

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)  
Институт «Архитектурно-строительный»  
Кафедра «Градостроительство, инженерные сети и системы»

ВКР МАГИСТРА  
ПРОВЕРЕНА  
Рецензент  
Китаева С.В., заместитель  
главного инженера СП ОСВ  
МУП ПОВВ г. Челябинска

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой  
Д.В. Ульрих

\_\_\_\_\_ 2018 г.

Повышение водоотдающей способности осадкой природных вод

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ МАГИСТРА  
ЮУрГУ–08.04.01.2018.115 ПЗ ВКР

Руководитель ВКР  
магистра

Е.В. Николаенко

\_\_\_\_\_ 2018 г.

Автор ВКР  
магистр группы АС-227

Д.А. Гевель

\_\_\_\_\_ 2018 г.

Нормоконтролер

Е.В. Николаенко

\_\_\_\_\_ 2018 г.

Челябинск  
2018

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	9
1 ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТАВА И СВОЙСТВ ОСАДКОВ ПРИРОДНЫХ ВОД	
1.1 Особенности образования водопроводного осадка.....	12
1.2 Основные свойства и состав водопроводного осадка.....	21
2 МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ ПРИРОДНЫХ ВОД, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ	
2.1 Обработка водопроводного осадка .....	31
2.1.1 Обработка осадка природных вод совместно с осадками сточных вод на станциях очистки сточных вод .....	34
2.1.2 Обезвоживание осадка в прудах-накопителях.....	36
2.1.3 Обезвоживание осадка на иловых площадках .....	37
2.1.4 Замораживание и оттаивание осадка .....	39
2.1.4.1 Площадки замораживания.....	39
2.1.4.2 Площадки подсушивания.....	43
2.1.4.3 Искусственное замораживание и оттаивание осадка .....	43
2.1.5 Механическая обработка осадка .....	44
2.1.6 Реагентная обработка.....	50
2.1.6.1 Обработка осадков флокулянтами .....	50
2.1.6.2 Обработка осадков известью .....	52
2.2 Утилизация водопроводного осадка .....	53
2.2.1 Сброс осадка в поверхностные водотоки и водоемы, захоронение в открытом море, закачка в подземные горизонты .....	53
2.2.2 Утилизация осадка после предварительного обезвоживания .....	53
3 ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ОСАДКА ИЗВЕЩЬЮ И ИЗВЕЩЬЮ СОВМЕСТНО С ПРИСАДОЧНЫМ МАТЕРИАЛОМ	
3.1 Условия образования осадка на очистной станции водоподготовки города Челябинска.....	55
3.1.1 Источник водоснабжения.....	55
3.1.2 Характеристика очистных сооружений водопровода.....	59
3.1.3 Основные реагенты, влияющие на состав осадка.....	60
3.1.4 Типы сооружений, на которых образуется исследуемый осадок .....	62
3.1.4.1 Сооружения блока №1 .....	62

3.1.4.2	Сооружения блока №2 .....	64
3.1.4.3	Сооружения блока №3 .....	66
3.2	Характеристика осадка ОСВ г. Челябинска .....	68
3.2.1	Объем осадка .....	68
3.2.2	Химический и гранулометрический состав осадка .....	68
3.3	Свойства осадка ОСВ г. Челябинска .....	69
3.3.1	Влажность и содержание сухого вещества .....	69
3.3.2	Водоотдающая способность. Удельное сопротивление фильтрации.....	71
3.4	Исследование кондиционирования осадков известью и известью совместно с присадочным материалом.....	76
3.4.1	Водоотдающая способность обработанных осадков ОСВ .....	78
4 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ ОСВ.....		86
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....		88
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....		89

## РЕФЕРАТ

Гевель Д.А. Повышение водоотдающей способности осадков природных вод – Челябинск: ЮУрГУ, АС-227, 2018. – 94 с., 28 ил., 25 табл., библиогр. список – 59 наим.

Осадки очистных сооружений водопровода, обезвоживание, водоотдающая способность, известь, присадочный материал, удельное сопротивление фильтрации.

Объектом исследования являются осадки природных вод действующей станции очистных сооружений водоподготовки города Челябинска.

**Цель работы** – исследовать эффективность кондиционирования осадков природных вод очистных водоподготовки города Челябинска различными выбранными реагентами и изучить возможность перехода на технологию механического обезвоживания осадков очистных сооружений водопровода г. Челябинска.

В первом разделе рассмотрены теоретические основы исходных показателей качества осадков природных вод, их свойства и состав. Рассмотрены классификации ОСВ, условия образования осадка очистных сооружений водопровода различных станций водоподготовки.

Во втором разделе рассмотрены различные методы обработки осадков природных вод, отражены преимущества и недостатки каждого метода, рассмотрены варианты кондиционирования, указаны современные направления утилизации обезвоженных осадков. Выявлены недостатки существующей системы сброса осадков сооружений водопровода в систему канализации и поставлены задачи исследования.

В третьем разделе представлены результаты исследований состава и свойств исходного осадка ОСВ г. Челябинска, определена их влажность и водоотдающая способность. Приведена динамика изменения показателей качества источника водоснабжения, существенно влияющих на состав и свойства осадков. Рассмотрены типы сооружений ОСВ, в которых образуется осадок, выявлены особенности их работы. Значения удельного сопротивления фильтрации осадков показали необходимость их кондиционирования перед механическим обезвоживанием. Приведены результаты кондиционирования осадка известью и совместная обработка известью и присадочным материалом опоккой. Выбраны оптимальные условия кондиционирования ОСВ г. Челябинска. Проанализирован фильтрат осадков, обработанных оптимальными дозами реагентов.

В четвертом разделе даны краткие рекомендации по технологии обработки осадка ОСВ г. Челябинска с использованием реагентного метода.

## ВВЕДЕНИЕ

В связи с изменениями климатических условий, оказывающих все более заметное влияние на перераспределение водных ресурсов, общественное внимание все сильнее ориентировано на проблему состояния и рационального использования их. Водные ресурсы, особенно такой ресурс как пресная вода, являются одним из основных и динамичных элементов природного богатства РФ.

Экологическая и водохозяйственная безопасность, это гарантия развития не только предприятий страны, и как следствие – экономики, но и решает вопросы благосостояния населения. Отсутствие питьевой воды в необходимых и достаточных количествах в мировом масштабе, способствует развитию не только смертельных заболеваний, а также является во многом необходимой составляющей для возникновения эпидемиологических кризисов.

Важным направлением повышения эффективности предприятий водного сектора является максимальное использование вторичных ресурсов, таких как водопроводный осадок.

По усредненным данным, объем образующихся промывных вод на фильтровальной станции численно равен 7-10% от ее мощности, что пересчете на сухой вес сбрасываемых вод достигает нескольких сотен тонн загрязненного физико-химическими и микробиологическими элементами осадка. Этот отработанный материал попадает обратно в природные объекты.

Да, осадок, получаемый в процессе водоподготовки менее опасный для окружающей среды в целом и человека в частности, чем осадок городских сточных вод. Но тем не менее, он имеет более высокий показатель удельного сопротивления фильтрации и требует больших капитальных вложений на обработку. Размещение водопроводного осадка также доставляет определенные проблемы. Его размещение в шламонакопителях или иловых площадках – требует значительных территорий и угрожает антисанитарией вблизи места хранения, что особенно актуально для мегаполисов. Помимо всего прочего, гидроксидный осадок, в исходном виде, представляет опасность для окружающего мира из-за содержащихся в нем веществ, которые при определенных условиях способны включаться в био- и геохимические циклы. В США, отходы станций водоподготовки классифицируются как токсичные. Это подтверждают действующие нормативные акты в данной стране [1].

На очистных сооружениях водопровода г. Челябинска образуется около 2 млн кубометров осадков в год, которые в настоящее время перекачиваются на городские очистные сооружения канализации и обрабатываются совместно со сточными водами. Сброс осадка в городскую канализацию требует высоких затрат на его транспортирование и приводит к нарушению режима работы очистных сооружений (к увеличению гидравлической нагрузки, поступлению несвойственных веществ и др.)

**Актуальность** работы заключается в необходимости комплексного подхода в разработке методики обработки осадков природных вод.

**Объектом** научно-исследовательской работы является осадки природных вод действующей станции очистных сооружений водоподготовки города Челябинска.

**Цель** научно-исследовательской работы – исследовать эффективность кондиционирования осадков природных вод очистных сооружений водоподготовки города Челябинска различными реагентами.

Для достижения поставленной цели в работе были поставлены следующие **задачи**:

- 1) Изучить состав и свойства водопроводных осадков.
- 2) Изучить методы обработки осадков станций водоподготовки.
- 3) Исследовать влияние извести на водоотдающую способность осадков природных вод.
- 4) Дать рекомендации по технологии обработке осадка природных вод и рассмотреть возможность использования фильтрата на ОСВ города Челябинска.

**Научная новизна работы:** детально изучены свойства осадков ОСВ г. Челябинска; выявлены возможности повышения водоотдающей способности осадков при кондиционировании известью.

**Практическая значимость работы** заключается в получении технологических параметров для разработки технологического регламента механической обработки осадков.

Основные результаты работ опубликованы:

1. Belkanova, M.Yu. Technological Aspects of Waterworks Sludge Treatment / M.Yu. Belkanova, E. V. Nikolaenko, D.A. Gevel // "IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MSE)", vol. 262, 2017 (Scopus)
2. Гевель, Д.А. Исследование влияния реагентной обработки осадков природных вод на его водоотдающую способность / Д.А. Гевель, Е.В. Николаенко // Сборник статей VI международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Водоснабжение, водоотведение и системы защиты окружающей среды". – Уфа: УГНТУ, 2017. – С. 95-99
3. Николаенко, Е.В. Повышение водоотдающей способности осадков природных вод реагентными методами / Е.В. Николаенко, М.Ю. Белканова, Д.А. Гевель // Проблемы управления речными бассейнами при освоении Сибири и Арктики в контексте глобального изменения климата планеты в XXI веке: Сб. докладов XIX Международной научно-практической конференции. Том I. – Тюмень: ТИУ, 2017. – С. 216–220. (РИНЦ)

4. Николаенко Е.В., Повышение водоотдающей способности осадков природных вод реагентным методам / Е.В.Николаенко, Д.А.Гевель // Научный журнал «Вестник ЮУрГУ» / ЮУрГУ. – Челябинск. – 2018. /готовится к печати/

Доклады на конференциях, участие в мероприятиях:

5. VI Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, г.Уфа, 2017
6. XIX Международная научно-практическая конференция "Проблемы управления речными бассейнами при освоении сибиря и арктики в контексте глобального изменения климата планеты в XXI веке", г.Тюмень, 2017 год – 2 место
7. Международная научно-техническая конференция "Строительство, архитектура и техносферная безопасность", г. Челябинск, 2017 год

# 1 ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТАВА И СВОЙСТВ ОСАДКОВ ПРИРОДНЫХ ВОД

## 1.1 Особенности образования водопроводного осадка

Источником хозяйственно-питьевого водоснабжения во многих регионах мира являются поверхностные воды, реагентная очистка которых (обработка гидролизующими коагулянтами) сопровождается коагуляцией и осаждением значительных количеств взвешенных веществ. Образующийся при этом гидроксидный осадок, представляющий собой высоковлажную массу органоминеральных веществ различной дисперсности, объединенных с помощью гидроксидных связей в единую пространственную структуру, обладающую коллоидными свойствами. В научной литературе эти отходы обычно называют осадком природных вод, осадком водопроводных станций, водопроводным осадком.

Осадки природных вод по [46] могут быть классифицированы:

**а) по происхождению:**

- осадки вод поверхностных источников
- осадки вод подземных источников;

**б) по качеству воды источника:**

*осадки поверхностных вод* (характеризуются отношением цветности Ц мутности М исходной воды)

- маломутных цветных вод ( $\text{Ц/М} \geq 10$  град/мг/л);
- вод средней цветности и мутности ( $1 \leq \text{Ц/М} \leq 10$  град/мг/л);
- вод повышенной мутности ( $\text{Ц/М} \leq 1$  град/мг/л).

*осадки подземных вод* (характеризуются по виду определяющего загрязнения исходной воды)

- железосодержащие;
- повышенной жесткости;
- фторсодержащие;
- марганецсодержащие и др.

**в) по виду реагентов**, используемых при очистке воды: осадки, образованные с помощью солей алюминия и железа, флокулянтов, сочетания минеральных коагулянтов и флокулянтов;

**г) по условиям образования:**

- осадки из отстойников и осветлителей со взвешенным слоем,
- промывных вод фильтров,
- промывных вод контактных осветлителей, растворных баков реагентов;

**д) по водоотдающей способности:**

- осадки, легко отдающие воду, обезвоживание которых может быть осуществлено без предварительной подготовки либо с добавлением небольших количеств реагентов;



- осадки с низкой водоотдающей способностью, которые могут обезвоживаться только после предварительной их подготовки путем кондиционирования.

Масштабы образования таких отходов, отличающихся высокой влажностью (до 99,9%) и очень низкой способностью к уплотнению (обезвоживанию), достаточно велики [1]. В бывшем СССР количество загрязнений с выбросами водопроводных станций оценивалось в 500 тыс. т сухого вещества в год или 100 млн. м<sup>3</sup> осадка с влажностью 99,5% [1, 9].

Например, в Москве ежедневно образуется 30-35 тысяч тонн осадка по сухому веществу [14]. На очистных сооружениях водопровода г. Челябинска производят около 2 млн кубометров осадков в год. На типичной водопроводной станции производительностью 750 тыс. м<sup>3</sup>/сут. в среднем образуется до 12 тыс. т/год сухого осадка.

Водопроводный осадок, как правило, менее опасен для окружающей среды и человека, чем, например, осадок городских сточных вод. В то же время водопроводный осадок (особенно образующийся при очистке высокоцветных маломутных вод) имеет более высокие значения показателя удельного сопротивления фильтрации и требует больших затрат на сгущение и обезвоживание [1].

Долгое время во многих странах мира, включая Россию (СССР), водопроводный осадок (при однократном использовании коагулянта) нередко сбрасывался в виде шламовой пульпы в водоемы и водотоки, что обуславливало поставку в них значительных масс осадочного материала, загрязненного продуктами гидролиза коагулянтов и различными примесями, содержащимися в реагентах и выделенными из исходной воды. Это приводило к изменению процессов аллювиального седиментогенеза и трансформации эколого-геохимических особенностей водных систем. Негативные экологические явления наблюдаются и при размещении водопроводного осадка на площадках обезвоживания или в прудах-накопителях. Проблема безопасного размещения и экологически оправданной утилизации осадка чрезвычайно актуальна для России, где основными источниками централизованного водоснабжения являются поверхностные воды, доля которых в общем объеме водозабора составляет 68% [1,2].

Водоснабжение многих крупных городов страны практически полностью базируется на поверхностных водоисточниках – реках и водохранилищах (Москва, Санкт-Петербург, Саратов, Самара, Екатеринбург, Челябинск, Новосибирск и др.). Почти в половине городов с населением свыше 100 тыс. чел. централизованное водоснабжение либо полностью основано на поверхностных водах, либо оно составляет более 90% в балансе водопотребления. Около 90% поверхностной воды, поступающей на водопроводные станции, подвергается обработке с удалением (чаще всего коагулированием) избыточных примесей и обеззараживанием, при этом на большинстве водопроводных станций обработка промывных вод и обработка (и утилизация) образующегося осадка не производится. Отчасти это обусловлено тем, что действующими в период

создания таких станций нормативами утилизация образующегося при очистке поверхностных вод осадка не предусматривалась. В лучшем случае, осадок, как правило, накапливается и продолжает размещаться в накопителях или на иловых площадках. [1,3,4].

В крупных российских городах, таких как Москва, Санкт-Петербург, Нижний Новгород, Челябинск осадок сбрасывается в канализационные сети. В городах, где пропускная способность городских очистных сооружений ограничена, осадок сбрасывается непосредственно в окружающую среду. Водоканал г.Ульяновска сбрасывает осадок в необработанном виде в реку Каменка (приток р.Свияга). Ежегодно в природные воды реки попадает: взвешенных веществ - свыше 3,5 тыс. т, меди и цинка - по 1 т; алюминия - 730 т; железа -12 т [33].

