при условии его не проскальзывания относительно ленты.

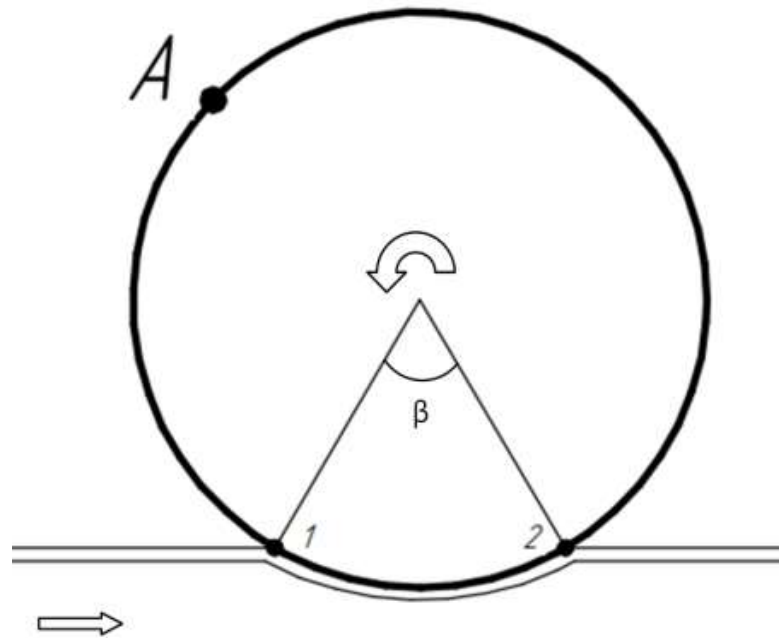


Рисунок 4.2 - Схема движения точка A при работе машины по обезвоживанию сапропеля.

Время контакта T поверхности микрофибры и слоя сапропеля (формула 4.2) зависит от угла охвата обезвоживающего барабана β лентой и скорости движения ленты v .

$$L = \pi r \beta^\circ / 180^\circ = r \beta_{\text{рад}}, \quad (4.1)$$

где L – расстояние равное дуге окружности, контактирующей за этот период с лентой и сапропелем, находящемся на ней, м;

r – радиус обезвоживающего барабана, м;

β° и $\beta_{\text{рад}}$ – угол охвата обезвоживающего барабана лентой, градусы и радианы.

$$T = r\beta_{\text{рад}}/v, \text{ с.} \quad (4.2)$$

Рациональное время контакта обеспечивается путем регулирования скорости движения ленты при постоянных значениях сектора охвата лентой обезвоживающего барабана, толщины слоя сапропеля на ленте a и толщины слоя микрофибры h .

Изменяя угол охвата барабана β при постоянных значениях скорости движения конвейерной ленты v толщины слоя сапропеля на ленте a и толщины слоя влагопоглощающего материала h , можно достичь требуемого времени контакта, однако необходимо учитывать несколько условий. Угол охвата зависит от характеристик конвейерной ленты и свойств сапропеля. Величина угла охвата первого обезвоживающего барабана при скорости движения ленты более 0,05 м/с должна быть не более 15° , во избежание выдавливания влажного сапропеля с ленты.

Согласно результатам экспериментальных исследований (рисунок 4.3), при скорости движения ленты 0,16 м/с требуется установить 3 обезвоживающих барабана для доведения сапропеля до 65 % влажности, которая достигается при значении коэффициента интенсивности обезвоживания сапропеля – 0,29, а при скорости 0,28 м/с количество обезвоживающих барабанов должно быть увеличено до семи.

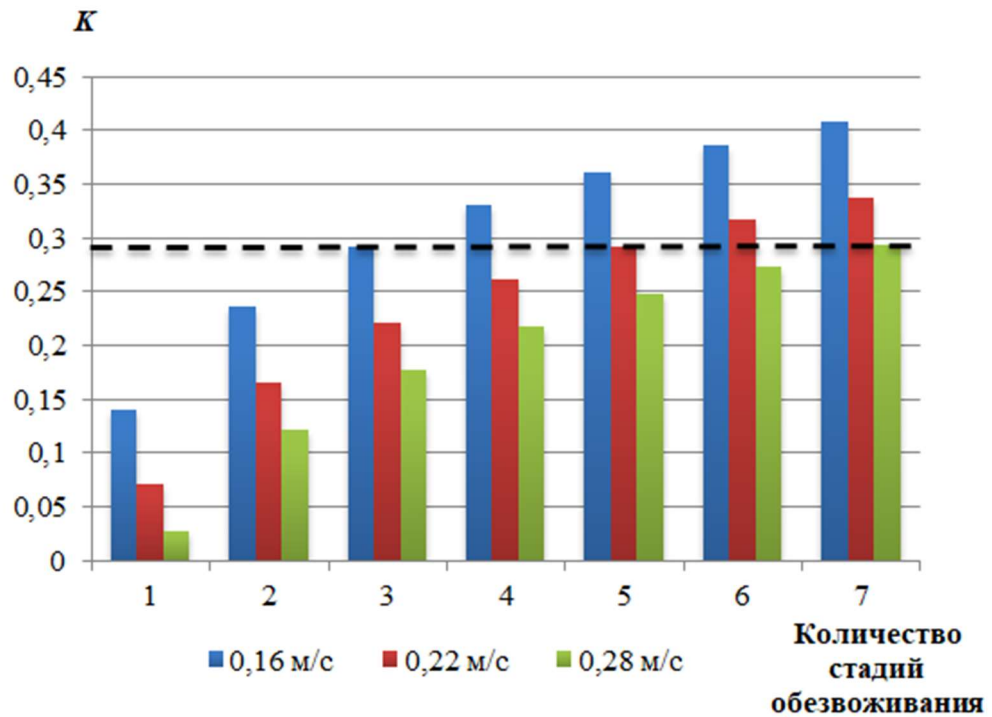


Рисунок 4.3 – Значение коэффициента интенсивности обезвоживания сапропеля при различных скоростях и при различном количестве стадий обезвоживания.

4.2 Параметры ленточного конвейера оборудования по механическому обезвоживанию сапропеля

4.2.1 Обоснование ширины ленты и параметров приводного, натяжного барабанов и обезвоживающих барабанов

Одним из основных параметров конвейера, влияющих на производительность установки по механическому обезвоживанию, является ширина применяемой конвейерной ленты (формула 4.6).

$$B_p = 1,1 \left(\sqrt{\frac{Q}{C\vartheta K\beta}} + 0,05 \right) \leq B, \quad (4.6)$$

где B_p и B – расчетная и принятая по технической характеристике ширина ленты, м;

C – коэффициент, зависящий от угла наклона конвейера к горизонту, угла естественного откоса груза в покое и желобчатости ленты, характеризуемой углом наклона боковых роликов роликоопор верхней ветви ленты;

Q – техническая производительность конвейера, м³/ч, т/ч ($Q \geq Q_p$);

ϑ – скорость движения ленты, м/с;

K_β – коэффициент, учитывающий снижение высоты насыпки груза при использовании наклонных конвейеров.

Ширина обезвоживающего барабана принимается равной ширине конвейерной ленты, а диаметр барабана выбирается в зависимости от длины ленты и износа материала покрытия.