В России, к сожалению, имеется небольшой практический опыт применения современных технологий обработки водопроводного осадка. Лишь на немногих водопроводных станциях организовано повторное использование промывных и других видов сточных вод, а также применяется обезвоживание и утилизация осадка. В России, к сожалению, имеется небольшой практический опыт применения современных технологий обработки водопроводного осадка. В окрестностях многих станций размещены значительные объемы накопленного осадка. Проблема обработки водопроводных осадков справедливо считается одной из наименее разработанных, наиболее технически сложной и дорогостоящей [1].

Например, на очистных сооружениях г. Вологды осадок после гравитационного уплотнения с медленным перемешиванием и добавлением флокулянта обезвоживается на ленточном фильтр-прессе зарубежного производства и направляется на утилизацию [4]. В отечественной науке разработаны различные технологии уплотнения, кондиционирования и механического обезвоживания водопроводных осадков, доказана возможность его утилизации при почвенном размещении, получении реагентов, в производстве строительных материалов (цемента, кирпича и пр.). Промышленное внедрение технологий обработки водопроводных осадков сдерживается отсутствием производства в России необходимого оборудования и трудным финансовым состоянием в ЖКХ [1].

Количество и состав образующегося осадка зависят от качества исходной (обрабатываемой) воды, в существенной мере определяемого сезонными вариациями мутности (содержания органических и неорганических взвешенных веществ) поверхностных вод, вида, дозы и качества применяемых коагулянтов и других реагентов, технологической схемы обработки и конструктивных особенностей сооружений, в которых осаждается осадок, и изменяется обычно от 0,1 до 1%, а в отдельных случаях достигает 5% объема очищаемой воды [8]. По данным [45], количество сточных вод на водопроводных станциях составляет 5-15%, а осадков – 1 - 2% от полезной производительности очистных сооружений.

Повышенная мутность поверхностных вод обычно благоприятно сказывается на седиментационных (предел уплотнения по влажности  $97\pm 0,5\%$ ) и

водоотдающих свойствах. Высокая цветность и низкая мутность обрабатываемых вод, напротив, приводят к образованию практически не уплотняющегося осадка (предел уплотнения по влажности  $98 \pm 0,5\%$ ), при механическом обезвоживании которого необходимы высокие дозы флокулянта (10-12 кг/т сухого вещества). Резкие колебания мутности речных вод, свойственные многим регионам, обуславливают неравномерность образования осадка в отстойных сооружениях, а следовательно, неритмичность его удаления и обработки. Повышенное количество взвешенных частиц (особенно грубодисперсных) в исходных поверхностных водах наблюдается в период весеннего половодья и после выпадения дождей [1]. Например, на реке Орхон в бассейне реки Селенги мутность варьируется от малой - 10 мг/л в межень до высокой - 63-128 мг/л в паводковые периоды [35].

В ходе водоподготовки обычно используют три основных процесса отделения твердой фазы из исходной воды:

- 1) осаждение в отстойниках;
- 2) осветление во взвешенном слое;
- 3) фильтрование через зернистую загрузку.

Вспомогательным процессом является хлопьеобразование, сущность которого заключается в получении путем гидролиза солей алюминия или железа нерастворимых в воде частиц высокоактивного адсорбента, адсорбции на этих частицах органических (гумусовых) загрязнений и образовании путем совместной коагуляции крупных, легко выделяемых из воды хлопьев. Коагулирование и образование хлопьев производятся в камерах хлопьеобразования или непосредственно в сооружениях, предназначенных для отделения твердой фазы, – контактных фильтрах и осветлителях с взвешенным осадком. В общем случае на водопроводных станциях образуются следующие виды осадков: осадок отстойников и осветлителей, осадок промывных вод фильтров и контактных осветлителей, осадок растворо-реагентных баков [1, 8, 45].

Осадок отстойников образуется в результате процессов коагулирования примесей воды минеральными солями с гидролизующимися катионами и последующего их осаждения. Характерной особенностью многих станций водоочистки является периодичность образования сточных вод во время промывки фильтров и опорожнения отстойников и залповый их характер [1].

Наиболее широкое распространение в качестве химических реагентов для очистки воды получили минеральные коагулянты (таблица 1.1) по [3]. Самыми широко используемыми являются соли алюминия и железа или их смеси в разных пропорциях.

Применение минеральных коагулянтов для интенсификации процессов коагуляции и увеличения полноты изъятия взвешенных веществ приводит к образованию разнообразных гидратированных оксидов алюминия или железа, положительный заряд и обладающих повышенной коагулирующей способностью по сравнению с катионами железа и алюминия. Наиболее вероятные формы промежуточных продуктов гидролиза алюминия и железа имеют следующий вид:  $[Al(OH)]^{2+}$ ,  $[Al_2(OH)_2]^{4+}$ ,  $Al(OH)_3$ ,  $[Al_8(OH)_{20}]^{4+}$ ,  $[Al_6(OH)_{15}]^{3+}$ ,  $[Al(OH)_2]^+$ ,

$[\text{Fe}(\text{OH})_2]_+$ ,  $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}]_{2+}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $[\text{Fe}_2(\text{OH})_3]_{3+}$ ,  $[\text{Fe}_2(\text{OH})_5]_+$ ,  $[\text{Fe}_3(\text{OH})_2]_{7+}$ ,  $[\text{Fe}_3(\text{OH})_4]_{5+}$  [36]. Указанные гидратированные оксиды представляют собой коллоидные вещества, легко коагулирующие с образованием аморфных хлопьев с сильно развитой поверхностью, которая обладает большим запасом поверхностной энергии, обуславливающей высокую адсорбционную способность хлопьев. Сульфат алюминия обладает высокой эффективностью при удалении из воды гуминовых веществ [1].

Таблица 1.1 – Неорганические коагулянты

Me	K	Коэффициенты	Химическая формула	Наименование
Fe	—	a=0, c=0, d=0	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Железо (III) хлорид. Хлорное железо
Fe	—	a=0, c=0, d=0	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	Железо (III) сернокислое. Сернокислая окись железа
Fe	—	a=0, d=0	$\text{Fe}(\text{SO}_4)\text{Cl}$	Железа (III) хлор-сульфат. Хлорированный железный купорос
Fe	—	a=0, d=0	$[\text{Fe}(\text{OH})_a(\text{SO}_4)_c]_n$	Оксисульфат железа (III). Полиоксисульфат железа
Fe	—	c=0, d=0	$[\text{Fe}(\text{OH})_4\text{Cl}_b]_n$	Оксихлорид железа (III). Полиоксихлорид железа
Fe	—	a=0, b=0, d=0	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Железо (II) сернокислое. Железный купорос
Al	—	a=0, b=0, d=0	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Алюминия сульфат. Сернокислый алюминий
Al	—	a=0, c=0, d=0	$\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Алюминия хлорид. Хлористый алюминий
Al	—	a=0, b=0, c=0	$[\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}]$	Алюминия нитрат. Азотнокислый алюминий
Al	—	—	$[\text{Al}_2(\text{OH})_a\text{Cl}_b(\text{SO}_4)_c(\text{NO}_3)_d]_n$	Оксихлорсульфатонитрат алюминия. Полиоксихлорсульфатонитрат алюминия.
Al	—	c=0, d=0	$[\text{Al}_2(\text{OH})_a\text{Cl}_b]_n$	Оксихлорид алюминия. Полиоксисульфат алюминия
Al	—	b=0, d=0	$\text{Al}_2(\text{OH})_a(\text{SO}_4)_c]_n$	Оксисульфат алюминия. Полиоксисульфат алюминия
Al	—	d=0	$[\text{Al}_2(\text{OH})_a\text{Cl}_b(\text{SO}_4)_c]_n$	Оксихлорсульфат алюминия. Полиоксихлорсульфат алюминия
Al	—	b=0	$[\text{Al}_2(\text{OH})_a(\text{SO}_4)_c(\text{NO}_3)_d]$	Оксисульфатонитрат алюминия. Полиоксисульфатонитрат алюминия
Al	K	a=0, b=0, d=0	$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	Алюмокалиевые квасцы
Al	$\text{NH}_4$	a=0, b=0, d=0	$\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	Алюмоаммониевые квасцы
Al	Na	a=0, b=0, d=0	$\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	Алюмонатриевые квасцы
Al	Na	b=0, c=0, d=0	$\text{NaAl}(\text{OH})_4$	Алюминат натрия

Существуют методы, интенсифицирующие процесс коагуляции, предусматривающие создание оптимальных условий для быстрого и полного разделения гетерогенной системы, каковой являются природные воды, что в

практике водоочистки сводится к получению легкооседающих крупных хлопьев с сильно развитой поверхностью и к сокращению времени их формирования. К таким методам относятся [1, 11, 3, 12]:

1) способы, требующие внесения в воду дополнительных реагентов (флокулянтов, окислителей, замутнителей, регуляторов рН воды);

2) технологические методы (улучшение условий смешения реагента с водой и перемешивания в камерах хлопьеобразования, рациональный ввод реагентов в воду);

3) физические методы (обработка воды ультразвуком в магнитном и электрическом полях, радиационным облучением и т. д.);

4) улучшение гидравлических условий коагуляции.

Для корректировки величины рН используют щелочные и кислотные реагенты. Наиболее широкое применение получили щелочные реагенты, а среди них – известь, в состав которой помимо оксида кальция входят карбонат кальция, оксид магния, примеси из песка и глины. Для улучшения структуры хлопьев используют минеральные замутнители, наиболее распространенными из которых являются глины (бентонит и т. п.) и карбонат кальция (кальцит).

Наиболее эффективный способ интенсификации процессов очистки поверхностных вод гидролизующими коагулянтами – флокуляция.

Флокулянты – растворимые в воде высокомолекулярные вещества, интенсифицирующие процесс отделения твердой фазы от жидкости и образующие с находящимися в воде грубодисперсными и коллоидными частицами трехмерные структуры (агрегаты, хлопья, комплексы) [3, 13]. Флокулянты подразделяются по химическому составу на минеральные (наибольшее распространение получила активированная кремниевая кислота) и органические (альгинат натрия, щелочной крахмал, карбоксиметилцеллюлоза, полиакрилат натрия, полиакриламид и др.). Из органических флокулянтов применяются природные и синтетические высокомолекулярные флокулянты, из неорганических – активная кремниевая кислота. Высокомолекулярные флокулянты, растворенные в воде, либо находятся в неионизированном состоянии в виде ассоциаций молекул, либо диссоциируют на ионы. Высокомолекулярные флокулянты могут использоваться вместо коагулянтов или (чаще всего) совместно с ними. Их использование совместно с минеральным коагулянтом осуществляется двумя способами [13]. В первом способе флокулянты применяют для улучшения процесса фильтрования и повышения грязеемкости фильтров и контактных осветлителей. На станциях с двухступенчатой очисткой флокулянты в этом способе дозируют перед фильтрами в воду, прошедшую сооружения 1-й ступени и содержащую мелкие, не задержанные в этих сооружениях хлопья; на станциях с одноступенчатой очисткой – перед контактным осветлителем. Во втором способе, наиболее распространенном, флокулянты применяют для общего улучшения процесса очистки воды в отстойниках и осветлителях с взвешенным осадком и на фильтрах. Флокулянты в этом способе вводят в воду перед сооружениями I ступени в количестве, достаточном для интенсификации их работы. В настоящее время флокулянты используются на водопроводных

станциях многих городов мира. На московских водопроводных станциях осадок образуется в результате очистки природных поверхностных вод алюмосодержащими коагулянтами – сульфатом алюминия и оксихлоридом алюминия – из расчета 5-7 мг/л (по  $Al_2O_3$ ) [14]. В ряде случаев совместно с коагулянтами применяется полимерный флокулянт дозой 0,05-0,1 мг/л. Образующийся осадок накапливается в отстойниках в течение 15-30 сут. в зависимости от качества воды, ее температуры и седиментационных свойств осадка. Из отстойников осадок удаляется с влажностью 99-99,9%. Эффективные результаты осветления воды получены отстаиванием ее при совместном применении полиакриламида и сульфата алюминия [11].

Образовавшуюся хлопьевидную массу выделяют из воды в отстойниках или специальных осветлителях, напорных или открытых фильтрах и контактных осветлителях с загрузкой из зернистых материалов и направляют на дальнейшую обработку.

Например, по [39], на территории бывшего СССР на подавляющем большинстве очистных водопроводных станций принята двухступенчатая схема очистки воды с горизонтальными отстойниками и скорыми фильтрами, а в качестве коагулянта применяется серноокислый алюминий. По классификации примесей в воде, предложенной академиком Л.А.Кульским [40] и принятой повсеместно в настоящее время, очистка воды осуществляется от взвешенных примесей I и II дисперсных групп грубодисперсной и коллоидной степени дисперсности. Осадки таких водопроводных очистных сооружений можно классифицировать по четырем группам водоисточников с указанием основных физико-химических свойств:

- Первая группа – осадки, обладающие наиболее высоким удельным сопротивлением фильтрации  $(800 - 1600) \cdot 10^{10}$  см/г, плохо отдающие воду при уплотнении и обезвоживании. Это осадки станций, водозаборы которых расположены на водохранилищах, характеризующихся малой мутностью воды (3-5 мг/дм<sup>3</sup>) и средней цветностью (35 - 120 град. пкш). Органическая часть таких осадков составляет около половины (58-63%) веса сухого вещества и представлена в основном остатками водорослей. Незначительное количество минеральных примесей в воде и высокая ее цветность, наличие органики и коллоидов приводят к образованию рыхлых с гелеобразной структурой осадков, содержащих трудно освобождаемую при обычных методах воздействия структурно заземленную воду.

- Вторая группа – осадки рек с малым (1-50 мг/дм<sup>3</sup>) содержанием взвеси и, как правило, малой (до 35 град, пкш) цветностью воды. Количество органических веществ составляет 35-45%. Величина удельного сопротивления фильтрации таких осадков составляет  $(350-900) \cdot 10^{10}$  см/г. Эти осадки уже лучше отдают воду.

- Третья группа – осадки, образованные при обработке вод, характеризующихся средней мутностью воды (50-250 мг/дм<sup>3</sup>) и цветностью, не превышающей 35 град. Данные осадки имеют значительное количество крупных включений, содержание органических веществ в них не превышает 30%, а коллоидных гидроксидов содержится не более 3-6%. При уплотнении таких

осадков наблюдается деформация их структуры, они сравнительно легко отдают воду, обладая при этом небольшим удельным сопротивлением фильтрации  $(100-170) \cdot 10^{10}$  м/кг.

- Четвертая группа - осадки рек, берущих свое начало в горах и несущих в себе значительное количество крупнодисперсной взвеси, в среднем более  $250 \text{ мг/дм}^3$ . Такие осадки обладают наиболее плотной структурой с незначительным содержанием органики. Удельное сопротивление фильтрации таких осадков не превышает  $(10-160) \cdot 10^{10}$  см/г.

В зависимости от преобладающего состава и свойств осадка той или иной станции могут быть выбраны различные схемы их обезвоживания и утилизации [39].

Рекомендуемые схемы обработки осадков по группам водоисточников приведены на рисунках 1.1 – 1.4.

Для первой группы:

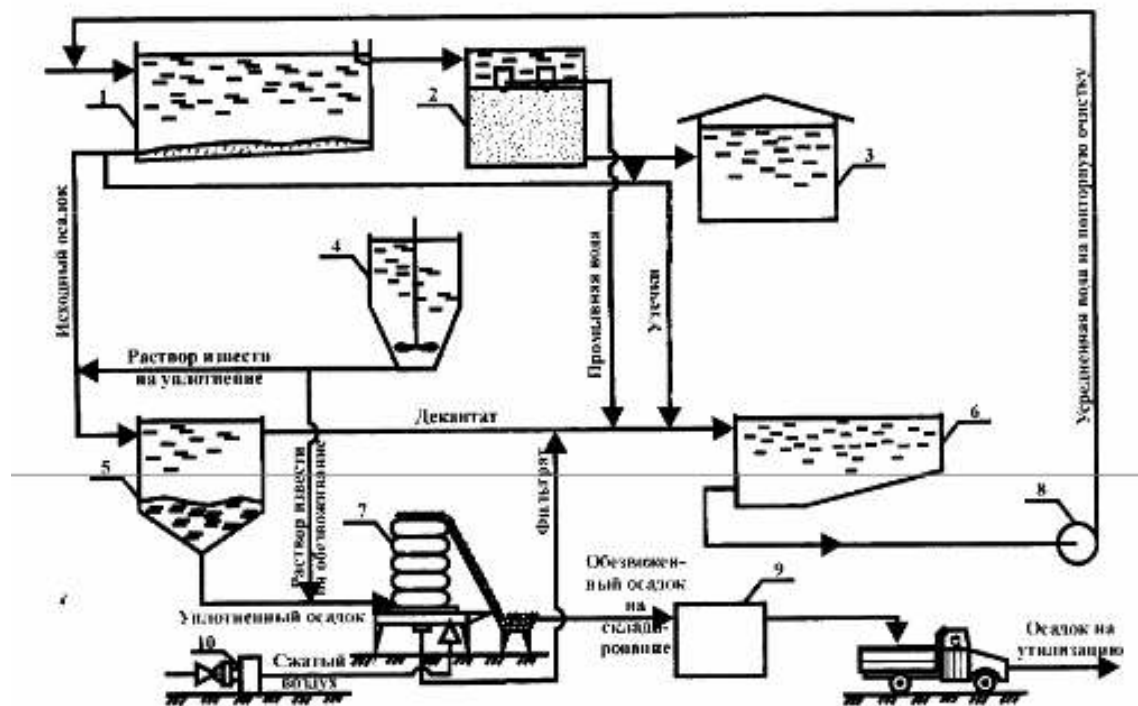


Рисунок 1.1 – Схема обработки осадков первой группы водоисточников [39]: 1 – горизонтальный отстойник; 2 – скорый фильтр; 3 – РЧВ; 4 – емкости для приготовления известкового молока; 5 – уплотнитель осадка; 6 – резервуар-усреднитель промывной воды; 7 – цех фильтр-прессов; 8 – насос перекачки усредненной воды; 9 – территория для складирования; 10 – компрессор высокого давления

Для второй группы:

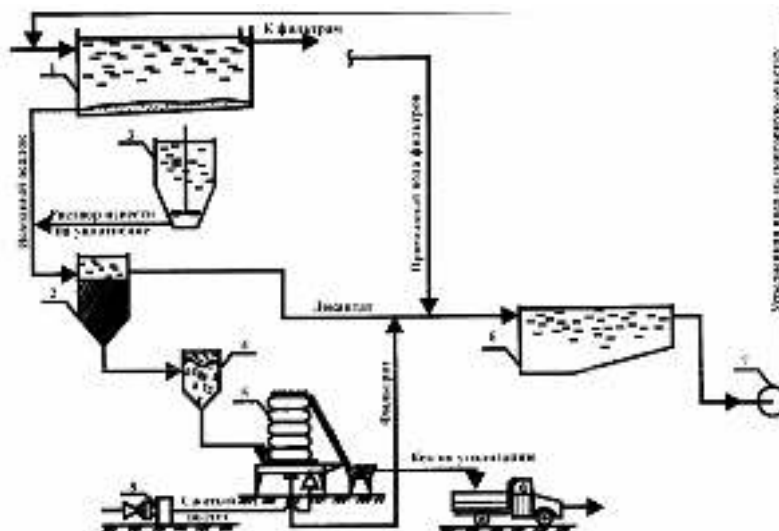


Рисунок 1.2 – Схема обработки осадков второй группы водоисточников [39]: 1 – горизонтальный отстойник; 2 – осадкоуплотнитель; 3 – емкости для приготовления известкового молока; 4 – накопитель уплотненного осадка; 5 – фильтр-пресс; 6 – резервуар-усреднитель промывной воды; 7 – насос перекачки усредненной воды; 8 – компрессор высокого давления

Для третьей группы:

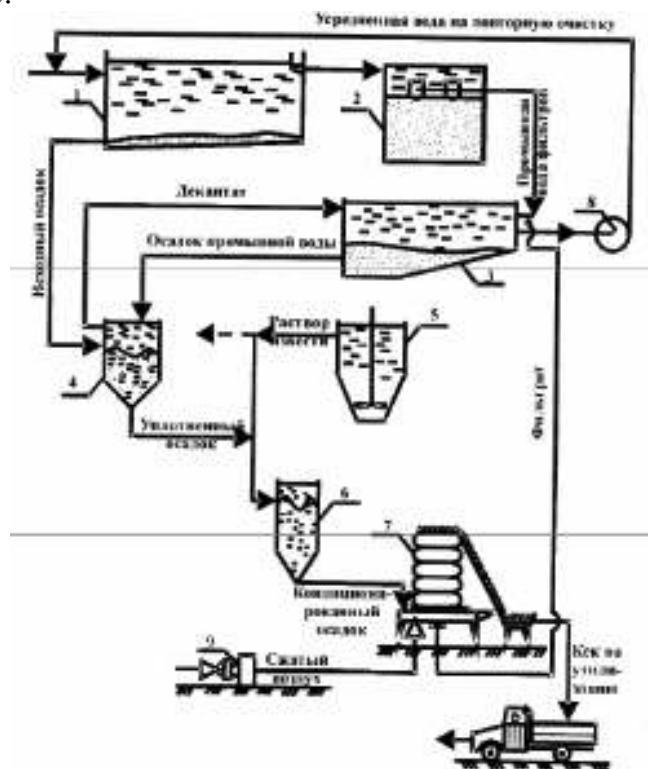


Рисунок 1.3 – Схема обработки осадков третьей группы водоисточников [39]: 1 – горизонтальный отстойник; 2 – скорый фильтр; 3 – резервуар-усреднитель промывной воды; 4 – осадкоуплотнитель; 5 – емкости для приготовления известкового молока; 6 – накопитель уплотненного осадка; 7 – фильтр-пресс; 8 – насос перекачки усредненной воды; 9 – компрессор высокого давления



Для четвертой группы:

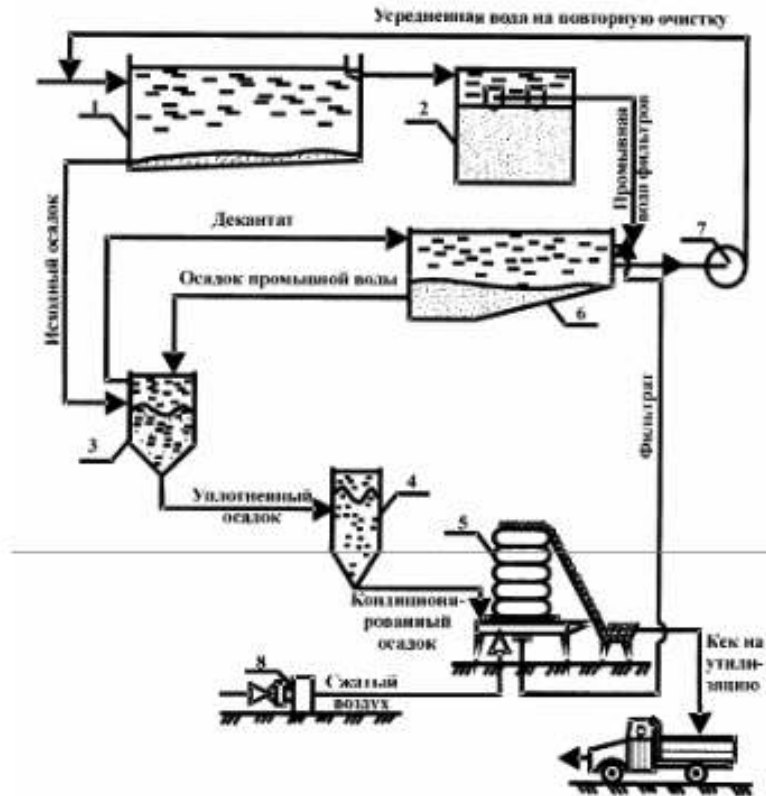


Рисунок 1.4 – Схема обработки осадков четвертой группы водоисточников [39]: 1 – горизонтальный отстойник; 2 – скорый фильтр; 3 – осадкоуплотнитель; 4 – накопитель уплотненного осадка; 5 – фильтр-пресс; 6 – резервуар-усреднитель промывочной воды; 7 – насос перекачки усредненной воды; 8 – компрессор высокого давления

## 1.2 Основные свойства и состав водопроводного осадка

Состав и свойства осадка определяются в первую очередь качеством воды в водоисточнике [8].

Коагуляционный осадок, образующийся на водопроводных станциях в ходе очистки поверхностных вод, представляет собой сложную многокомпонентную систему с сильно развитой поверхностью, объединяющую в единое целое комплекс различных по происхождению, качеству и свойствам веществ.

Дисперсионный состав осадков природных вод поверхностных водоисточников представлен грубодисперсными минеральными и органическими частицами размером от  $10^{-4}$  см и более, которые поддерживаются в исходной воде во взвешенном состоянии за счет гидродинамических сил движущейся воды, а также высокодисперсными коллоидными системами, включающими высокомолекулярные вещества размером частиц  $10^{-4} - 10^{-5}$  см [46]. Основными компонентами осадка, по внешнему виду представляющего собой гелеобразную массу серо-коричневого цвета, являются продукты гидролиза химических

реагентов (гидроксиды алюминия и железа, кремниевая кислота неорганических флокулянтов) в сочетании с минеральными (каолинит, монтмориллонит, гидрослюда, кварц, карбонаты, нерастворимые или малорастворимые соли металлов и др.) и органическим (планктоном, микроорганизмами и бактериями, продуктами жизнедеятельности водных организмов и растений, коллоидами гуминовых и фульвокислот, адсорбированными высокомолекулярными флокулянтами и др.) веществами [1, 15, 16, 8, 17, 18, 19]. Обычно для свежего осадка высокоцветных и маломутных вод, содержание сухого вещества составляет 0,3-0,4%, а для осадка вод средней цветности – 0,4-0,8%, однако для осадка мутных вод этот показатель составляет 0,8-3% и более.

Свойства осадков, образующихся в одном и том же сооружении, могут различаться по сезонам года. Например, при сохранении высокой обводнённости (96–98 %) осадков станции водоподготовки города Челябинска удельное сопротивление фильтрации осадков значительно изменяется от  $1470 \cdot 10^{10}$  до  $5750 \cdot 10^{10}$  м/кг.

Основным компонентом водопроводного осадка является гидроксид алюминия, который образуется в процессе гидролиза коагулянта до  $Al_2O_3$  (25-45%). Главными примесями водопроводного осадка являются содержащиеся в очищаемой воде глинистые частицы, мелкий песок, частицы карбонатных пород, органические вещества, фитопланктон и др. ( $SiO_2$  – 8-20% , органические вещества – 15-40%;  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $TiO_2$ ,  $K_2O$ ,  $Na_2O$  – от 0,1 до 3,0 %). В осадках обычно содержатся различные металлы, нефтепродукты, бактерии и др. [9].

Органическая часть состава осадков представлена илом, фито- и зоопланктоном, коллоидами гуминовых и фульвокислот. На практике их суммарное содержание определяется как величина потери при прокаливании сухого осадка при  $500^{\circ}C$ . Для высокоцветных и маломутных вод эта величина достигает 70%, а для осадков мутных малоцветных вод она обычно не превышает 20 - 25%. Бактериологический анализ осадков показывает наличие вегетативных и споровых форм бактерий. Бактерии группы кишечные палочки соіі в указанных осадках практически отсутствуют. Исследования, выполненные на водопроводных станциях, показали, что для осадка вод волжского и московского водоисточников характерно наличие вегетативных и споровых форм бактерий. В тех случаях, когда при обеззараживании воды применяется предварительная обработка ее хлором - бактериальное загрязнение осадка резко снижается [41]. Доминирующими элементами осадков, как показали исследования, являются углерод (34 %) и кислород (54 %). Присутствие кремния в значительных количествах (1,8–2,5 %) обусловлено массовым развитием диатомовых водорослей в водохранилище. Некоторые элементы, такие как алюминий (6 %) и марганец (0,4 %), поступают в воду в процессе ее обработки на очистных сооружениях и депонируются в осадках [59].

Химический состав и физические свойства водопроводного осадка из отстойников и контактных осветлителей приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Химический состав и физические свойства водопроводного осадка [8, 21]

Показатель	Из отстойников водопроводных станций г. Москвы			Из контактных осветлителей водопроводных станций		
	Северной	Западной	Рублевской	Петербурга		Сестрорецка
				Северной	Южной	
Влажность, %	99,7-95	99,2-93,6	99,2-94	99,5-97	99,5-96	99,6-98,5
Потери при прокаливании, %	40-60	24-28	22-28	27-60	30-60	65-67
БПК <sub>5</sub> , мг/л	145-160	125-134				
ХПК, мг/л	4000-4500	5810-7120				
Состав прокаленного остатка, %:						
SiO <sub>2</sub>	1,6-7	27-42	30-40	8-28	8-28,6	5-7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20-36	15-20	14-15	15-24,5	17-25	20-30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,8-2,8	2-5	2,6-5	0,2-1,8	0,2-1,8	2-5
CaO	1-3 (23*)	2-3	1,5-2,5	0,2-0,5	0,1-0,3	1,5-2
MgO	0,3-1,3	0,6-1,2	0,6-1,1	0,4-0,6	0,2-3,5	0,8-3,5
Нерастворимый в кислоте остаток (по разности), %	5-16	33-47	27-42,5	20-25	2-8	2-8
Начальное удельное сопротивление, г · 10 <sup>10</sup> см/г	1870-2590	850-1420	1050-1980	-	-	-

\* Повышенное количество CaO объясняется подщелачиванием воды в период отбора пробы.

В таблице 1.3 представлены данные по сезонным изменениям состава водопроводных осадков некоторых станций г. Москвы. Колебания показателей незначительны, марганец присутствует только в летний период, возможно проводилось марганцевание для окисления органики.

Таблица 1.3 - Химический состав водопроводных станций г. Москвы в разные сезоны, [1]

Сезон	Влажность, %	ППП, %	Твердая фаза, %	pH	Al <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	ОВ, %
Северная станция										
Весна	96	40,4	3,77	6,5-7	21	2	7,50	1,10	-	9,24/15,4
Лето	95	32,1	4,25	6,2-6,6	26,29	1,71	9,20	2,80	0,24	5,73/9,74
Осень	96	37,21	3,79	6,5-6,9	24,50	1,21	10,40	1,76	-	8,92/15,25
Рублевская станция										
Весна	96	33	4,50	6,2-6,5	10,23	1,27	4,50	-	-	-
Лето	97	33,5	3,85	6,2-6,5	9,12	1,12	3,70	-	-	-
Осень	97	33,25	3,92	6,2-6,5	9,56	1,01	3,95	-	-	-

Примечание. Режим очистки: постоянное коагулирование и известкование. Органика: числитель ОВ – органические вещества, выраженные в углероде, знаменательно – то же, выраженные в гуминовых веществах. ППП – потери при прокаливании.

Основными свойствами осадка, во многом определяющими выбор технологической схемы его обработки и утилизации, являются влажность, плотность, водоотдающая способность, угол скольжения, вязкость и др.

**Плотность** осадков маломутных высокоцветных вод мало отличается от плотности осадка из хлопьев чистого гидроксида железа и немного превышает плотность осадка из хлопьев чистого гидроксида алюминия. Возрастание мутности исходной воды приводит к увеличению плотности образовавшегося осадка. При этом снижается процентное содержание гидроксида в осадке. Под действием собственного веса происходит деформация структуры осадка и выдавливание свободной влаги. Введение высокомолекулярных флокулянтов совместно с минеральными коагулянтами позволяет получить более плотный осадок. Количественное соотношение гидроксида коагулянта и остальных компонентов определяет структуру осадка и его плотность. Плотность хлопьев гидроксидов приближается к плотности воды:  $\rho(\text{Al}(\text{OH})_3)=1060\text{кг/м}^3$ ;  $\rho(\text{Fe}(\text{OH})_3)=1020\text{кг/м}^3$ . В среднем осадки из отстойников имеют плотность 1002—1030 кг/м<sup>3</sup>.

**Угол скольжения** — важный технологический показатель, характеризующий способность осадка перемещаться под действием силы тяжести по наклонной поверхности. Обычно для осадков, содержащих гидроксид алюминия, он изменяется в пределах 50—70°.

**Влажность** — один из основных показателей, показывающий содержание воды в осадке, определяющий количество и качество осадка, а соответственно объемы и стоимость сооружений для его обработки. Обычно влажность осадков, образующихся в процессе реагентной очистки вод поверхностных источников, колеблется в широких пределах — от 92—94 до 99,5— 99,8 % в зависимости от качества исходной воды и технологической схемы ее очистки, причем вода может находиться в различных формах связи (по нарастанию степени связанности): свободная, физико-механически связанная с твердыми частицами, физико-химически связанная и, наконец, химически связанная вода, входящая в состав вещества и не удаляемая даже при термической сушке осадков.