Диаметр приводного барабана выбирается по ГОСТ 22644-77 в зависимости от ширины и номинальной прочности прокладки ленты.

4.2.2 Расчет производительности оборудования механического обезвоживания сапропеля

Массовая и объемная производительность конвейера установки по механическому обезвоживанию рассчитывается по формулам 4.3 и 4.4 [23,28,46].

$$Q_p = \frac{Q_\Gamma K_H}{n_0 m_0 T_{см}}, \quad (4.3)$$

$$V_0 = \frac{Q}{\gamma}, \quad (4.4)$$

где Q_p – расчетная производительность, т/ч, м³/ч;

Q_Γ - средняя годовая производительность, т/год;

K_H - коэффициент неравномерности загрузки конвейера;

$T_{см}$ - коэффициент использования конвейера в течение смены;

n_0 - число рабочих дней в году, шт.;

m_0 - число рабочих смен в сутки шт.;

γ – плотность сапропеля, кг/м³.

Для расчета тягового усилия (формула 4.7, 4.8) необходимы погонные массы груза, ленты и поддерживающих роликов на рабочей и холостой ветвях ленты.

$$q_{гр} = \frac{Q}{3,6V}, \quad (4.7)$$

$$q_l = 1,12B\delta, \quad (4.8)$$

где Q – производительность конвейера, т/м, м³/ч;

$q_{гр}$ – погонная масса транспортируемого груза, кг/м;

$q_{л}$ – погонная масса ленты, кг/м;

1,12 – среднее значение массы ленты (на 1 м²), кг;

B – ширина ленты, м;

δ – толщина ленты, мм.

Толщина ленты рассчитывается по формуле 4.8.

$$\delta = ai + \delta_p + \delta_x, \quad (4.8)$$

где i – количество прокладок, шт.;

a – толщина одной прокладки, мм;

δ_p, δ_x – толщина обкладки для рабочей и холостой сторон ленты, мм.

Погонная масса опорных роликов определяется по формуле 4.9-4.10.

$$q_{pp} = \frac{m_p}{l_p}, \quad (4.9)$$

$$q_{px} = 0,5q_{pp}, \quad (4.10)$$

где m_p – масса ролика, кг;

l_p – шаг установки роликов, м.

4.2.3 Расчет тягового усилия на приводном барабане и мощности привода

Расчетное тяговое усилие на ободе приводного барабана загруженного горизонтального конвейера установки по механическому обезвоживанию определяется по формуле 4.11.

$$P = K_d L_{\Gamma} \omega (q_{\Gamma} + q'_p + q''_p + 2q_{л.ср}) + q_{\Gamma} (H + H_0), \quad (4.11)$$

где K_d – коэффициент, учитывающий дополнительные сопротивления;

ω – коэффициент сопротивления движению ленты по роликоопорам и барабанам;

$q'_p + q''_p$ – линейные нагрузки (Н/м) от массы вращающихся частей роликоопор соответственно верхней и нижней ленты, численно равные массам вращающихся частей соответствующих роликоопор, кг/м (формула 4.12);

$q_{л.ср}$ – средняя линейная нагрузка (Н/м) от массы ленты, численно равная среднему значению массы ленты, кг/м;

$L_{Г}$ – длина горизонтальной проекции конвейера, м;

H – высота подъема конвейера, м;

H_0 – высота подъема груза разгрузочной тележкой.

$$q'_p = \frac{0,1gG'_p}{l'_p}, q''_p = \frac{0,1gG''_p}{l''_p}. \quad (4.12)$$

Окружное усилие рассчитывается по формуле 4.13.

$$P = K_d(A_1 + A_2) + A_3, \quad (4.13)$$

где A_1, A_2, A_3 – составляющие окружного усилия, расходуемые соответственно на работу ненагруженного конвейера, перемещение груза и подъем груза.

Мощность двигателя привода рассчитывают по формуле 4.14.

$$N_p = \frac{P\vartheta K}{1000\eta}, \quad (4.14)$$

где P – тяговое усилие на ободе приводного барабана, Н;

ϑ – скорость движения ленты, м/с;

η – общий к.п.д. привода конвейера;

K – коэффициент неучтенных потерь.

4.3 Результат расчета ленточного конвейера

Потребная среднегодовая производительность для маломасштабного предприятия по добыче и переработке сапропеля составляет около 25000-30000 т/год. Работы по добыче ведутся в среднем 7 месяцев в год (в зависимости от региона).

Плотность сапропеля можно рассчитать по формуле Филина В.А. (формула 4.5), полученной эмпирическим путем, зная количество органического вещества $I, \%$. Количество органического вещества $I, \%$ в сапропеле Савельевского месторождения, использованного при проведении экспериментальных исследований было определено методом прокаливания и составило 33,2% [67,83]

$$\rho = 2,58 - 0,013 \cdot I, \quad (4.5)$$

где ρ – плотность сапропеля, т/м³;

I – количество органического вещества, %.

Основные параметры оборудования по механическому обезвоживанию сапропеля для предприятия базирующегося на Савельевском месторождении приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Основные параметры оборудования механического обезвоживания сапропеля Савельевского месторождения.

Исходные данные		
Параметр	Значение	Единицы измерения
Средняя годовая производительность	25 000	т/год
	224 200	м ³ /год
Число рабочих дней в году	214	шт.
Число рабочих смен в сутки	3	шт.
Плотность сапропеля	2,15	т/м ³
Скорость движения ленты	0,28	м/с
Производительность	55	т/ч
	44	м ³ /ч
Ширина ленты	800	мм
Тяговое усилие	5500	Н
Мощность привода	19	кВт
Количество параллельно работающих установок	9	шт.

Предлагаемое оборудование подготовки сырья при производстве органических удобрений на основе сапропеля позволит уменьшить энергозатраты на обезвоживание и гарантированно обеспечит снижение влажности сырья до значения в 65 %, что приведёт к снижению себестоимости получаемых удобрений и пищевых добавок, а следовательно, повысит рентабельность таких производств с возможностью их организации в маломасштабном формате.

Предложенный метод обезвоживания был успешно внедрен в производственный процесс на предприятии по добыче и переработки торфо-сапропелевого сырья ООО «Эковит» с получением акта о внедрении

результатов (Приложение В). Также на разработанную методику был получен патент о регистрации изобретения (Приложение Г).

4.4 Рекомендации по совершенствованию оборудования механического обезвоживания сапропеля

В перспективе эффективность обезвоживания сапропеля и увеличение производительности оборудования могут быть достигнуты путем установки узла ворошения специальной конструкции.

Узел ворошения (рисунки 4.4-4.5) должен располагаться после каждого, кроме последнего, обезвоживающего барабана и конструктивно состоит из валика-контакта и рамы, жестко закрепленных на несущей раме. Для комбинированного электромеханического воздействия на обезвоживаемое сырье на раме монтируется поворотный токопроводящий кронштейн. Валик-контакт подключен к положительному полюсу источника постоянного тока, а поворотный токопроводящий кронштейн подключен к отрицательному полюсу источника постоянного тока. Подача напряжения необходима для создания эффекта электроосмоса, что обеспечит снижение налипания сапропеля к поверхностям рабочих элементов узла ворошения и изменение градиента влагосодержания в слое обезвоживаемого сапропеля.