*Химически связанная влага.* Под химически связанной влагой понимают воду гидроокиси, которая в результате реакции гидратации вошла в состав гидроокисей и соединений типа кристаллогидратов. Связь нарушается только в результате химического взаимодействия (иногда в результате прокаливания), и влага не удаляется при сушке. *Адсорбционно связанная влага.* Влажность обусловлена адсорбцией воды на наружной поверхности материала и на поверхности его пор. *Осмотически связанная* влага находится внутри структурного скелета материала и удерживается осмотическими силами.

Существует несколько классификаций влаги в осадке по различным видам связи ее с частицами.

Принята следующая классификация: избыточная влага; осмотическая влага; влага, находящаяся в макропорах (диаметр более 0,1 мкм); влага с иммобилизованной структурой; влага, находящаяся в микропорах (диаметр менее 0,1 мкм); влага, адсорбированная в виде полимолекулярной пленки; влага, адсорбированная в виде мономолекулярной пленки.

Указано, что в гравитационном поле из осадка может быть удалена лишь избыточная влага; при обезвоживании под вакуумом из осадка удаляется также осмотическая влага и влага, находящаяся в макропорах; при обезвоживании в центрифугах в осадке остается только влага, находящаяся в микропорах, и адсорбированная влага; все виды влаги могут быть удалены термической сушкой.

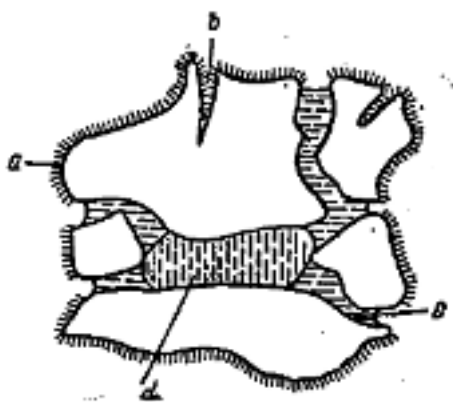


Рисунок 1.5 – Распределение различных видов влаги в осадке: *a*—пленочная; *b* — капиллярная; *c* — перовая связанная; *d* — поровая несвязанная.

Пленочная влага (см. рисунок 1.5) удерживается на поверхности частиц остаточными молекулярными силами и перемещается из мест с большей толщиной пленки в места с меньшей ее толщиной. Капиллярная влага размещается в узких щелях внутри твердых частиц. Поровая связанная влага находится вблизи точек соприкосновения твердых частиц и ее перемещение зависит от соотношения капиллярных сил и градиента давления воздуха при обезвоживании. Поровая несвязанная влага находится в пространстве между твердыми частицами и ее перемещение также зависит от действия капиллярных сил.

Механическими методами обезвоживания, а также естественной сушкой на иловых площадках из осадков удаляется значительная часть избыточной и осмотической воды. Вода микро- и макропор удаляется выпариванием или под действием давления [42].

**Водоотдающая способность** – основной технологический показатель водопроводных осадков, который определяет выбор способа их обработки. Возможность изменения влажности осадков зависит от водоотдающей способности осадка, которая определяется как его структурой, обуславливающей возможность удержания того или иного количества структурированной свободной влаги, так и способностью твердой фазы осадков связывать влагу. Характеризуется удельным, сопротивлением осадка фильтрации –  $\gamma$ , оказываемым единицей массы твердой фазы, равномерно отлагающейся на единице площади фильтра при фильтровании осадка (вязкость жидкой фазы равна единице). Его значение тем ниже, чем выше водоотдача осадка, и, наоборот, снижение водоотдачи осадка характеризуется повышением значения  $\gamma$ .

Значение удельного сопротивления осадка может быть рассчитано из уравнения Рута – Кармана. Это уравнение наиболее полно охватывает теорию фильтрования с учетом скорости фильтрования, давления (или прилагаемого вакуума), способности осадка к влагоотдаче [43].

$$v_{\phi} = \frac{dV_{\phi}}{S dt} = \frac{\Delta p}{\mu (R_{oc} + R_{\phi, n})} = \frac{\Delta p}{\mu (r_{oc} h_{oc} + R_{\phi, n})},$$

где  $V_{\phi}$  – объём фильтрата;  $S$  – площадь поверхности фильтрования;  $t$  – время фильтрования;  $\Delta p$  – разность давлений;  $\mu$  – вязкость фильтрата;  $R_{oc}$  – сопротивление слоя осадка;  $r_{oc}$  – удельное сопротивление слоя осадка;  $h_{oc}$  – высота слоя осадка;  $R_{\phi, n}$  – сопротивление фильтровальной перегородки.

Параметр  $b$  определяется опытным путем. Наиболее простым является способ, предложенный П.Коаклеем и В.Джонсоном, где в процессе фильтрования через определенные промежутки времени замеряется объём образующегося фильтрата. По графической зависимости  $t/V=f(V)$ , (где  $t$ -время,  $V$ -объём фильтрата) вычисляется коэффициент  $b$ .

Для большинства гидроксидных осадков природных вод значение  $\gamma$  колеблется в широких пределах в зависимости от качества исходной воды, из которой получен конкретный осадок, а также от дозы и вида реагентов, используемых при очистке воды. Удельное сопротивление фильтрованию

изменяется от  $(7 - 20) \cdot 10^{10}$  см/г для осадков, полученных обработкой высокомутных вод до  $(1200 - 1400) \cdot 10^{10}$  см/г для осадков, полученных коагулированием маломутных вод высокой цветности [44]. При обезвоживании осадков, удельное сопротивление фильтрации которых превышает  $500 \cdot 10^{10}$  м/кг, необходимо осуществлять их предварительную подготовку, которая, например, может осуществляться с помощью химических реагентов (минеральные соли, органические флокулянты) или термической обработкой (замораживание — оттаивание или нагревание).

**Сжимаемость** проявляется в результате деформации самих частиц и при разрушении агрегированных хлопьев и сольватных оболочек. Увеличение сжимаемости осадка при обезвоживании обуславливает увеличение его удельного сопротивления фильтрации и, соответственно, снижение водоотдающей способности. Удельное сопротивление фильтрации сжимаемых осадков зависит от перепада давления и возрастает с увеличением давления тем больше, чем больше их сжимаемость. Показатель сжимаемости  $S$  для гидроксидных осадков различного исходного качества изменяется в пределах 0,6—1,2, но в отдельных случаях может выходить за эти пределы. Значение показателя сжимаемости  $S$  позволяет судить о возможности применения тех или иных механических аппаратов.

В общем случае осадок природных вод обладает свойствами вязкопластической жидкости и характеризуется высокой влажностью (от 92-94 до 99,5-99,8% в зависимости от качества исходной воды и технологической схемы ее обработки), высоким специфическим сопротивлением фильтрации ( $10^{10} - 10^{12}$  м/кг), несколько меняющимся при изменении температуры, рН среды и начальной влажности, развитой внутренней поверхностью (от нескольких десятков до сотен  $\text{м}^2/\text{г}$ ), содержанием значительных количеств сапрофитных организмов ( $10^4 - 10^5$   $\text{мл}^{-1}$ ) и бактерий ( $10^3 - 10^4$   $\text{мл}^{-1}$ ), высокими значениями БПК<sub>5</sub> ( $\sim 80$   $\text{мгO}_2/\text{л}$ ) и ХПК ( $\sim 300$   $\text{мгO}_2/\text{л}$ ). Осадок характеризуется относительно низким содержанием азота (0,5-0,9%  $\text{N}_{\text{общ}}$ ) и фосфора (1%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ). Гранулометрический состав осадка зависит от сезона года, а также от технологической схемы очистки воды и конструктивных особенностей сооружений, в которых он образуется [8]. Так, при двухступенчатой очистке воды наиболее крупные частицы задерживаются в отстойниках и осветлителях с взвешенным слоем. При одноступенчатой схеме очистки воды осадок содержит частицы всех размеров. Существенное влияние на гранулометрический состав осадка оказывает наличие в воде гуминовых веществ, основная масса которых обычно представлена коллоидными гуминовыми кислотами и (особенно) фульвокислотами, а также органоминеральными взвешенными веществами. Коллоидные фульвокислоты имеют более высокую степень дисперсности, чем гуминовые, и обладают повышенной устойчивостью к действию сорбентов и окислителей. Состав и свойства осадков, зависящие от качества воды, из которой они получены, влияют на интенсивность и глубину их уплотнения [1]. В осадке мутных вод нерастворимый осадок составляет 40-50%, в то время как в осадке цветных вод — лишь 2-15%. С увеличением в исходной воде минеральных примесей осадок получается более плотным и возрастает скорость

протекания процесса уплотнения. Увеличение цветности воды и сокращение содержания в ней минеральных примесей приводит к образованию легкого (рыхлого) осадка высокой влажности, степень уплотнения которого снижается, а продолжительность уплотнения возрастает. Так, если для гравитационного уплотнения осадка вод повышенной мутности достаточно всего несколько часов, то для уплотнения осадка маломутных высокоцветных вод требуются десятки и сотни часов, при этом в первом случае в процессе уплотнения влажность осадка снижается до 92-94%, а во втором – до 98-99%. Плотность осадка варьируется в пределах 1002-1041 кг/м<sup>3</sup>.

В зависимости от используемых реагентов, используемых при доведении природной воды до питьевой - различают осадок, образованный с помощью солей алюминия и железа, флокулянтов, сочетания минеральных коагулянтов и флокулянтов. Содержание твердого вещества в осадке, полученном в осветлителе, составляет 0,6 - 4%, в вертикальных отстойниках этот показатель находится в диапазоне 0,1 - 1,5%, а в горизонтальных отстойниках – 3 - 6%. Диоксид кремния находится в осадке в виде кремниевой или поликремниевой кислоты. При использовании сульфата или хлорида Fe (III) определяющими компонентами осадка являются оксиды железа и кальция. В случаях, когда для повышения щелочного резерва в воду добавляют известь, содержание солей кальция в осадке может достигать 30% и более по массе сухого вещества. Содержание органических веществ в водопроводном осадке (в пересчете на органический углерод) Северной водопроводной станции г. Москвы находится в пределах 5,7-16,7%. В составе органических веществ преобладают фульвокислоты, относительное содержание которых составляет 81,3% [1].

Максимальное количество гуминовых веществ закономерно характерно для осадка, образующегося в летний период. Осадок из горизонтальных отстойников Кочетовской водопроводной станции (г. Харьков), где применяется электрокоагуляционная обработка, более 45% частиц имеют размер менее 1 мкм и такой осадок представляет собой тонкодисперсную суспензию, преимущественно каолинитового состава, содержащую также примеси кварца, карбонатов, слюд и органических веществ. Осадок, полученный в результате осветления вод южных рек России, по своим физико-химическим свойствам отличается от осадка рек центральных районов повышенным содержанием минеральных примесей (75-90%), большим содержанием SiO<sub>2</sub> (55-75%), низким Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2-10%) [41].

Среднее содержание гидроксида алюминия Al(OH)<sub>3</sub> в абсолютно сухом водопроводном осадке является важнейшей характеристикой его химического состава, физических и, соответственно, технологических свойств. На водопроводных станциях, где водоподготовка осуществляется с применением коагулянта на основе алюминия, образуются осадки, которые по содержанию алюминия (на сухую массу) могут быть разделены на следующие технологические группы, представленные на рисунке 1.6 [18]:





Рисунок 1.6 – Технологические группы видов осадков, составлено автором по [18]

Осадок первых двух групп является биологически инертным, как правило, не склонным к загниванию и характеризуется относительно невысоким содержанием органических поллютантов. Евтрофированный осадок является переходной группой, отличается склонностью к загниванию и повышенным содержанием органических веществ. Применение полимерных флокулянтов на стадии коагуляции природной воды отчасти сглаживает технологические различия между перечисленными группами осадков, улучшая его седиментационные свойства, способность к уплотнению и механическому обезвоживанию. Как правило, осадок, образующийся при обработке воды катионными флокулянтами, характеризуется более крупными и прочными хлопьями, чем это наблюдается при использовании минеральных коагулянтов. Анионные флокулянты обычно используются в сочетании с минеральными коагулянтами. Осадок, образующийся при этом, состоит из загрязнений, скоагулированных гидроксидами алюминия или железа в хлопья, которые объединены в крупные агрегаты с помощью макроионов флокулянтов. Адсорбируясь одновременно на нескольких твердых частицах, принадлежащих разным хлопьям, эти макроионы объединяют всю массу осадка полимерными мостиками в единое целое. Применение в процессе водоподготовки полимерных электролитов (флокулянтов) позволяет уменьшить дозу коагулянта и, как следствие, снизить содержание гидроксида алюминия в осадке и образование сухого вещества [20].

При двухступенчатой схеме очистки воды осадок образуется либо в горизонтальных, либо в вертикальных отстойниках и в осветлителях с взвешенным осадком (в осадкоуплотнителях). Если применяется одноступенчатая схема очистки, то осадок образуются при отстаивании промывных вод контактных

осветлителей, скорых двухпоточных фильтров, префильтров и т. д. Способы обработки осадка с целью его обезвоживания различны и зависят как от качества воды в водоисточнике, так и от схемы очистки воды, вида и доз применяемых реагентов. Важно отметить, что свойства осадков изменяются в очень широких пределах и зависят от состава и основных физикохимических характеристик поступающей на обработку поверхностной воды, поэтому для каждого очистных сооружений вопрос обработки и использования осадка, как правило, решается отдельно [1].

Состав осадков, образующихся на ОСВ при обработке вод Шершневого водохранилища, напрямую зависит от качества воды в нем и сооружений, в которых образовывается осадок. По химическому составу вода относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция. Кислородный режим поверхностного слоя водоема в основном хороший: содержание растворенного кислорода варьируется от 5,45 до 13,50 мг/л. Концентрация биогенных веществ в течение года, в основном, находится в нормативных рамках. Концентрации нефтепродуктов, фторидов и СПАВ не превышают предельно допустимого уровня. По содержанию взвешенных веществ вода в Шершневском водохранилище является маломутной, в зависимости от периода года может быть средней и высокой цветности [38].

Важно отметить, что свойства водопроводного осадка изменяются в очень широких пределах и зависят от состава и основных физико-химических характеристик поступающей на обработку поверхностной воды, поэтому для каждого очистных сооружений вопрос обработки и использования осадка, как правило, решается отдельно.

### **Выводы:**

1. На основе существующих публикаций изучены состав и свойства осадков различных станций водоподготовки.
2. В данной работе необходимо сравнить свойства осадков ОСВ г. Челябинска с осадками аналогичных ОСВ.
3. Изучить влияние условий образования (формирования) осадка ОСВ г. Челябинска на его водоотдающую способность.

## 2 МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ ПРИРОДНЫХ ВОД, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ

### 2.1 Обработка водопроводного осадка

Выбор конкретной технологии обработки осадков зависит от его свойств, региональных возможностей размещения, создания и эксплуатации соответствующих цехов, производств и объектов. Л.А. Кульский теоретически обосновал классификацию примесей воды по их фазоводисперсному состоянию, разделив их на четыре группы [39]:

- Взвеси (грубодисперсные примеси);
- Коллоидные растворы;
- Молекулярные растворы;
- Ионные растворы.

В настоящее время большинство водопроводных станций очищает воду от взвешенных веществ I и II дисперсных групп: грубодисперсной (взвесей) и коллоидной степени дисперсности.

Отечественная практика промышленной обработки осадков природных вод находится в стадии освоения технологических процессов, поэтому в настоящее время готовых типовых решений не существует. Выбор оптимальной технологии должен основываться на экспериментальных исследованиях с реальным осадком и с учетом существующей технологической схемы обработки воды и образования осадка, а также других факторов [47].

Можно выделить несколько основных *способов обработки осадков*:

- механическое обезвоживание осадков с реагентами на камерных и ленточных фильтрах-прессах, центрифугах и других аппаратах с предварительным кондиционированием;
- обработка осадка природных вод совместно с осадками сточных вод на станциях очистки сточных вод;
- обработка осадка с одновременной регенерацией коагулянта;
- естественное замораживание и оттаивание осадка на площадках замораживания в соответствии с климатическими условиями
- сброс осадка в поверхностные водотоки и водоемы и др.