Держатели гребенчатого типа, выполненные из токопроводящего материала, жестко скреплены с рамой. Ножи-переворачиватели крепятся с помощью держателей к раме. С держателями соединено прижимающее устройство, состоящее из последовательно соединенных между собой упругого элемента и демпфера.

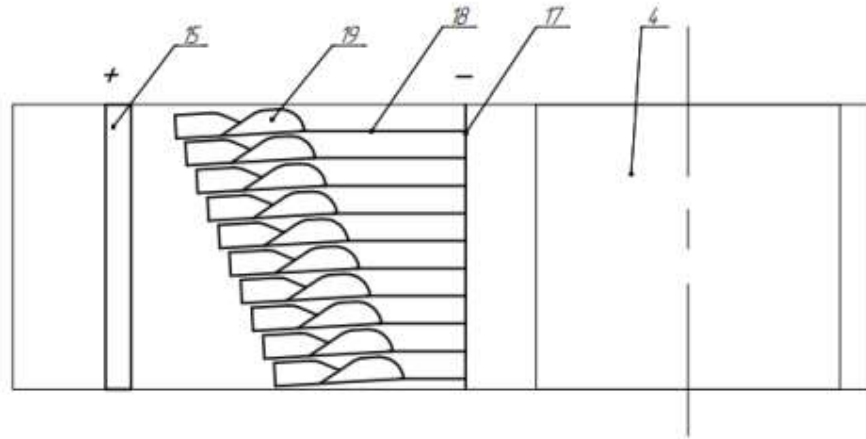


Рисунок 4.4 – Узел ворошения сапропеля (вид сверху)

4 – обезвоживающий барабан; 15 – валик-контакт; 17 – поворотный токопроводящий кронштейн; 18 – держатели; 19 – ножи-переворачиватели.

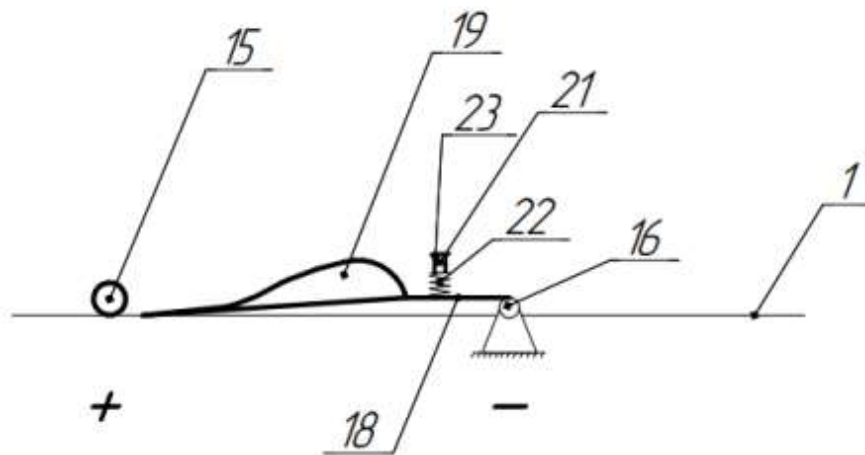


Рисунок 4.5 – Узел ворошения (вид сбоку)

1 – гибкая лента с бортами; 15 – валик-контакт; 16 – рама; 17 – поворотный токопроводящий кронштейн; 18 – держатели; 19 – ножи-переворачиватели; 20 – слой сапропеля; 21 – прижимающее устройство; 22 – упругий элемент; 23 – демпфер.

В результате электроосмоса в слое обезвоживаемого сырья происходит перераспределение влаги. Около положительного электрода происходит снижение влагосодержания, а вблизи отрицательного электрода влагосодержание увеличивается, причем на поверхности отрицательного

электрода создается тонкая водная пленка, действующая как смазка, которая и предотвращает налипание [20,22]. Эффект электроосмоса позволяет не только устранить налипание сапропеля на ножи-переворачиватели, но и также обеспечить необходимый градиент влажности с ориентацией более влажного слоя сапропеля в сторону контакта с обезвоживающими барабанами. Решение данной задачи является перспективой для дальнейших исследований автора работы.

4.5 Выводы по Главе 4

1. Обоснована структура оборудования механического обезвоживания сапропеля с автономным приводом.

2. Разработаны практические рекомендации по использованию предложенного метода и модуля механического обезвоживания в условиях карьера.

3. Установлено, что для достижения требуемой 65 % влажности сапропеля при скорости движения ленты – 0,16 м/с требуется предусмотреть в конструкции обезвоживающего оборудования три барабана покрытых микрофиброй. При увеличении скорости до 0,28 м/с – количество барабанов должно быть увеличено до семи. Дальнейшее увеличение скорости движения ленты нецелесообразно. Таким образом, при проектировании оборудования и организации производства необходимо учитывать выявленную особенность и при необходимости повышения производительностикратно увеличивать количество линий обезвоживания.

4. Для достижения производительности 25 000 т/год сапропеля 65% влажности необходимо установить 9 параллельно работающих установок.

5. Обозначены перспективы модернизации разработанного оборудования по обезвоживанию сапропеля в части применения конструкции оригинального узла ворошения сапропеля, обеспечивающего электромеханическое воздействие на слой обезвоживаемого сырья.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе предлагается решение актуальной задачи создания нового научно-обоснованного технического решения внутрикарьерного модуля механического обезвоживания сапропеля, что имеет существенное значение для развития горнодобывающей промышленности.

По результатам выполнения диссертационной работы сделаны следующие выводы и рекомендации:

1. Результаты анализа теоретических и экспериментальных исследований по теме диссертационной работы свидетельствуют о том, что добыча сапропеля в Российской Федерации находится на недостаточном уровне, что обуславливается низкой экономической эффективностью технологий его обезвоживания. Требуется разработка эффективных технологий механического обезвоживания в условиях карьера с применением современных средств механизации.

2. На основе проведенного анализа существующих способов и устройств обоснован новый метод внутрикарьерного механического обезвоживания сапропеля, основанный на капиллярном поднятии влаги в слое пористого материала, позволяющий эффективно удалять влагу из тонкого слоя сапропеля в непрерывном процессе.

3. Установленная в результате лабораторных исследований зависимость коэффициента интенсивности обезвоживания сапропеля от времени ротационного контакта с обезвоживающими барабанами, покрытыми микрофиброй, со слоем сапропеля, описываемая логарифмической функцией, позволила определить рациональные режимы процесса обезвоживания, при которых за время контакта до 2 с влагосодержание сапропеля снижается на 90% (с 19 до 1,9 кг/кг).

4. Установленная в результате исследования зависимость параметров процесса обезвоживания сапропеля от скорости движения ленты и количества обезвоживающих барабанов, покрытых микрофиброй, позволили определить параметры конструкции установки для обезвоживания, при которых

кондиционная влажность сапропеля 65% достигается при скорости движения ленты – 0,28 м/с и использовании 7 обезвоживающих барабанов.

5. Разработана конструкция модуля механического обезвоживания сапропеля с автономным приводом, защищенная патентом РФ.

6. Разработаны практические рекомендации по использованию предложенного метода и модуля механического обезвоживания в условиях карьера.

7. Обозначены перспективы модернизации разработанного оборудования по обезвоживанию сапропеля в части применения конструкции оригинального узла ворошения сапропеля, обеспечивающего электроосмотическое воздействие на слой обезвоживаемого сырья и позволяющего повысить эффективность обезвоживания сапропеля.

8. Результаты по разработке метода и оборудования механического обезвоживания сапропеля приняты к внедрению в ООО «ЭКОВИТ» при расширении действующего производства по добыче и переработке сапропеля (Приложение В).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аджиенко, В.Е. Технология и контейнеры Geotube – Новый процесс обезвоживания с известными преимуществами // Национальный каталог «Техника и технологии ЖКХ» приложение к журналу «ЖКХ: журнал для руководителя и главного бухгалтера». – 2009. – № 1. – С. 1.
2. Алимов, И.Ф. Дегустационная оценка и химический анализ мяса гусей, получавших в кормлении сапропель / И.Ф. Алимов, В.О. Ежков, Ю.В. Ларина // Ученые записки КГАВМ им. Н.Э. Баумана. – 2022. – Т. 249. – № 1. – С. 6-9.
3. Амарян, Л.С. Свойства слабых грунтов и методы их изучения. – м.: Недра. 1990 – 200 с.
4. Бабенко, С.А. Разработка технологии гранулирования органоминеральных удобрений на основе озерных сапропелей / С.А. Бабенко, О.К. Семакина, К.П. Бокуцова, О.В. Лиханова // Известия ТПУ. – 2005. – № 1. – С. 119-122.
5. Березовский, Н.И. Торфяные и сапропелевые месторождения / Н.И. Березовский, Б.В. Курзо, В.М. Слыш. – Минск: БНТУ, 2011. – 49 с.
6. Болдырева, В.Э. К вопросу об определении гранулометрического состава почв с использованием метода лазерной дифракции / В.Э. Болдырева, О.С. Безуглова, И.В. Морозов // Мелиорация и гидротехника. – 2019. – №1 (33). – С. 184-194.
7. Бондаренко, А.М. Исследование процесса производства гуминовых органоминеральных удобрений в системе экономической безопасности страны / А.М. Бондаренко, Л.С. Качанова, С.М. Челбин, А.Н. Головки // Дальневосточный аграрный вестник. – 2022. – №1 (61). – С. 95-103.
8. Бонцевич Д.Н., Физические свойства шовного материала, влияющие на развитие септических осложнений / Д.Н. Бонцевич, М.Л. Каплан // Проблемы здоровья и экологии. - 2014. № 1(39). – С. 93-97

9. Бонцевич, Д.Н. Капиллярность и фитильность модифицированного и традиционного шовного материала // Проблемы здоровья и экологии. 2007. - №3. – С. 135-140.

10. Боровой, Е.П. Теоретическое обоснование передвижения влаги в почве / Е.П. Боровой, В.В. Некрасова // Дальневосточный аграрный вестник. - 2014. - №4 (32). – С. 17-20.

11. Гаврилова, Н.Н. Анализ пористой структуры на основе адсорбционных данных: учеб. пособие / Н.Н. Гаврилова, В.В. Назаров. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2015. – 132 с.

12. Генис, А.В., Перспективные разработки в производстве волокнистых полимерных сорбентов / А.В. Генис, А.В. Кузнецов // Российский химический журнал. - 2019. - №1. – С. 27-45.

13. Горбачев, Э.В. Способы добычи озерного сапропеля с использованием безсегрегационной технологии складирования // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2006. – № 1. – 9 с.

14. Горная энциклопедия: [в 5 т.] / под ред. Е.А. Козловского. – М.: Сов. энцикл., 1984-1991. Т. 4: Ортин – Социосфера. – 1989. – 623 с.

15. Григорьев, М.Ф. Биоконверсия протеина и эффективность использования энергии кормов овцами при включении в их рационы нетрадиционные кормовые добавки / М.Ф. Григорьев [и др.] // Нива Поволжья. – 2022. – Т. 1. – № 61. – С. 2002.

16. Дашко, Р.Э. Инженерно-геологический анализ и оценка водонасыщенных глинистых пород как основания сооружений. - СПб: Институт «ПИ Геореконструкция. – 380 с.

17. Дементьев, В.А. Промышленная добыча сапропеля уже в России / В.А. Дементьев, С.М. Штин // Гидротехника. – 2019. – № 1 (54). – С. 64-66.

18. Дементьев, В.А. Способы и средства добычи сапропелей естественной влажности // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – № 1. – С. 24-28.

19. Демидова, С.В. Элементный состав гуминовых кислот погребенных и современных почв Хреновского бора / С.В. Демидова, М.С. // Материалы по изучению русских почв. – 2014. - № 8(35). – С. 135-139.

20. Долгов, С.И. Электросмазка почвообрабатывающих орудий // Химизация социалистического земледелия. – 1932. - № 6. – С. 33-38.

21. Дубинин, М.М. Физико-химические основы сорбционной техники. - Государственное химико-техническое издательство Москва — Ленинград, 1932. - 382 с.

22. Жузе, В.Р. Влияние электрического тока на изменение тягового усилия при пахоте / В.Р. Жузе, В.С. Савичев // Труды Саратовского института механизации сельского хозяйства им. М.И. Калинина / НКЗ СССР. - 1937. - № 3. – С. 139-150.

23. Зеленский, О.В., Петров А.С. Справочник по проектированию ленточных конвейеров. - М.: Недра 1986. - 223 с.

24. Игнатенков, В.Г. Инерциоид для быстрого обезвоживания сапропеля / В.Г. Игнатенков, М.Б. Тельпук, Е.Л. Лаппо [и др.] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 3(173). – С. 166-170.

25. Казаков, В.А. Технологическая характеристика комплексов при разработке озерных сапропелевых месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № 1. – С. 125-130.

26. Казаков, В.А. Зависимость производительности земснаряда от физико-механических свойств разрабатываемых сапропелей // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № 6. – С. 83-87.

27. Китапова, Р.Р. Биологическая активность гуминовых веществ, получаемых из торфа и сапропеля / Р.Р. Китапова, А.У. Зиганшин // Казанский мед. ж. – 2015. – № 1. – С. 84-49.

28. Киселев, Б.Р., Колобов, М.Ю., Ленточный конвейер. Расчет и проектирование основных узлов: учеб. пособие. - Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2019. – 179 с.

29. Кремчеев, Э.А., Афанасьев А.Е. Оценка эффективности гравитационного обезвоживания сырья при комплексной механизации круглогодичной добычи торфа // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2012. - №4. С. 50-58.

30. Крупнов, Р.А. Снижение пожароопасности на выработанных торфяных месторождениях / Р.А. Крупнов [и др.] // Труды Инсторфа. – 2011. – № 3 (56). – С. 27-32.

31. Кусков, В.Б. Использование различных видов углеродсодержащего сырья для получения тепловой энергии / В.Б. Кусков, В.Ю. Бажин // Записки Горного института. – 2016. – № 220. – С. 582-586.