Основным технологическим показателем осадка, который определяет выбор способа его обработки и обезвоживания, является его водоотдающая способность, характеризующаяся удельным сопротивлением фильтрации. По [48] в основу разработанной классификации осадков получаемых после переработки природных поверхностных вод, при выборе метода обработки, в основу вложили именно величину удельного сопротивления фильтрации, которая зависит непосредственно от свойств самого осадка, с последующим разделением осадка на четыре группы водоисточников по происхождению. Предложенное разделение всех осадков, образующихся на водопроводных станциях при очистке воды, на четыре группы позволило для каждой из групп разработать универсальные

методы подготовки и обезвоживания с возможностью последующей их утилизации.

На основании проведенных лабораторных и опытно-промышленных исследований обоснованы основные направления утилизации обезвоженных осадков в различных отраслях хозяйства, представленные в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Основные направления утилизации осадка водопроводных станций [48]

Классификация водоисточников по группам	Количество осадков, образующихся на станциях Украины, т/сутки		Область утилизации осадков	Стадия промышленного внедрения
	по сухому веществу	при влажности 40-60% после обезвоживания		
I маломутные до 50 мг/л, среднецветные	112,8	1340	Металлургия (защитное покрытие для поддонов и изложниц)	Промышленные испытания, г. Мариуполь, «Азовсталь»
II маломутные, высокоцветные	47,5	550	Строительные материалы (производство керамзита)	Рабочая документация. г. Киев, строительство
			Сельское хозяйство	Полевые испытания
III - IV средней мутности (50 250 мг/л) малоцветные; высокомутные, более 250 мг/л, малоцветные	286,0	2832	Строительные материалы (производство цемента)	Рабочая документация, г. Харьков
			Антикоррозионные покрытия	Промышленные испытания, г. Харьков

Первая стадия значительного количества схем по обработке осадков – уплотнение. Это вытекает из первоначально высокой степени влажности [1, 16, 22]. Целью предварительного уплотнения является сокращение объема осадка с выделением части свободно-защемленной воды. Снижение объема осадка методом уплотнения – наиболее доступный и простой способ частичного удаления влаги, который в последующем позволяет снизить затраты на обработку осадка. Повышение степени уплотнения достигается путем введения добавок, присадок, реагентов, а также при постоянном перемешивании на малых

скоростях, вследствие нарушения структуры осадка. Увеличение скорости уплотнения можно добиться при помощи специальных аппаратов – кавитаторов, которые позволяют значительно увеличить скорость перемешивания. Значительного эффекта можно достичь при уплотнении предварительно обработанного полиакриламидом водопроводного осадка, эффективная доза которого составляет 0,02-0,044% в пересчете на сухую массу обрабатываемого водопроводного осадка. В качестве подтверждающего примера может послужить тот факт, что введение полиакриламида при уплотнении с помощью медленного перемешивания осадка вод р. Нева и Клязьменского водохранилища, концентрация осадка достигла отметки 5%, а время уплотнения снизилось с восьми до четырех часов (в 2 раза). При обычных условиях, обезвоживание водопроводного осадка протекает крайне медленно (особенно неохотно отдает осадок, получаемый из маломутных цветных вод, которые содержат значительное количество соединений органического характера). Если предположить, что уплотнение осадка естественным путем будет продолжаться в течении нескольких лет, то его влажность будет составлять 90%. Гравитационное (естественное) уплотнение осадка длится около 90 суток, однако значительные результаты достигаются в течении первых десяти дней. Дальнейший процесс уплотнения протекает крайне медленно.

Теоретически, процесс гравитационного уплотнения осадка, можно описать как естественное фильтрование свободной влаги под воздействием давления, которое численно равно разности давления высоты (столба) суспензии и пьезометрического напора воды. Однако, в следствие протекания жидкости по капиллярам, изменяется сама геометрия проводящих каналов, что негативно сказывается на градиент давления вдоль оси осадка и он изменяется по степенной функции пористости осадка, а не по закону Дарси, который выражает зависимость скорости фильтрации от градиента напора. Для гравитационного осадкоуплотнения характерно наличие трех зон уплотнения (рисунок X).



Рисунок 2.1 - Зоны гравитационного осадкоуплотнения

Значения между границами выделенных зон гравитационного осадкоуплотнения колеблются в следующих диапазонах: между зоной

естественного осаждения и зоной фильтрации содержание твердой фазы достигает отметки в 1,6%, а между зонами фильтрации и уплотнения, этот показатель составляет 2,3% [49]. Авторами [50] установлено, что медленное перемешивание осадка с периферийной скоростью вращения лопастей мешалки 1-1,5 м/мин. позволяет увеличить скорость его уплотнения на 30-70% и повысить содержание твердой фазы в нем в 1,4-2,2 раза. В основе этого явления лежит, по-видимому, известный в коллоидной химии эффект реопексии (т.е. структурообразование под действием возмущений).

Внедрение реагентов, таких как известь и различные коагулянты, флокулянты, в значительной степени оказывают влияние на увеличение скорости протекания процесса уплотнения. Продувка воздухом и промывка водой также дают положительный эффект. Применение данных методов позволяют в короткое время (от нескольких часов до 2-5 суток) увеличить содержание твердой фазы в уплотняющемся осадке до 6%. Также в процессе обезвоживания рекомендуется добавление поверхностно-активных веществ и хлорноватистой кислоты благодаря которой, улучшается флотационное обезвоживание осадка, полученного на фильтровальных станциях [31].

После обезвоживания, независимо от выбранной технологии, любой осадок переходит в разряд отходов, а его хранение и вывоз может стать причиной резервирования огромных территориальных площадей.

### **2.1.1 Обработка осадка природных вод совместно с осадками сточных вод на станциях очистки сточных вод**

Обработка водопроводного осадка совместно с городскими сточными водами вызывает повышенный интерес и достаточно широко применяется. Данный метод является экономически выгодным, так как не требует больших капитальных затрат на его реализацию. На водопроводной станции необходимо строительство резервуара-усреднителя осадка и насосной станции. На станции очистки сточных вод требуется лишь некоторое увеличение эксплуатационных затрат. Существенным преимуществом является и то, что персоналу станции, где имеется цех механического обезвоживания, не требуется дополнительная профессиональная подготовка. При сбросе осадка в канализацию для предотвращения заиливания трубопроводов необходимо соблюдать уклон: при диаметрах трубопроводов 300 мм и менее угол наклона должен быть не менее 5°, при диаметрах в 400 мм и более — не менее 1,5°. При сбросе осадков природных вод в канализацию количество осадков на станции очистки сточных вод увеличивается на 2—5 %, максимально — на 10—20 % [47].

В то же время сброс осадка в городскую канализацию требует высоких затрат на его транспортирование и приводит к нарушению режима работы очистных сооружений (к увеличению гидравлической нагрузки, поступлению несвойственных веществ и др.)

Перед направлением водопроводного осадка на станцию очистки сточных вод необходимо выяснить [15]:

- путь прохождения осадка по канализационной сети и гидравлическую нагрузку на сеть;
- возможность сооружения прямого трубопровода от водопроводной станции к станции сточных вод;
- влияние осадка на процесс обработки сточных вод и на степень очистки;
- предотвращение обратного потока сточных вод из канализационной сети на водопроводные станции;
- возможность более равномерной перекачки осадка в канализационную сеть.

Как подчеркивается в [18], до внедрения комплексных технологий обработки водопроводных осадков на канализационных станциях г. Москвы, технологическое взаимодействие систем коммунального водоснабжения и водоотведения целесообразно развивать в следующих направлениях:

1) введение в практику эксплуатации водопроводных станций технологических регламентов, обеспечивающих равномерность вывода сточных вод (по сухому веществу осадка) в канализацию;

2) обработка водопроводного осадка флокулянтам перед выводом в канализацию с целью минимизации отрицательного воздействия на показатели работы первичных отстойников;

3) на очистных сооружениях канализации необходима частичная или полная замена аппаратного сгущения избыточного активного ила на аппаратное сгущение осадка первичных отстойников.

В общем случае при выборе технического решения в определенных условиях следует обратить внимание, что [14]:

1. Создание крупных производственных мощностей по механическому обезвоживанию осадка как на водопроводных станциях, так и на станциях водоотведения является дорогостоящим мероприятием. Централизация механического обезвоживания и инфраструктуры по вывозу и размещению осадка при станциях водоотведения представляется экономически оптимальным решением.

2. Прием водопроводного осадка, особенно от очистки высокоцветных природных вод, приводит к непропорциональному увеличению объемов осадка на станции водоотведения. Это не столь существенно при обезвоживании сырого осадка, но для схем, включающих в себя метантенки и уплотнители сброженного осадка, создает серьезные технические проблемы.

3. Перспективы утилизации (размещения) обезвоженных осадков канализационных очистных сооружений (как наиболее дорогостоящей части процесса очистки сточных вод) должны оказывать наибольшее воздействие на решение проблемы обезвоживания осадков водоподготовки. Ориентация на широкое применение осадков сточных вод в качестве удобрения стимулирует прием водопроводных в систему канализации. При неизбежности метода депонирования осадка станций аэрации совместная обработка двух видов осадков

становится менее экономичной, так как отдельно обезвоженный осадок имеет более широкие возможности утилизации. Ориентация на сжигание канализационных осадков также будет способствовать выделению осадка станций водоподготовки, обладающего высокой зольностью и низкой теплотворной способностью, в отдельный цикл переработки.

4. Подключение станций водоподготовки к системе канализации может повлечь за собой строительство капиталоемкой насосной станции с напорными водопроводами, затраты на строительство которой могут быть сопоставимы с затратами на создание цеха механического обезвоживания водопроводного осадка. Однако следует принимать во внимание тот факт, что при создании на водопроводных станциях сооружений для обезвоживания осадка возникает проблема сброса фильтрата, химический состав и бактериальная загрязненность которого свидетельствуют о нежелательности отведения его в голову сооружений водоподготовки. Очистка фильтрата перед сбросом в природный водоем или его передача в канализацию должны учитываться при технико-экономическом обосновании способа обработки водопроводного осадка.

5. При наличии технической возможности следует рассматривать вариант перекачки водопроводного осадка непосредственно в цех механического обезвоживания осадка, образующегося на станции аэрации.

### **2.1.2 Обезвоживание осадка в прудах-накопителях**

Применение прудов-накопителей для хранения и обезвоживания осадков, получаемых в результате функционирования водопроводных станций, в течение длительного периода естественного уплотнения с последующим отводом осветленной воды – получило широкое распространение во многих странах мира и используется по сей день [8]. Пруды-накопители представляют собой глубокие земляные емкости (чаще всего размером 120 x 200 x 5 м) с основанием выше уровня грунтовых вод, оборудованные устройствами для отвода осветленной воды с любого уровня по глубине накопителя. Обычно в практике находит применение технологическая схема, предусматривающая отвод в пруды-накопители исходного неуплотненного осадка, последующее уплотнение которого производится уже непосредственно в накопителе. Обезвоживание таким способом происходит благодаря испарению с поверхности и фильтрационному способу. Иловая жидкость из прудов-накопителей отводится в поверхностные водные объекты, что не исключает их заиления, или в голову очистных водопроводных сооружений. В значительной степени затрудняет обезвоживание в таких прудах наличие осадка, получаемого из маломутных вод, который содержит в себе гидроксид алюминия. В таком осадке даже при выдержке в несколько лет, содержание влаги колеблется в диапазоне 85-95%, а среднее значение твердой фазы не превышает 9%. Увеличить интенсивность работы таких прудов-накопителей позволяет применение добавки извести в количестве 25-30 % по СаО на сухую массу. Это позволит увеличить производительность такого



пруда в 2 – 2,5 раза. Дополнительное применение флокулянтов значительного эффекта не дает [9]. В районах, где отсутствует возможность промораживания, после отвода осветленной воды на поверхности пруда-накопителя образуется корка, препятствующая дальнейшему подсыханию осадка, который под этой коркой находится в тиксотропном состоянии и имеет желеобразную консистенцию с удельным сопротивлением сдвигу, равным нулю. В таком виде осадок может находиться в течение многих лет. После заполнения прудов-накопителей уплотненным осадком их навсегда выключают из работы или (в отдельных случаях) через ряд лет очищают для повторного использования.

СНиП 2.04.02-84 [23] регламентируют для использования в качестве прудов-накопителей использовать различные овраги, заброшенные карьеры, а также самостоятельно подготовленные площади. В некоторых южных регионах, применяются земляные емкости-накопители для обезвоживания и хранения гидроксидного осадка [24]. В качестве прудов-накопителей довольно часто используются и естественные объекты. Старицы. Так, до 1979 года, водопроводная станция Рублевская сбрасывала свои промывные воды в озеро Кружок, которое располагается недалеко от Захаровского карьера, общая площадь которого 43,7 га из которых на водное зеркало приходится 34 гектара. куда и стал осуществляться сброс с 1979 г. В среднем, этот карьер, принимает сорок три тонны в пересчете на сухой осадок в сутки. На сегодняшний день, объем накопленного осадка Захаровского карьера составляет 1,5 млн.м<sup>3</sup>. Поступление неосветленных стоков из карьера в р. Москву обуславливает заиление участка русла ниже сброса и загрязнение речной системы некоторыми химическими соединениями, прежде всего, алюминием и железом, которые, как известно, формируют с органическими веществами (фульвокислотами и т. п.) растворимые комплексные соединения [16]. Как известно, при уровне рН в диапазоне 4,5-9,5 ед.рН – алюминий выпадает в осадок, однако наличие органики нарушает данную закономерность способствуя подвижности металла. Но даже при этих условиях, перенос алюминия на значительные расстояния маловозможен и сбрасываемый осадок накапливается близ места сброса, чем наносит значительный урон экологии объекта. Данный фактор усугубляется тем, что помимо Рублевской станции, в реку Москва сбрасывается также неосветленная вода Западной водопроводной станции [25].

### **2.1.3 Обезвоживание осадка на иловых площадках**

Ранее одним из распространенных способов переработки осадка фильтровальных станций стал способ, производящий обезвоживание осадка на иловых площадках с дальнейшим удалением его за пределы станции. Технология обработки осадка на таких площадках заключается в подсушке его слоями толщиной 0,2-0,3 м, причем каждый последующий слой осадка заливают после подсушки предыдущего до влажности не более 80%. Такой способ позволяет избежать подсыхания верхнего слоя и позволяет добиться приемлемых результатов в довольно короткие сроки.

Основные конструктивные решения данных площадок, которые получили наибольшее распространение по [8]:

1) площадки на естественном дренирующем основании, устраиваемые на хорошо дренирующих грунтах в местах, где грунтовые воды залегают на глубине не менее 1,5 м от поверхности площадок;

2) площадки на естественном или искусственном водонепроницаемом основании с дренажем.

В первом случае обезвоживание осадка осуществляется в основном путем фильтрации влаги и частичного ее испарения с поверхности площадок. Достаточная степень обезвоживания осадка достигается при снижении его влажности ниже 70%, что позволяет в дальнейшем осуществить его обработку. Иловые площадки, оборудованные дренажными системами, обеспечивают более эффективное обезвоживание осадка – до среднего содержания твердого вещества 20-25% в течение 3-4 суток. Для отвода иловой жидкости, прошедшей через фильтрующий слой или слой гравия и песка, в водонепроницаемом основании устраиваются дренажные траншеи. Площадки оборудуют также устройствами поверхностного водоотвода, что значительно сокращает этапы фильтрации и испарения [1].

Следует отметить, что использование прудов-накопителей и иловых площадок для обезвоживания водопроводного осадка, даже при благоприятных климатических, конструктивных и почвенных условиях, имеет существенные недостатки:

- Требуются значительные площади;
- Загнивающий осадок создает антисанитарные условия в окрестностях площадки;
- Сбор и вывоз осадка на утилизацию – трудоемкий процесс, требующий дополнительных затрат.

Однако, несмотря на заявленные недостатки, использование иловых площадок, как и прудов-накопителей, – это экономически выгодная мера, носящая временный характер. Такие площадки удобно использовать на фильтровальных станциях малой и средней производительности.