32. Кустышев, А.В. Исследование свойств торфощелочного раствора для бурения скважин в глинистых породах / А.В. Кустышев, Д.С. Леонтьев // Территория Нефтегаз. – 2016. – №3. – С. 56-63.

33. Ленгелер, Й. Современная микробиология. Прокариоты. Том 1. / Под ред. Й. Ленгелер, Г. Древис, Г. Шлегель - М.: Мир, 2005. — 656 с.

34. Леонтьев, Д.С. Перспективы применения сапропелевых растворов при бурении и ремонте нефтяных скважин / Д.С. Леонтьев, А.В. Кустышев, Н.С. Цедрик // Известия вузов. Нефть и газ. – 2016. – №3. – С. 84-89.

35. Лопотко, М.З. Озера и сапропель. – Минск: Наука и техника, 1978. – 88 с.

36. Лопотко, М.З. Рекомендации по технологии промышленной добычи сапропелей из открытых водоемов / М.З. Лопотко, А.П. Лецко, С.К. Дубинин – Мн: Наука и техника, 1981. – 78 с.

37. Марков, В.Ф. Коллоидная химия. Примеры и задачи. Учебное пособие для СПО / В.Ф. Марков – Издательство: Юрайт. - 2016. – 187 с.

38. Меламут, Д.Л. Гидромеханизация в ирригационном и сельскохозяйственном строительстве. – М.: Стройиздат, 1967. – 396 с.

39. Минаковский, А.Ф. Применение сапропеля для активации почвенных фосфатмобилизующих микроорганизмов / А.Ф. Минаковский [и др.] // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 2. – С. 101-106.

40. Михайлов, А.В. Анализ структуры мобильного комплекса для добычи органогенного сырья карьерным способом / А.В. Михайлов, Ю.А. Казаков // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2022. - №6. - С. 317-330.

41. Михайлов А.Г. Влияние гигроскопического материала при контакте с грунтом на гидродинамические параметры массива / А.Г. Михайлов, И.И. Вашлаев // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. - №4. – С. 186-190.

42. Молоток, Е.В. Исследование влияния полиакриламида и продукта его модификации на устойчивость водных суспензий сапропеля / Е.В. Молоток, П.А. Галушков, Л.И. Линник // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. – 2013. - № 3. – С. 121-125.

43. Николаева, Л.А. Разработка и структурные исследования окускованного топлива из угольных отходов // Отходы и ресурсы: элетрон. науч. журн. – 2017. – Т. 4. – № 4. – С. 1-12. – URL: <https://resources.today/PDF/06RRO417.pdf> (дата обращения: 16.03.2020).

44. Николаева, С.Б. Реконструкция палеогеографических обстановок голоцена в районе озера Имандра (Кольский регион): Результаты палеолимнологических исследований / С.Б. Николаева, Н.Б. Лаврова, Д.С. Толстобров, Д.Б. Денисов // Труды Карельского научного центра РАН. – 2015. – №5. – С. 34-47.

45. Платонов, В.В. Биологически активные медицинские препараты на основе сапропелевого гуминового комплекса / В.В. Платонов, М.А. Ларина, Е.Д. Дмитриева, А.М. Бодял // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2016. – Т. 10. – № 2. – С. 11-20.

46. Плютов, Ю.А. Транспортные машины. Конспект лекций. – Красноярск.: ИПК СФУ, 2008. – 252 с.

47. Рубинштейн, А.Я. Биогенные грунты. - М.: Стройиздат, 1984. - 108 с.

48. Рубинштейн, А.Я. Инженерно-геологические изыскания для строительства на слабых грунтах. - М.: Стройиздат, 1984. - 108 с.

49. Русанов, А.И. Современная теория капиллярности / Под ред. А.И. Русанова, Ф.Ч. Гудрича. — Л.: Химия, 1980 — 344 с.

50. Савченко, И.А. Оценка специфической фармакологической активности гуминовых веществ сапропеля Омской области / И.А. Савченко [и др.] // ТМЖ. – 2014. – Т. 4. – № 58. – С. 51-55.

51. Семенова, З.В. Потенциальные возможности сапропелей в решении продовольственных проблем // Вестник ИрГТУ. – 2011. – Т. 8. – № 55. – С. 154-161.

52. Сергеева, Е.А. Гидрофилизация поверхности тканей на основе волокон из сверхвысокомолекулярного полиэтилена с помощью плазменной обработки / Е.А. Сергеева, Ю.А. Букина, И.П. Ершов // Вестник Казанского технологического университета. - 2012. - №17. – С. 110-112.

53. Серегин, М.В. Соблюдение технологических требований для выращивания растений методом гидропоники в условиях сити-фермерства // E-Scio. - 2022. - № 3(66). – 5 с.

54. Синявский, И.В. Оценка зависимости урожайности зерновых культур в севообороте от применения сапропелей, извести, азотного и фосфорного удобрения / И.В. Синявский, А.М. Плотников, А.В. Созинов, Н.Д. Гушченская // Вестник Курганской ГСХА. – 2021. – Т. 3. – № 39. – С. 13-20.

55. Скрипченко, Е.В. Разработка технологии получения топливных брикетов из маловостребованного углеродсодержащего сырья / Е.В. Скрипченко, В.Ю. Калашникова, В.Б. Кусков // Записки Горного Института. – 2012. – № 196. – С. 147-149.

56. Слепцова, Т.В. Оценка сапропелевого сырья озерных месторождений Кобяйского улуса республики Саха (Якутия) и перспективы его использования

в сельскохозяйственном производстве / Т.В. Слепцова, А.Ф. Абрамов // Вестник КрасГАУ. – 2022. – Т. 7. – №. 184. – С. 46-51.

57.Сметанин, В.И. Очистка водоемов и русел малых рек с помощью отечественных технических средств / В.И. Сметанин, А.В. Согин, И.А. Согин // Жизнь без опасности. – 2010. - № 7-8. – С. 88-91.

58.Тарасов, Ю.Д. Перспективы создания высокоэффективного комплекса для снижения влагосодержания тонко- и грубодисперсных сапропелей / Ю.Д. Тарасов, А.Б. Рыжих, А.Ф. Прялухин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2005. – № 1. – С. 278-279.

59.Тедеев, Т.Р. Капиллярный влагоперенос в многофазных грунтах // Инновации и инвестиции. 2019. - №11. – С. 225-229.

60.Патент № 2253513 Российская Федерация, МПК В04В 3/04 (2000.01), В04В 7/16 (2000.01), В04В 11/02 (2000.01). Фильтрующая центрифуга для обезвоживания сапропеля. Заявка № 2002130104/12, дата регистрации: 10.11.2002, дата приоритета: 10.06.2005. Авторы: Тарасов Ю. Д., Рыжих А. Б., Прялухин А. Ф. Заявитель: Тарасов Ю.Д. – 6 с.

61.Патент № 2248957 Российская Федерация, МПК С05F 7/00 (2000.01), С02F 11/12 (2000.01). Машина для обезвоживания сапропеля. Заявка № 2003114570/12, дата приоритета: 27.03.2005, дата регистрации: 15.05.2003. Авторы: Тарасов Ю.Д., Рыжих А.Б., Прялухин А.Ф. Заявитель: Тарасов Ю.Д., ООО «Инвест-Проект». – 8 с.

62.Патент № 2336256 Российская Федерация, МПК С05F 7/00 (2000.01), С02F 11/12 (2000.01). Машина для обезвоживания сапропеля. Заявка № 2007110467/12, дата приоритета: 20.10.2008, дата регистрации: 21.03.2007. Авторы: Тарасов Ю.Д. Заявитель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова (технический университет). – 5 с.

63. Патент № 2233805 Российская Федерация, МПК C05F 7/00 (2000.01), C02F 11/12 (2000.01). Комплекс для снижения влагосодержания сапропеля. Заявка № 2002122920/12, дата приоритета: 10.08.2004, дата регистрации: 26.08.2002. Авторы: Тарасов Ю.Д., Рыжих А.Б., Прялухин А.Ф. Заявитель: Тарасов Ю.Д. – 7 с.

64. Патент № 2336255 Российская Федерация, МПК C05F 7/00 (2000.01), C02F 11/12 (2000.01). Машина для снижения влагосодержания сапропеля. Заявка № 2007109582/12, дата приоритета: 20.10.2008, дата регистрации: 15.03.2007. Авторы: Тарасов Ю.Д. Заявитель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова (технический университет). – 7 с.

65. Патент № 2751242 Российская Федерация, МПК C05F 7/00. Машина для обезвоживания сапропеля. Заявка № 2020140776. Дата приоритета: 10.12.2020. Дата регистрации: 12.07.2021. Авторы: **Т.Г. Утенкова**, Э.А. Кремчеев, Р.Э. Дашко, Ю.Д. Смирнов. Заявитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет». – 13 с.

66. **Утенкова Т.Г.** Способы обезвоживания сапропеля / **Т.Г. Утенкова**, Э.А. Кремчеев, Д.С. Громыка, О.Ю. Короткова // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. - № 4 (150). - С. 45-52

67. Филин, В.А. Экспресс метод определения плотности сапропеля // Торфяная промышленность. – М.: 1988. - №2

68. Фомин, А.И. Технология добычи местных удобрений (сапропелей). – М.: Высшая школа, 1969.

69. Фомин, В.Н. Определение теплофизических параметров сушки сапропеля / В.Н. Фомин [и др.] // по материалам XXXIII научно-практической конференции «Биологические технико-экономические проблемы в с/х», В. Луки, 2-3 апреля 1998 г. – В. Луки. – 2000. – С. 106-107.

70. Патент № 122313 Российская Федерация, МПК В04В 3/00 (2006.01). Центрифуга. Заявка № 2012120558/05, дата регистрации: 27.11.2012, дата приоритета: 17.05.2012. Авторы: Фоминых А.В., Овчинников Д.Н., Ездин Д.П., Хименков И.А. Заявитель: ФГБОУ ВПО Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева. – 10 с.

71. Патент № 103757 Российская Федерация, МПК В04В 1/08 (2006.01), В04В 9/14 (2006.01). Центрифуга прецессионная. Заявка № 2010143814/05, дата регистрации: 27.04.2011, дата приоритета: 26.10.2010. Авторы: Фоминых А.В., Овчинников Д.Н., Осипов Д.А., Ковшов Д.В. Заявитель: ФГБОУ ВПО Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева. – 8 с.

72. Хименков, И.А. Центрифуга для обезвоживания компонентов кормов / И.А. Хименков, И.С. Шестопапов // Вестник Курганской ГСХА. – 2013. – № 2. – С. 61-62.

73. Шарипова, Д.М. Ветеринарно-санитарная экспертиза мяса уток при применении комплексной кормовой добавки / Д.М. Шарипова, Р.Н. Файзрахманов, А.М. Ежкова // Ученые записки КГАВМ им. Н.Э. Баумана. – 2022. – Т. 249. – № 1. – С. 255-258.

74. Шпынова, Н.В. Макро- и микроэлементный состав сапропелей озер Ханты-Мансийского автономного округа – Югры / Н.В. Шпынова [и др.] // Инновации и инвестиции. – 2020. – № 10. – С. 159-162.

75. Штин, С.М. Гидромеханизированная технология разработки торфо-сапропелевых месторождений с получением органо-минеральных удобрений и биотоплива // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – №12. – С. 48-57.

76. Штин, С.М. Озерные сапропели и их комплексное освоение. – М.: Горная книга, 2005. – 373 с.

77. Штин, С.М. Опыт и перспективы разработки сапропеля // Горный журнал. – 1997. – № 3. – С. 21-23.

78. Яковлев, В.А. Об истории лимнологических исследований на Кольском Севере / В.А. Яковлев, Н.А. Кашулин // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2012. – №4. – С. 117-139.

79. Alaa Arafa Badr. Moisture properties of raised 3-thread fleece fabric knitted with different face and fleecy yarns / Alaa Arafa Badr, Ashraf El-Nahrawy // Alexandria Engineering Journal. – 2016. – Vol. 55(3). - P. 2881-2892.

80. Baksiene, E. The effects of calcareous sapropel application on the changes of Haplic Luvisols chemical properties and crop yield / E. Baksiene, V. Janusiene // Plant, Soil and Environment. – 2006. – Vol. 51, N 12. – P. 539-544.

81. Bogush, A.A. Biogeochemistry and element speciation in sapropel from freshwater Lake Dukhovoe (East Baikal region, Russia) / A.A. Bogush [et al.] // Applied Geochemistry. – 2022. – Vol. 143. – P. 105384.

82. Bogush, A.A. Diagenetic Transformation of Sapropel from Lake Dukhovoe (East Baikal Region, Russia) / A.A. Bogush [et al.] // Procedia Earth and Planetary Science. – 2013. – Vol. 7. – P. 81-84.

83. Dashko, R. Multicomponent composition of sapropels as a basis for perfection of technique and technology of their dehydration / R. Dashko D., Vlasov, Z. Pushina, T. Utenkova, S. Ivanov // Russ. J. Earth. Sci. 2023. Vol. 23. P. 1-13.

84. Gromyka, D.S. Method of state and residual resource assessment of excavator bucket tooth caps / D.S. Gromyka D.S. K.V. Gogolinskiy // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2022. – Vol 58, N 5. – P. 381-390.

85. Guerreiro, R. The soda lakes of Nhecolândia: A conservation opportunity for the Pantanal wetlands / R. Guerreiro [et al.] // Perspectives in Ecology and Conservation. – 2019. – Vol. 17, N 1. – P. 9-18.

86. Jahan, I. Using a geotextile with flocculated filter backwash water and its impact on aluminium concentrations / I. Jahan [et al.] // Geotextiles and Geomembranes. – 2018. – Vol. 46, N 6. – P. 759-769.

87. Khachan, M.M. The efficacy and use of small centrifuge for evaluating geotextile tube dewatering performance / M.M. Khachan, S.K. Bhatia // Geotextiles and Geomembranes. – 2017. – Vol. 45, N 4. – P. 280-293.

88. Kovalenko, G.A. Sapropel-based supports as novel macroporous carbon-mineral adsorbents for enzymatic active substances / G.A. Kovalenko, L.V. Perminova, N.A. Rudina // *Resource-Efficient Technologies*. – 2016. – Vol. 2, N 4. – P. 159-167.