На вышеуказанных площадках, также используется метод замораживания-оттаивания. Он целесообразен и экономически выгоден только в тех районах, в которых климат считается холодным и произвести замораживание осадка можно естественным путем [24]. Сущностью данного метода является фактор перехода жидкости из связанного в свободное состояние путем размораживания [8]. После оттаивания новые водоотдающие свойства осадка сохраняются, и он может быть легко обезвожен. Опытным путем установлено, что удаление воды данным методом из осадка протекает несколькими путями [26]:

- Из толщины слоя осадка в результате пленочной диффузии к поверхности ледяной фазы;
- В результате кристаллизации внутри пор структуры, в виде сетки.

Относительный вклад каждого из механизмов зависит от режима замораживания осадка: чтобы произошло необратимое изменение структуры, замораживание проводят медленно, по всей толщине слоя осадка. После замораживания-оттаивания фильтрационные свойства осадка значительно улучшаются. Опыт водопроводных станций США показывает, что применение этого метода перед обработкой осадка на вакуум-фильтрах обеспечивает более высокий экономический эффект, чем использование флокулянтов. Содержание твердого вещества в оттаявшем осадке увеличивается до 20-35%, а при последующем хранении на иловых площадках в течение 60 суток – даже до 85,8%.

Для достижения максимального эффекта зимнего промораживания осадка необходимо, чтобы его слой на площадках перед наступлением холодного периода не превышал глубины промерзания, соответствующей данному климатическому району. По данным [8], эксплуатационные затраты при замораживании-оттаивании осадка в 1,8 раза ниже, чем при его реагентном обезвоживании.

## **2.1.4 Замораживание и оттаивание осадка**

### **2.1.4.1 Площадки замораживания**

Площадки замораживания предусматривают для интенсификации обезвоживания осадка в естественных условиях за счет резкого увеличения водоотдачи после полного замораживания и оттаивания осадка в районах с периодом устойчивой среднесуточной отрицательной температуры воздуха не менее двух месяцев в году, рассчитывать на очистку от осадка через 1–3 года и вывоз его на площадки складирования.

Они выполняются в виде земляных сооружений, имеющих спланированное грунтовое основание, обвалованное грунтом, с устройствами для напуска осадка и отвода выделившейся осветленной воды [23,44]. Площадки замораживания следует проектировать при условии залегания грунтовых вод на глубине не менее 1,5 м от основания площадок.

Для использования дополнительного фактора обезвоживания осадков – незначительного фильтрования через основание и ограждающее обвалование площадок, целесообразно устраивать площадки на хорошо фильтрующих грунтах.

Для предотвращения подтапливания площадок талой водой, сбора и отвода воды, фильтрующейся через грунтовое основание площадок, необходимо предусматривать устройство водоотводных канав или дренажных устройств вдоль фронта площадок.

Площадки замораживания условно подразделяют на летне-осенние, зимние, весенние 1 и 2.

В период положительной и неустойчивой отрицательной среднесуточной температуры воздуха осадок от станции водоподготовки надлежит направлять на

весенние и летне-осенние площадки для уплотнения и удаления выделившейся из осадка осветленной воды. Напуск осадка на площадки следует заканчивать с наступлением периода устойчивой отрицательной температуры. Общий слой уплотненного осадка не должен превышать глубины полного промерзания осадка в зимний период.

В период устойчивой отрицательной температуры осадок следует для ускорения замораживания подавать на зимние площадки тонкими слоями.

Конструктивные схемы и размеры площадок следует принимать в соответствии с рисунками 2.2, 2.3, принимая расстояние между устройствами для напуска осадка и отвода осветленной воды равным 40 м, а расстояние между устройствами соответственно 30 м (см. рисунок 2.2) и 60 м (см. рисунок 2.3).

Распределение осадка между площадками надлежит осуществлять трубопроводами диаметром не менее 150 мм, отведение осветленной воды с площадок самотечными трубопроводами с уклоном 0,01.

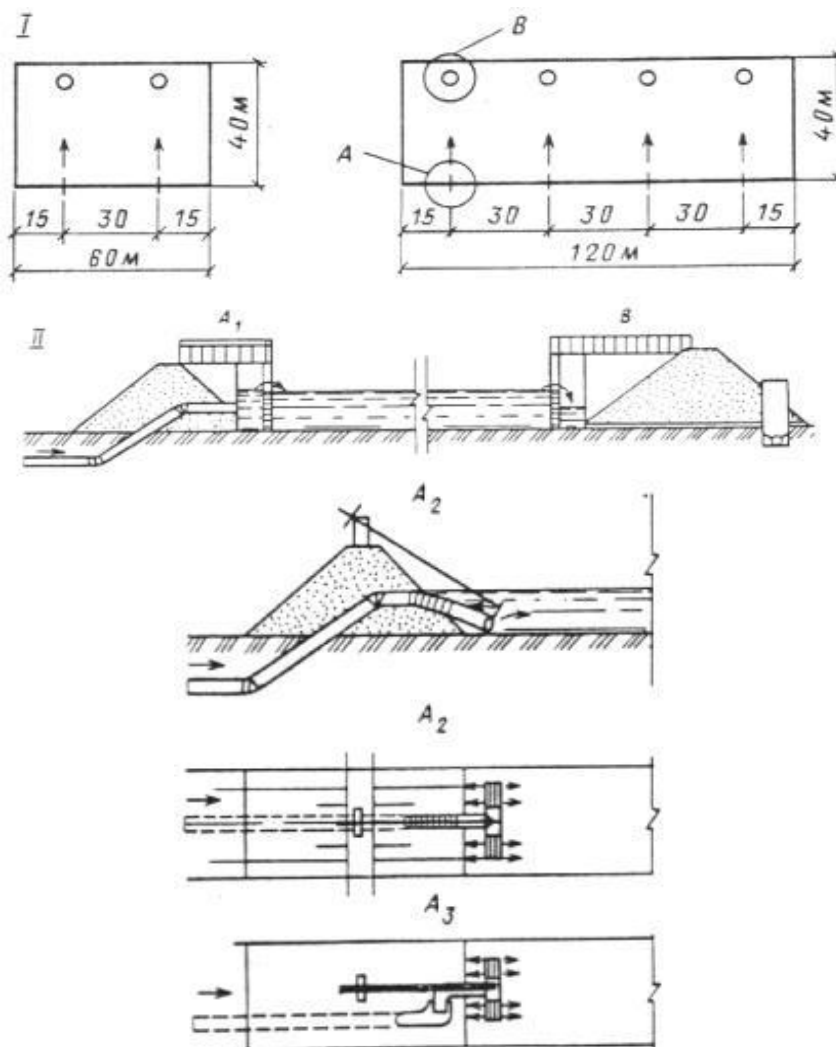


Рисунок 2.2 - Площадки для обезвоживания осадка по [44]:

I - конструктивные схемы площадок; II - устройства для напуска осадка (А) и отвода осветленной воды (В): А<sub>1</sub> и В - колодец; А<sub>2</sub> - подъемный поперечный лоток на гибком рукаве; А<sub>3</sub> - подъемный поперечный лоток на шарнире

Для надежной эксплуатации трубопроводов необходимо предусматривать их промывку, а также соответствующее утепление или заглубление в грунт. Для устранения случайных засорений следует устанавливать ревизии. Запорную арматуру (задвижки или поворотные затворы) на трубопроводах следует размещать в утепленных не затапливаемых водой колодцах с выносом колонок управления арматурой на поверхность.

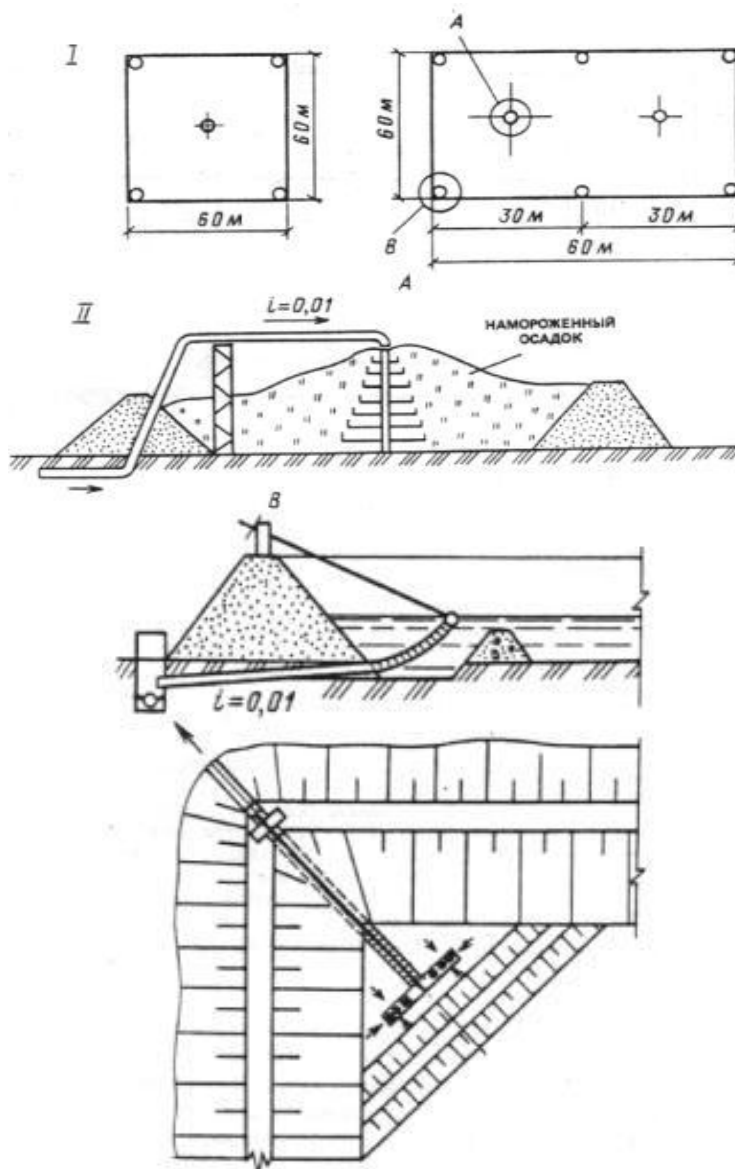


Рисунок 2.3 – Площадки для обезвоживания с центральной каскадной подачей осадка по [44]: I - конструктивные схемы площадок; II - устройства для напуска осадка (А) в виде центральной тарельчатой колонны и отвода воды (В) в виде подъемной поперечной перфорированной трубы на гибком рукаве

Устройства для подачи осадка на площадки должны обеспечивать равномерное их распределение по площадкам без размывания площадки или слоя замерзшего осадка. В связи с возможностью образования в зимнее время

прослойки воздуха между слоем льда и осадка, а также выпадением снега на поверхность льда, резко уменьшается скорость замораживания осадка. Конструкция устройств должна обеспечивать возможность напуска осадка в зимнее время как под слой льда для вытеснения воздуха через шурфы в слое льда, так и на поверхность льда тонким слоем для замачивания и последующего замораживания мокрого снега.

Примерами решения такой конструкции являются устройства в виде колодцев с изменяющимся по высоте водосливом (см. рисунок 2.2, А<sub>1</sub>); подъемных поперечных лотков на гибком рукаве (см. рисунок 2.2, А<sub>2</sub>) и на шарнире (см. рисунок 2.2, А<sub>3</sub>).

Размещение устройств напуска осадка в центре модуля площадки (см. рис. 2.3) имеет технико-экономические преимущества перед размещением этих устройств по длинной стороне площадки (см. рисунок 2.2), а центральный каскадный напуск осадка на зимние площадки (см. рисунок 2.3, А) позволяет улучшить условия послойного замораживания осадка и уменьшить высоту обвалования площадки. Трубопровод верхней подачи осадка в центр площадки следует выполнять с уклоном к рассекателю осадка, предназначенному для разбрызгивания осадка и предотвращения размывания дна площадки.

Устройства для отведения воды с площадок должны обеспечивать возможно более полное удаление осветленной воды, выделившейся при уплотнении осадка и атмосферной воды. На рисунках 2.2, 2.3 приведены примеры конструктивных решений устройств для отвода воды с разного уровня: колодцы и устройство в виде подъемной поперечной перфорированной трубы на гибком рукаве, заглубленное относительно основания площадки на 0,5 м и огражденное щебеночной отсыпкой высотой 0,5 м.

В работе [50] представлены результаты исследований по изучению процесса кондиционирования гидроокисного осадка замораживанием в естественных условиях. Данные эксперимента по изменению свойств гидроокисного осадка приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Свойства осадка при замораживании и оттаивании по [50]

Свойства осадка	Условия замораживания					
	Исходные	$t=-8^{\circ}\text{C}$ $V=1,5\text{м/с}$	$t=-8^{\circ}\text{C}$ , $v=7\text{м/с}$	$t=-12^{\circ}\text{C}$ , $v=1,5\text{м/с}$	$t=-18^{\circ}\text{C}$ , $v=1,5\text{м/с}$	$t=-30^{\circ}\text{C}$ , $v=1,5\text{м/с}$
Влажность, %	98	85	90	83,4	75,4	82
Плотность, $\text{г/см}^3$	1,05	1,14	1,1	1,13	1,13	1,15
Удельное сопротивление фильтрации $r \cdot 10^{-10}$ , $\text{см/г}$	690	69	73	71	39	45

Можно сделать вывод, что при пониженных температурах замораживания и повышенных значениях скорости ветра выше интенсивность процесса обезвоживания.

#### **2.1.4.2 Площадки подсушивания**

Площадки подсушивания предусматривают для интенсификации процесса обезвоживания осадков в естественных условиях за счет испарения воды. Они применяются в районах с устойчивым дефицитом влажности 800 мм и более рассчитывать на ежегодный вывоз подсушенного осадка на площадки складирования и выполняются в виде земляных сооружений, имеющих спланированное грунтовое основание, обвалованное грунтом с устройствами для напуска осадка и отвода выделившейся при уплотнении осадка осветленной воды и воды атмосферных осадков. Осадок от станций водоподготовки следует направлять на площадки подсушивания только после сгущения. Целесообразно устраивать площадки на хорошо фильтрующих грунтах.

#### **2.1.4.3 Искусственное замораживание и оттаивание осадка**

Помимо естественного процесса замораживания и оттаивания осадка, используются различные способы искусственного замораживания-оттаивания осадков с фильтровальных станций. Данный способ имеет значительный эффект при обработке осадка, полученного в результате использования в качестве источника маломутных цветных вод, которые характеризуются низкой водоотдающей способностью [8]. Данный метод нашел применение с использованием теплоотдающих поверхностей. Осадок загружается в резервуары, к которому подведены теплообменные элементы, которые благодаря хладагенту выступают в роли морозильной и размораживающих камер. Данный метод обработки осадка применяют на некоторых станциях Шотландии, Англии, Японии и Германии. Также, есть неподтвержденные сведения, что такой метод обработки осадка фильтровальных станций на 30% экономичнее классических, реагентных методов.

В СССР данная технология была внедрена впервые в городе Саратов в 1987 году [8]. Она предусматривала уплотнение осадка при помощи ротора, далее происходил процесс замораживания-оттаивания и, как следствие, обезвоживание. В результате внедрения данной технологии, влажность получаемого осадка была на уровне 70%. Технология предусматривала уплотнение осадка, замораживание-оттаивание и, как следствие, обезвоживание. Влажность осадка после обезвоживания не превышала 70%. В начале 90-х годов, планировалось внедрить данную технологию обезвоживания осадка в таких городах как Энгельс, Самара,

Ульяновск, Нижний Новгород и Тула. Это свидетельствует об эффективности данного метода обезвоживания осадка станции водоподготовки.

Замораживание и оттаивание приводит к изменению физико-химической структуры осадков вследствие перераспределения различных форм связи влаги с твердыми частицами осадка, т.е. при замораживании осадка в его структуре происходит частичный переход воды из связанного в свободное состояние, сопровождаемый коагуляцией твердых веществ [8]. После оттаивания новые водоотдающие свойства осадка сохраняются, и он может быть легко обезвожен.

После замораживания-оттаивания фильтрационные свойства осадка значительно улучшаются. Опыт водопроводных станций США показывает, что применение этого метода перед обработкой осадка на вакуум-фильтрах обеспечивает более высокий экономический эффект, чем использование флокулянтов [8].