89. Leonova, G.A. Biogeochemical specifics of sapropel formation in Cisbaikalian undrained lakes (exemplified by Lake Ochki) / G.A. Leonova [et al.] // *Russian Geology and Geophysics*. – 2015. – Vol. 56, N 5. – P. 745-761.

90. Liu, Z. Fabrication of silk fibroin/poly (lactic-co-glycolic acid)/graphene oxide microfiber mat via electrospinning for protective fabric / Z. Liu, S. Shang, K. Chiu, S. Jiang, F. Dai *Material Science and Engineering: C*. – 2020. – Vol. 107. – P. 110308.

91. Senthilkumar, M. Moisture Management in an Active Sportswear: Techniques and Evaluation. / M. Senthilkumar, M.B. Sampath, T. Ramachandran // *J. Inst. Eng. India Ser. E* 93. – 2012. – P. 61–68.

92. Sivoney, F.S. Natural fibres for geotextiles / F.S. Sivoney [et al.]; In: *Handbook of Natural Fibres (2nd ed.)*. – Volume 2: Processing and Applications. / F.S. Sivoney. – Amsterdam: Elsevier. – 2020. – P. 499-530.

93. Strakhovenko, V.D. Geochemical characteristics of the sapropel sediments of small lakes in the Ob'-Irtys' interfluvium / V.D. Strakhovenko, O.P. Taran, N.I. Ermolaeva // *Russian Geology and Geophysics*. – 2014. – Vol. 55, N 10. – P. 1160-1169.

94. Terekhova, E.N. Nickel catalysts based on carbon-mineral supports derived from sapropel for hydroliquefaction of sapropel organic matter / E.N. Terekhova [et al.] // *Fuel*. – 2023. – Vol. 332, N 2. – P. 126300.

95. **Utenkova T.** Effect of electroosmosis to reduce the adhesion of lake sapropel to the metal surfaces of the machine for lake sapropel dewatering / **T. Utenkova**, E. Kremcheev, D. Nagornov, O. Korotkova // *E3S Web of Conference*. 2021. Vol. 326. Iss 55. P. 00015. DOI:10.1051/e3sconf/202132600015

96. **Utenkova T.** Existing methods of dehydration of sapropel / **T. Utenkova**, E. Kremcheev, O. Korotkova // E3S Web of Conference. - 2020. - Vol. 174. – P. 01004. DOI: 10.1051/e3sconf/202017401004

97. **Utenkova T.** Mechanical dewatering of sapropel in its small-scale mining technology / **T. Utenkova**, E. Kremcheev, D. Nagornov, S. Ivanov // Sustainable Development of Mountain Territories. 2023. Vol. 15 Iss. 2. – P. 308-316.

98. Van Dam, H. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from Netherlands / H. Van Dam, A. Mertens, J. Sinkeldam // Netherlands Journal of aquatic ecology. – 1994. – Vol. 28, N 1. – P. 117-133.

99. Zhang, Z. High-sensitivity refractive index sensor based on 3×3 microfiber coupler structure / Z. Zhang, F. Kong, Z. Dong, L. Gao, S. Zhang, C. Liu // Results in Optics. – 2023. – Vol. 11. – P. 100394.

100. Patent № 6110588 USA, D04H13/02. Microfibers and method of making. Application number: 09/245,952, priority date: 05.02.1999, registration date: 29.08.2000. Authors: Mario A. Perez et al. Applicant: 3M Innovative Properties Company. – 17 p.

101. Patent № 1243675 EP, D01F 6/60, D01F 6/90, D01F 6/92, D01F 8/12, D01F 8/14. Microfiber and its manufacturing method. Application number: 01106451.6, priority date: 23.03.2001, registration date: 25.09.2002. Authors: Zo-Chun, Jen. Applicant: NAN YA Plastics Corp. Taipei (TW). – 7 p.

102. Материалы и технологии в одежде и обуви для туризма [Электронный ресурс] // membra.ru. - URL: <http://membra.ru/technology/thermal-underwear/what-is-thermal-underwear/> (дата обращения: 14.03.2023).

103. Микроволокно Гринвей [Электронный ресурс] // gw-catalog.ru. - URL: <https://gw-catalog.ru/microvolokno-greenway/> (дата обращения: 14.03.2023).

104. Оборудование для переработки отходов. Сепаратов Sepra для переработки сапропеля [Электронный ресурс] // Алькар. – URL: https://bio.spbu.ru/science/scienceinfo/el_resource.php (дата обращения: 14.03.2023).

105. Озерные месторождения сапропеля [Электронный ресурс] // Geographyofrussia. - URL: <https://geographyofrussia.com/ozernye-mestorozhdeniya-sapropelya/> (дата обращения: 14.03.2023)

106. Технологические решения [Электронный ресурс] // Sapropex. – URL: <http://saprex.ru/p84.htm> (дата обращения: 14.03.2023).

107. Центр по сапропелю. Оборудование. Минизаводы по производству продукции из сапропеля [Электронный ресурс] // Sapropex. - URL: <http://sapropex.ru/p125.htm> (дата обращения: 14.03.2023).

108. Что такое микрофибра [Электронный ресурс] // tkanix.info. - URL: <https://www.tkanix.info/tkani-i-polotna/sinteticheskie-voлокna/iz-chego-sostoit-tkan-mikrofibra/> (дата обращения: 14.03.2023).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Технические характеристики лазерного анализатора модели SALD-2300 SHIMADZU (Япония)

Лазерные анализаторы размеров частиц SALD-2300

Анализатор SALD-2300 позволяет определять размеры частиц в диапазоне от 17 нм до 2500 мкм и является важным инструментом в лабораториях контроля качества предприятий электронной, фармацевтической, косметической, пищевой, лакокрасочной и других отраслей промышленности.

Основной блок SALD-2300 комплектуется проточной или емкостной ячейкой, или блоком для работы с высококонцентрированными образцами для анализа жидких образцов, и инъекционным устройством «Циклон» для анализа порошков.

Программное обеспечение «WingSALD»

Наряду с библиотеками известных образцов и возможностью расчета по Фраунгоферу, заложена функция подбора коэффициентов преломления для любых объектов, в том числе ранее неизученных смесей.

«Мокрое» измерение:

Проточная ячейка SALD-MS23 поставляется в комплекте с сэмплером, который обеспечивает циркуляцию образцов с высоким удельным весом (керамика, порошки металлов), не позволяя частицам осесть на дне сэмплера (частицы плотностью до 7,8 г/см³), а ультразвуковой диспергатор обеспечивает удаление пузырьков воздуха. Объем жидкости в сэмплере можно устанавливать по выбору 100, 200 или 300 мл.

Емкостная ячейка SALD-BC23 изготовлена из кварцевого стекла и укомплектована воронкой из фторопласта. Ячейку используют для работы с образцами, содержащими агрессивные жидкости или органические растворители. Объем кюветы 12 мл, необходимое количество образца для измерения 7–10 мл. Снабжена мешалкой.

Блок для работы с высококонцентрированными образцами SALD-NC23

Для правильного измерения обычно используют образцы, с концентрацией измеряемых частиц от десятков ppm до 0,1%, чтобы избежать вторичного светорассеяния в образцах с высокой концентрацией частиц.