### **2.1.5 Механическая обработка осадка**

Основопологающим фактором, который следует учитывать при выборе метода механического обезвоживания, является объем минеральных примесей в обрабатываемом осадке, а также перечень химикатов, используемый в процессе коагуляции. Механическая обработка осадков предполагает применение следующих основных типов аппаратов: вакуум-фильтры, фильтр-прессы, центрифуги. Процесс протекания обезвоживания осадка напрямую зависит от мутности промывной воды и общему количеству получаемого осадка. При умягчении воды, содержание карбонатов кальция значительно увеличивается, что превращает обезвоживаемую массу в идеальную субстанцию. К недостаткам механического обезвоживания осадка на месте образования, можно отнести [28]:

- Необходимость строительства новых цехов для выполнения процедур уплотнения и обезвоживания;
- Низкая температура получаемого осадка в зимний период требует дополнительных затрат на электроэнергию, а также требует использования больших доз применяемых реагентов.

Метод механического обезвоживания осадка широко применяется в различных странах. Для реализации данного метода, как правило, проводят предварительную обработку осадка (естественное обезвоживание, термическое, реагентное) [16, 1].

Обработанный осадок поступает непосредственно на обезвоживающие механизмы. Например, если к осадку добавить каменноугольной пыли, флокулянты, известь и иные компоненты, то после проведения процедуры вакуум-фильтрования можно получить кек, влажность которого будет находиться в пределах 60-80%.

Применение фильтр-пресса к подготовленному осадку путем естественного уплотнения – позволяет получить технико-экономические преимущества по



сравнению с иными методами обезвоживания данного типа. Также широко применяется добавление негашеной извести и различных соединений магния. При применении различных флокулянтов, необходимо точно рассчитать дозу применяемого реагента, а также продолжительность из смешивания, для достижения оптимальных величин. Термообработка осадка (40-150°C) обеспечивает более эффективную работу механически обезвоживающих машин путем снижения вязкости и степени гидратации. Однако применение предварительной термообработки приводит к значительным энергетическим тратам и, как следствие, широкого применения не нашла.

На некоторых станциях по обработке сырой воды в США, предварительную обработку полученного осадка проводят в несколько этапов: на первом этапе полученный осадок проходит стадию гравитационного уплотнения, после которого его влажность составляет 96%. На втором этапе, в уплотненный осадок вносят реагенты, известь и повторно проводят процедуру гравитационного уплотнения до содержания влаги на уровне 92% [27]. На втором этапе, в уплотненный осадок вводят летучую золу и проводят обезвоживание на фильтр-прессе. После прохождения данной технологической цепи, содержание твердого вещества в конечном продукте достигает 50%. Вместо летучей золы в качестве присадки, можно использовать активный уголь, пыль из электрофильтров, а также диатомит. Применение резиновых мембран, которые наполнены воздухом, позволяют увеличить производительность фильтр-пресса до двух раз. Предварительное центрифугирование осадка позволяет без использования реагентов повысить содержание твердой фазы до 10-15%, а с применением реагентов этот показатель колеблется в диапазоне 25-30%. Также достоверно известно, что осадок полученный с водоумягчительных установок методом центрифугирования возможно довести до показателя влажности 35-40%. Эффективность метода центрифугирования прямопропорционально зависит от типа осадка и, как следствие, его состава.

Существующие технологии в России позволяют на отечественном оборудовании достигать конечное значение уровня влажности осадка 60-80% [8]. Выбор обезвоживающего оборудования зависит от целевого параметра – влажность конечного продукта.

Технологическая схема обработки осадков на ленточных (см.рисунок 2.4) и камерных (см.рисунок 2.6) фильтр-прессах включает следующие операции по [15]:

- 1) усреднение и уплотнение осадка;
- 2) приготовление растворов известкового молока и флокулянта;
- 3) дозированное введение химических реагентов в осадок;
- 4) дозированная подача кондиционированного осадка в аппараты механического обезвоживания;
- 5) обезвоживание;
- 6) выгрузка и транспортирование обезвоженного осадка.

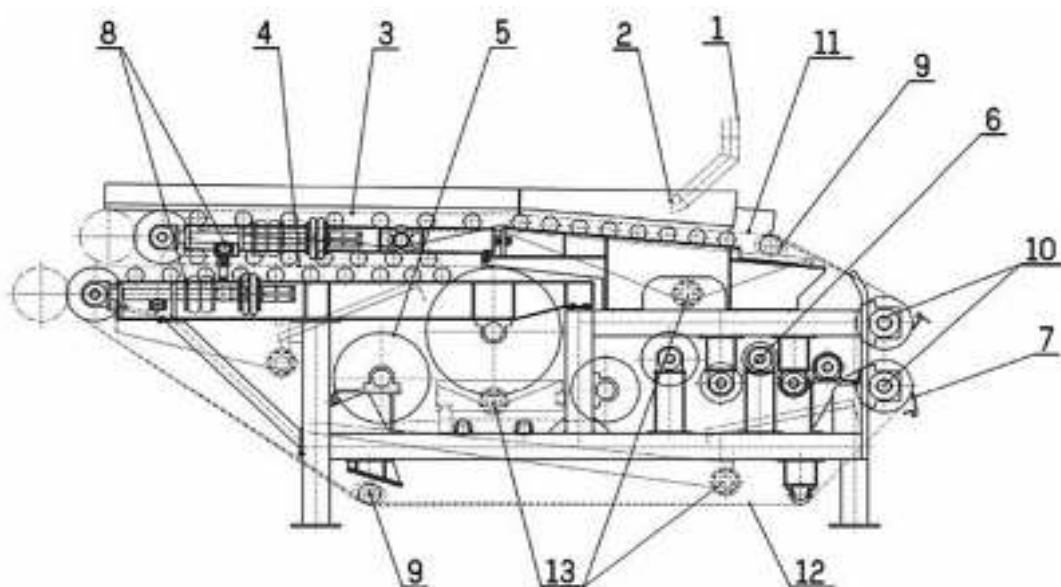


Рисунок 2.4 – Устройство ленточного фильтр-пресса CPF 2200 S8: 1 – подача осадка; 2- загрузка осадка; 3 – зона предварительного обезвоживания; 4 – клиновидная зона; 5 – зона предварительного прессования; 6 – зона высокого давления; 7 – сброс кека; 8 – натяжение ленты; 9 – регулировка ленты; 10 – привод; 11 – верхняя лента; 12 – нижняя лента; 13 – слив фильтрата

Принцип работы ленточного фильтр-пресса заключается в том, что смешанный с флокулянт (либо другим реагентом) осадок подается на движущуюся ситовую ленту фильтр-пресса и распределяется по всей ее рабочей ширине. Отделение воды от твердой фазы в этой зоне происходит под действием силы тяжести. На этом этапе отделяется до 50% содержащейся в осадке воды. Далее осадок подается в клиновидную зону предварительного отжима, где ленты фильтр-пресса сходятся, и начинается непосредственно механический отжим. Для предотвращения выдавливания осадка по краям лент давление на осадок увеличивается постепенно. Далее кек, образовавшийся в зоне предварительного отжима, проходит через систему валов, где подвергается максимальному давлению. Благодаря специальной геометрии расположения валов на кек воздействуют силы поверхностного давления, направленные как вдоль радиуса валов, так и по касательной к поверхности вала. Далее обезвоженный осадок срезается с лент специальными полимерными ножами. После снятия кека ленты фильтр-пресса промываются технической водой.

Уплотнение осадка является необходимым приемом, так как исходный осадок, особенно маломутных цветных вод, имеет высокую влажность (~ 99%). В процессе гравитационного уплотнения влажность осадка снижается до 92-98% в зависимости от его исходного качества. В конструктивном отношении уплотнители могут быть выполнены в виде вертикальных емкостей круглого или квадратного сечения. Диаметр уплотнителей круглой формы при уплотнении осадка маломутных вод не следует принимать более 6 м, глубину – не менее 5 м.

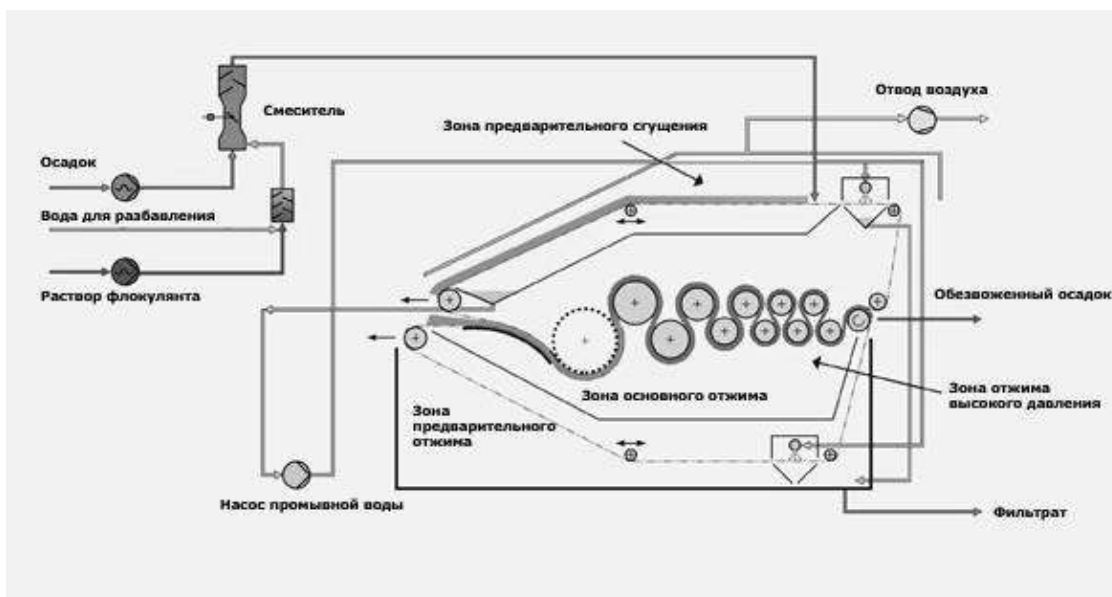


Рисунок 2.5 – Схема обработки осадка с использованием ленточного фильтр-пресса

Для интенсификации уплотнения может быть использовано медленное перемешивание. Для улучшения водоотдающих свойств осадков перед механическим обезвоживанием необходимо применять химические реагенты, при этом происходят дестабилизация системы и выделение большого количества химически связанной влаги. Так, добавление реагентов (порошкообразной негашеной извести, коагулянтов, флокулянтов и др.), а также продувка воздухом и промывка водой интенсифицируют уплотнение осадка, содержание твердой фазы в котором увеличивается на 3-6% [16].

Фильтр-пресс типа ФПАКМ устроен следующим образом (см.рисунок 2.6). Комплект горизонтальных подвижных фильтрующих плит 12 расположен между верхней упорной 9 и нижней нажимной 14 плитами. Фильтрующие плиты опускаются и поднимаются с помощью механизма гидрозжима 17. Фильтровальная ткань 4 проходит между плитами и циклически приводится в движение механизмом 18. Очистка фильтровальной ткани от осадка производится в камере регенерации 3, которая вместе с опорной плитой 16 установлена на общей раме 1. Отвод фильтрата и промывной жидкости производится через блок слива 15. Суспензия, промывная жидкость и воздух поступают на фильтрующие перегородки через общий коллектор 8.

В результате обобщения камерных фильтр-прессов, можно выделить пять основных процессов, которые необходимо выполнить [15]:

- Подача подготовленного осадка под давлением;
- Фильтрация под давлением;
- Отжим полученной массы;
- Сушка полученной массы после отжима;
- Выгрузка готового обезвоженного осадка;
- Регенерация фильтровальной ткани.

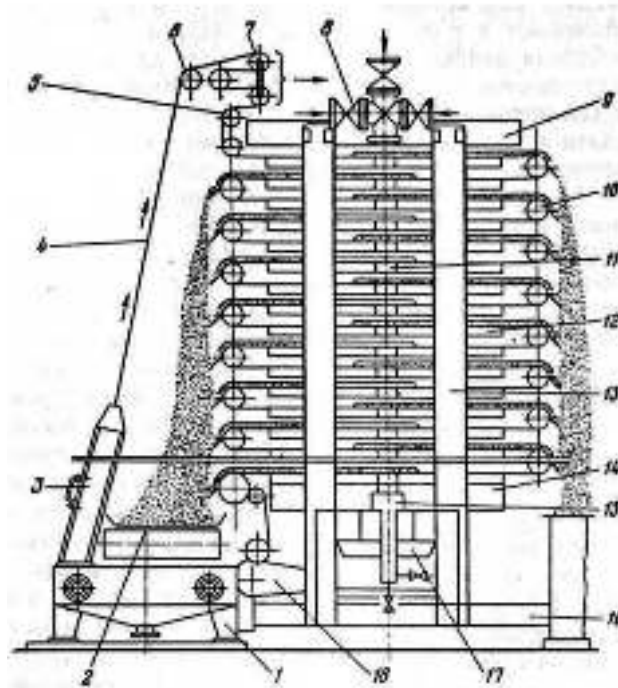


Рисунок 2.6 - Устройство камерного фильтр-пресса типа ФПАКМ

1 - рама; 2 - приемный лоток; 3 - камера регенерации; 4 - фильтровальная ткань; 5 - верхний ролик; 6 - ролик регулировки положения ткани; 7 - натяжное устройство; 8 - коллектор подачи; 9 - верхняя упорная плита; 10 - направляющий ролик ткани; 11 - коллектор давления; 12 - фильтровальные плиты; 13 - стяжка; 14 - нажимная плита; 15 - блок слива; 16 - опорная плита; 17 - механизм гидрозажима; 18 - привод передвижения ткани

Также для обезвоживания осадка, полученного при коагуляции сульфатом алюминия, а также полученного в результате осветления, целесообразно применение декантеров (от. франц. *décanter* – сцеживать, сливать; декантация – сливание жидкости с отстоявшегося осадка, «обезвоживание»). Согласно рекламным материалам компании «Westfalia Separator», декантеры произведенные ее фирмой могли похвастаться содержанием сухого вещества в обработанном осадке на уровне 19-23%. Такая степень содержания сухого вещества обусловлена высокой скоростью вращения центрифуги, а также большим крутящимся моментом шнека в условиях регулирования разности скоростей, которые обусловлены составом обезвоживаемого осадка. Декантеры (см. рисунок 2.7) обеспечивают высокое качество осветления и максимальное обезвоживание осадка. Сочетание данных характеристик и герметично собранный кожух позволяют предотвратить выбросы части осадка, а также обеспечивают отсутствие неприятных запахов. Применение в промышленных масштабах предусматривает наличие повышенной износостойкостью лопастей, а также различных технологических отверстий для выгрузки твердого осадка.