SALD-2300 с проточной ячейкой

Разбавление не всегда решает проблему высоких концентраций. Многие суспензии и эмульсии (мази, кремы, латексы, некоторые виды красок) расслаиваются при разбавлении или в них происходит агломерация исходных частиц. Компания Шимадзу предлагает блок для работы с высококонцентрированными образцами. Он представляет собой держатель стеклянных пластин, между которыми помещается образец с толщиной слоя в несколько микрон. Это позволяет проводить измерения образцов с концентрацией частиц до 20%, а также работать с ультрамалыми количествами образца — примерно 15 мкл.

«Сухое» измерение:

Инъекционное устройство типа «Циклон» SALD-DS5 «Циклон» имеет инъекционные сопла особой конструкции, которые эффективно разбивают имеющиеся в порошке агломераты, что снижает влияние агломерации на конечный результат. С помощью инъекционного устройства «Циклон» можно проводить измерения размеров частиц не только органической природы (т.е. с малым удельным весом), но и порошков металлов и их оксидов.

Технические характеристики. Модель SALD-2300

Основной блок SALD-2300	
Метод измерения	Лазерная дифракция
Диапазон измерений	17 нм – 2500 мкм
Источник излучения	Красный полупроводниковый лазер (680 нм)
Сенсоры	84 элемента (78 элементов спереди, 1 сбоку, 5 сзади)
Электропитание	115/230 В; 50/60 Гц
Размеры (Д x Ш x В) и масса	68 x 28 x 43 см; 31 кг
Пробоотборник SALD-MS23	
Диапазон измерений	17 нм – 2500 мкм
Сосуд для диспергирования	Объем 100–280 см ³
Мешалка	Лопастная, с регулируемой скоростью вращения
Ультразвуковой диспергатор	32 кГц, выходная мощность 40 Вт
Жидкостной насос	Центробежный насос, макс. скорость подачи 2000 см ³ /мин
Материал контактирующих поверхностей насоса	Нержавеющая сталь (SUS304, SUS316), тетрафторэтилен (PTFE), перфторэластомер (FEP) или Kalrez®, термофлон Паскаль
Насос для подачи жидкости	Мембранный насос, макс. скорость подачи 750 см ³ /мин
Материал насоса для подачи жидкости	Тetraфторэтилен, поливинилиденфторид (ПВДФ)
Электропитание	115/230 В перемен.ток, 200 ВА
Размеры (Д x Ш x В) и масса	39 x 52 x 43 см; 18 кг
Материал проточной ячейки	Кварцевое стекло
Емкостная ячейка SALD-BC23	
Диапазон измерений	17 нм – 400 мкм
Количество образца	12 см ³
Материал	Кварцевое стекло
Мешалка	Лопастная, с вертикальным перемещением
Блок для работы с высококонцентрированными образцами SALD-HC23	
Диапазон измерений	30 нм – 280 мкм
Количество образца	15–150 мкл
Материал	Боросиликатное стекло
Диапазон концентраций образца	10 ppm – 20 %
Измерительный блок (сухой) инжекционного типа SALD-DS5 «Циклон»	
Диапазон измерений	0,3–2500 мкм
Количество образца	1–10 мл
Система подачи образца	устройство «Циклон»
Блок диспергирования	Эжектор (3 типа сопел)
Электропитание	230 В перемен.тока, 100 ВА (не включая пылеуловитель и компрессор)
Размеры (Д x Ш x В) и масса	24 x 31 x 21 см; 10 кг

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

**Технические характеристики термогравиметрического анализатора
LECO TGA-701**

Метрологические и технические характеристики

Наименование характеристик	Значения характеристик
<i>1</i>	<i>2</i>
Диапазон измерений массы пробы, г	0,5 – 5
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений массы пробы, г	± 0,0002
Диапазон измерений массовой доли летучих компонентов, влажности и зольности, %	от 0,01 до 99,99
Предел допускаемого СКО случайной составляющей абсолютной погрешности в режиме измерений влажности и зольности, %: - в диапазоне измерений от 0,01 до 10 % вкл.	0,07
Предел допускаемого СКО случайной составляющей относительной погрешности в режиме измерений влажности и зольности, %: в диапазоне измерений св. 10 до 99,99 %	0,7
Предел допускаемого СКО случайной составляющей абсолютной погрешности в режиме измерений массовой доли летучих компонентов, %: - в диапазоне измерений от 0,01 до 10 % вкл.	0,1
Предел допускаемого СКО случайной составляющей относительной погрешности в режиме измерений массовой доли летучих компонентов, %: в диапазоне измерений св. 10 до 99,99 %	1
Количество анализируемых образцов	19
Диапазон задаваемых температур, °С	100 – 1000
Электропитание: - напряжение, В - частота, Гц - ток, А	220 ± 10 % 50/60 25
Масса, кг, не более	82
Габаритные размеры, мм, не более	520×610×560
Условия эксплуатации: - температура окружающего воздуха, °С - относительная влажность воздуха, %, не более	от 15 до 35 80

ПРИЛОЖЕНИЕ В**Акт о внедрении результатов исследования**

Утверждаю

Генеральный директор ООО «Эковит»

Большаков В.Ю. 

Дата « 05 » августа 2022 г.



АКТ (СПРАВКА)

о внедрении результатов
кандидатской диссертации

Утенковой Татьяны Геннадьевны

по научной специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины

Комиссия (специальная) в составе:

Председатель генеральный директор ООО «Эковит» Большаков В.Ю.;Члены комиссии: заместитель генерального директора Черников А.Е., заместитель генерального директора по производству Денисов Л.В., ведущий специалист (эколог) Яковлева И.Д.

составили настоящий акт (справку) о том, что результаты диссертационной работы на тему «Обоснование параметров и режимов работы оборудования по обезвоживанию сапропеля при его добыче» планируются к использованию в производственном процессе деятельности ООО «Эковит» на операциях по обезвоживанию сапропеля. Перечень результатов, рекомендованных к внедрению на предприятии:

- Специальная технология подготовки сапропеля и последующего дренирующего эффекта пористого материала, используемого на контактных поверхностях исполнительного оборудования машины по обезвоживанию сапропеля;

- Рекомендации по снижению налипания сапропеля и торфа к рабочим поверхностям органов горных машин, работающих на предприятии.

Председатель комиссии

Генеральный директор ООО
«Эковит»

Большаков В.Ю.

Члены комиссии:

Заместитель генерального ди-
ректора

Черников А.Е.

Заместитель генерального ди-
ректора по производству

Денисов Л.В.

Ведущий специалист (эколог)

Яковлева И.Д.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Патент на изобретение

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 2751242

МАШИНА ДЛЯ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ САПРОПЕЛЯ

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» (RU)*

Авторы: *Утенкова Татьяна Геннадьевна (RU), Кремчев Эльдар Абдоллович (RU), Дашко Регина Эдуардовна (RU), Смирнов Юрий Дмитриевич (RU)*

Заявка № 2020140776
Приоритет изобретения **10 декабря 2020 г.**
Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **12 июля 2021 г.**
Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **10 декабря 2040 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

 **Г.П. Ильев**