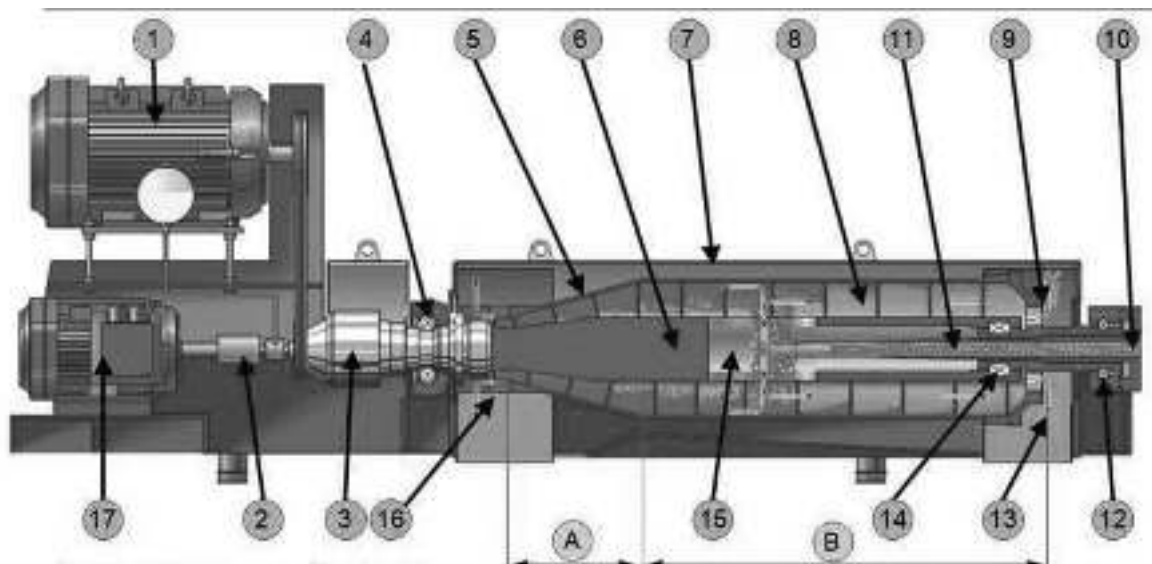


Рисунок 2.7 – Конструкция декантера: А – зона осушения, В – зона осветления  
 1 – двигатель барабана; 2 – муфта; 3 – редуктор; 4 – подшипник барабана; 5 – барабан; 6 – шнек; 7 – корпус; 8 – зона сепарации; 9 – регулировочное кольцо; 10 – подача осадка; 11 – подающая труба; 12 – подшипник барабана; 13 – выход осветленной воды самотеком; 14 – подшипник шнека; 15 – распределитель; 16 – выгрузка твердой фазы; 17 – двигатель

Результаты сравнения трех технологий представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Обобщенное сравнение основных устройств для обезвоживания осадков [51]

Фактор	Декантер	Ленточный фильтр пресс	Камерный фильтр-пресс	
			Кондиционирование полимером	Кондиционирование известью
Результат обезвоживания	18-24%	15-22%	18-24%	28-35%
Расход флокулянта	4-14 г/кг сухого вещества	4-12 г/кг сухого вещества	5-12 г/кг сухого вещества	Известь 15-25 кг/м <sup>3</sup> и железо
Расход электроэнергии	Высокий	Низкий	Средний	Средний
Автоматический и непрерывный ход процесса	Да/да	Да/да	Нет/Нет	Нет/нет
Размер очистных сооружений	Крупные Средние Малые	Крупные Средние Малые	Крупные	Крупные

Исходя из данных, представленных в таблице 2.3, очевидно преимущество Декантера и Ленточного пресс-фильтра над Камерным пресс-фильтром, который уступает по габаритам, стартовым инвестициям, и степенью обезвоживания. Однако при этом, Камерный пресс-фильтр выигрывает у Декантера по энергоемкости, и в тоже время проигрывает по этому параметру Ленточному пресс-фильтру. Ленточный пресс-фильтр по представленным параметрам практически идентичен Декантеру. Иными словами, ключевым фактором выбора становится энергопотребление.

Но для улучшения влагоотдачи осадков, перед подачей на механическое обезвоживание, необходимо изменить их структуру. Наиболее широко применяемым способом обработки осадков за рубежом и отработанным в опытно-промышленных условиях на некоторых российских станциях является их механическое обезвоживание с предварительным кондиционированием различными реагентами, такими как флокулянты или известь [32].

### **2.1.6 Реагентная обработка**

Предварительная реагентная обработка водопроводного осадка направлена на его структурирование и утяжеление. Для решения такого рода задач обычно предлагается использование следующих реагентов [8]:

- флокулянты;
- присадочные вещества и материалы;
- известь,
- кислотная обработка с целью извлечения коагулянтов (не нашла широкого применения).

Расчет дозы реагентов ведется по сухому веществу осадка. Подбор реагентов и их доз осуществляется в предварительных экспериментах, технология обработки (режимы дозирования и перемешивания) отрабатывается в лабораторных условиях. Например, для выбора эффективной дозы извести, эксперименты проводились на 3-х различных дозах [32].

#### **2.1.6.1 Обработка осадков флокулянтами**

Глубокое изменение структуры гидроокисных осадков наблюдается при добавлении к ним флокулянтов. Флокулянты анионного и катионного типа оказывают приблизительно одинаковое влияние на гидроокисные осадки прмродных вод, что объясняется наличием в осадках как отрицательно заряженных частиц, к числу которых относится основная масса примесей воды, так и положительно заряженных частиц гидроокиси [46].

Основной трудностью при использовании флокулянта является подбор реагента, поскольку общих теоретических обоснований такого выбора не существует.

Предварительная обработка гидроокисных осадков природных вод флокулянтами приводит к агрегации частиц дисперсной фазы осадка, сокращению активной удельной площади поверхности частиц, увеличению размера пор и сокращению их протяженности, перераспределению форм связи влаги в сторону увеличения количества свободной и сокращению связанной воды [46].

Из отечественных флокулянтов, выпускаемых в промышленных масштабах, известны следующие: ПАА, СФ-1, ВПК-101 и 102, Аквапол; катионные флокулянты – Сибфлок (ООО НПП «Экохим», г. Новосибирск), Каустамин-15 (ЗАО «Каустик», Стерлитамак), Рекомин-100 (лесохимический завод, пос. Нейво-Рудянка Свердловской области).

Универсальным флокулянтом является нейтральный флокулянт - полиакриламид (ПАА). Флокулянты на основе полиакриламида получили широкое применение. Такие флокулы имеют высокое сопротивление сдвигу, увеличение концентрации сухого вещества в осадке с одновременным увеличением пропускной способности аппаратов для обезвоживания. Особенно актуальны такие реагенты для труднофильтруемых осадков.

Для кондиционирования можно использовать достаточно разбавленные растворы 0,1–0,25 %, однако, для снижения доли воды, вводимой с флокулянтом, рекомендуется использовать рабочие растворы флокулянта 0,25–1% [52].

Снижение показателя сжимаемости гидроокисных осадков маломутных вод при одновременном улучшении их водоотдающей способности может быть достигнуто с помощью вспомогательных присадочных материалов [8, 46].

В качестве таких веществ наиболее часто используют диатомит, перлит, уголь, древесную муку и др. Вспомогательные вещества должны обладать следующими свойствами:

- химической инертностью по отношению к воде (вспомогательные вещества не должны содержать растворимых в воде составляющих, чтобы не загрязнять фильтрат, получающийся в процессе обезвоживания осадков);
- высокой пористостью слоя осадка, достигающей 85–90 % (вследствие наличия частиц неправильной формы);
- малой удельной площадью поверхности твердых частиц;
- малой сжимаемостью в диапазонах давлений, применяемых при обезвоживании;
- низкой плотностью, не допускающей быстрой седиментации после введения в осадок.

Выбор типа вспомогательных веществ определяется составом исходного осадка. При содержании в исходном осадке примесей крупной фракции требуется применение вспомогательных веществ пониженной дисперсности. Целесообразность использования того или иного вспомогательного вещества должна определяться экспериментально.

С увеличением количества вспомогательных веществ возрастает пористость исходного осадка, что приводит к снижению удельного

сопротивления осадка и соответственно к улучшению водоотдающей способности исходного осадка.

По исследованиям обработки осадков ОСВ г.Челябинска катионным флокулянтom на основе полиакриламида (ПАА) марки Vesfloc, серия 6841 и флокулянтom совместно с присадочным материалом – вермикулитом, проведенным в работе [37], установлено, что оптимальные дозы флокулянта следует подбирать в интервале 0,2–1 %, вермикулита – в интервале 0,6–2 %. Выявлено, что осадок блока, где реализуется возврат промывных вод, требует меньших доз реагентов для кондиционирования. Показано, что кондиционирование осадка, сформированного в летний период, флокулянтom и вермикулитом позволяет достичь эффекта, сравнимого с промораживанием по повышению водоотдающей способности осадка.

### **2.1.6.2 Обработка осадков известью**

Исследования показали, что известь при введении в осадок выполняет двойную функцию: как химический реагент, частично растворяющий гелеобразный гидроксид алюминия, и как присадочный материал, снижающий величину показателя сжимаемости. Эта совокупность действий приводит к улучшению фильтрационных свойств осадка, и, кроме того, известь оказывает обеззараживающее действие [47].

Применение извести в дозах по СаО от 10 - 15 до 50% массы сухого твердого вещества в осадке позволяет снизить удельное сопротивление фильтрации до величин, позволяющих направить осадок на механическое обезвоживание. Экономически целесообразной дозой извести (по СаО) считается доза 10–30 % массы сухого вещества осадка.

Известь обычно применяется в форме известкового молока в дозах от 10–15 до 50–80 % массы сухого твердого вещества в осадке. Возможно использование негашеной извести и соединений магния.

МГП «Мосводканал» была проведена серия промышленных экспериментов по обезвоживанию осадка московских водопроводных станций на мембранном камерном фильтр-прессе с применением извести [14]. Установлено, что при дозе СаО 20-50% технологических трудностей в процессе механического обезвоживания осадков не возникает. Однако высокая стоимость извести, высокие объемы при данных дозах и увеличение транспортных затрат на вывоз обезвоженного осадка сделали этот способ нецелесообразным.

При механическом фильтровании на непрерывно действующих ленточных фильтр-прессах для кондиционирования осадков наиболее целесообразно использовать сочетание извести с флокулянтами преимущественно анионного типа [1,15]. При этом доза извести может быть значительно снижена; доза флокулянта составляет до 2 кг/т сухого вещества осадка. Флокулянт используется в виде 0,1-0,2%-ного рабочего раствора, приготовление которого осуществляется в специальных установках или баках с диспергаторами и



мешалками. Первоначально в осадок вводится известь, а затем раствор флокулянта, который обычно дозируется винтовым насосом-дозатором. Влажность обезвоженного на фильтр-прессе осадка зависит от качества последнего, дозы извести и может составлять 70-85%.

Добавление дополнительных реагентов вносит определенные требования и ограничения к дальнейшей утилизации осадка.

## **2.2 Утилизация водопроводного осадка**

В мировой практике, на сегодняшний день, широко используются следующие методы утилизации осадка без предварительного кондиционирования:

- Утилизация осадка посредством сброса в реки и озера;
- Утилизация путем захоронения в открытом море;
- Удаление полученного осадка вместе с осадком канализационных сооружений путем сброса в канализацию на очистные сооружения или обработку смеси сгущенного осадка совместно с осветленной водой.

### **2.2.1 Сброс осадка в поверхностные водотоки и водоемы, захоронение в открытом море, закачка в подземные горизонты**

До недавнего времени во многих странах мира водопроводный осадок (после однократного использования коагулянта) сбрасывался в водоемы и водотоки в виде шламовой пульпы. Например, достаточно длительное время сброс (захоронение) осадка в море осуществлялся с водопроводных станций некоторых городов США (Филадельфия, Вашингтон), Великобритании, Греции и других стран мира. Осадок водопроводных станций, расположенных в городах американского штата Флорида (г. Майямы и др.), закачивался в подземные горизонт [21]. В некоторых странах и регионах сброс осадка в поверхностные водные объекты по-прежнему является распространенным способом его удаления. Сброс осадка в водоемы и водотоки обуславливает поставку в них значительных масс осадочного материала, загрязненного продуктами гидролиза коагулянтов и различными примесями, содержащимися в реагентах и выделенными из исходной воды [1].

### **2.2.2 Утилизация осадка после предварительного обезвоживания**

По исследованиям, разработанным в институте «УкркоммунНИИпрогресс» основными направлениями утилизации осадков водопроводных очистных станций является использование [53]:

#### ***В цементной промышленности.***

В результате выпуска опытной партии портландцементов на заводе института «Южгипроцемент» установлена возможность утилизации

обезвоженного осадка в составе цементных сырьевых смесей вместо глинистого компонента от 3 до 10%. Введение осадка в сырьевую смесь увеличивает содержание в клинкере трехкальциевого алюмината, повышая прочность цемента на 30-50 кгс/см<sup>2</sup>.

### ***В металлургии.***

На заводе «Азовсталь» проведены промышленные эксперименты по защите футеровки прибыльных надставок покрытием из осадка водопроводных станций. Установлено повышение стойкости футеровки на 20% при сохранении жаростойких противопригарных свойств.

### ***В промышленности строительных материалов.***

Использование водопроводного осадка в качестве опудривателя гранул при производстве керамзита позволит повысить качество и увеличить его выпуск при том же расходе сырья взамен дорогостоящих высокоогнеупорных опудривателей (глинозема).

### ***В сельском хозяйстве.***

В состав водопроводных осадков, образующихся на очистных сооружениях ряда станций, входят соединения азота, фосфора, калия в легкодоступных для растений формах. Это объясняется тем, что в период дождей и паводков в реки с полей попадают смытые органико-минеральные удобрения, которые задерживаются затем на очистных сооружениях в составе осадков. Внесение водопроводных осадков в почву в жидком или сухом виде в качестве удобрений под посевы различных сельскохозяйственных культур (кукурузы, сахарной свеклы, люцерны и др.) способствует повышению их урожайности. Безвредность внесения осадков объясняется отсутствием солей тяжелых металлов.

## **Выводы**

1. Изучены методы обработки и утилизации осадков станций водоподготовки. Отражены преимущества и недостатки каждого метода. Установлено, что осадки могут быть:
  - обработаны совместно с осадками сточных вод на станциях очистки сточных вод
  - обезвожены осадка в прудах-накопителях
  - обработаны на площадках замораживания и подсушивания осадка
  - механически обезвожены с предварительной реагентной обработкойНаиболее перспективным направлением обработки осадков ОСВ является их механическое обезвоживание.
2. Задачей данной работы является изучение влияния реагентной обработки выбранным реагентом – известью, а также известью совместно с присадочным материалом (опокой) на водоотдающую способность осадков ОСВ г. Челябинска. Рассмотреть возможность использования фильтрата.

## **3 ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ОСАДКА ИЗВЕШЬЮ И ИЗВЕШЬЮ СОВМЕСТНО С ПРИСАДОЧНЫМ МАТЕРИАЛОМ**

### **3.1 Условия образования осадка на очистной станции водоподготовки города Челябинска**

Согласно [53] в настоящее время на рассматриваемой территории города Челябинска можно выделить три самостоятельные зоны централизованного водоснабжения (зона централизованного водоснабжения города Челябинска, зона централизованного водоснабжения поселка Смолино, зона централизованного водоснабжения поселка Аэропорт).

В рассматриваемой зоне централизованного водоснабжения города Челябинска подача воды производится от Сосновских очистных сооружений водопровода, расположенных на Юго-Западе города Челябинска, обеспечивает водоснабжением город Челябинск. Структура водоснабжения города Челябинска включает в себя:

- 1) водозаборные сооружения с двумя насосными станциями первого подъема № 12, 13;
- 2) очистные сооружения водопровода;
- 3) насосные станции второго подъема № 21, 22, 23;
- 4) 7 главных магистральных водоводов;
- 5) насосные станции третьего, четвертого подъема;
- 6) распределительные сети водоснабжения.

#### **3.1.1 Источник водоснабжения**

Единственным источником питьевого, хозяйственно-бытового и промышленного водоснабжения города Челябинска, Челябинского промузла и городов-спутников Коркино, Копейск, Еманжелинск является Шершневское водохранилище на реке Миасс, работающее в каскаде с Аргазинским водохранилищем.

*Морфометрические характеристики водохранилища:*

- 1) вид регулирования – многолетнее;
- 2) длина – 17,5 км;
- 3) глубина: максимальная – 14 м, средняя – 4,5 м;
- 4) ширина: наибольшая – 4 км, средняя – 2,2 км;
- 5) площадь водосбора – 5 360 кв.км;
- 6) нормальный подпорный уровень (НПУ) – 225,0 м БС;
- 7) полный объём при НПУ – 176 млн. куб.м;
- 8) площадь зеркала при НПУ – 39,1 кв.км;

*Гидрологические характеристики водохранилища:*

1) полезная водоотдача в год 95% обеспеченности: расход – 1,6 куб.м/с; объем – 50,5 млн. куб.м;

2) полезная водоотдача каскада водохранилищ (Аргазинское-Шершнево-Шершнево-Шершнево): расход – 10,5 куб.м/с; объем – 331,4 млн. куб.м.

Допустимый объем забора водных ресурсов на 2014 - 2018 годы определен в размере 230 000 тыс. куб.м / год.

Вода водохранилища относится к маломутным и среднецветным водам, в период паводка – высокоцветным. Цветность и мутность имеют сезонные колебания и поднимаются в паводковый период. Минерализация воды – до 400-500 мг / л. Грунты дна – илы, пески, затопленные луговые и чернозёмные почвы.

Качество воды источника на подходах и в пределах города не равнозначно. На участке между Аргазинским и Шершнево-Шершнево-Шершнево водохранилищами река загрязняется объектами сельского хозяйства и населенными пунктами. В средней части водохранилища вода отвечает требованиям рыбохозяйственных нормативов.

Для оценки качества воды в различные периоды 2017 года были собраны сведения о динамике изменения мутности, цветности и температуры в Шершнево-Шершнево-Шершнево водохранилище, представленные на рисунках 3.1 – 3.3.

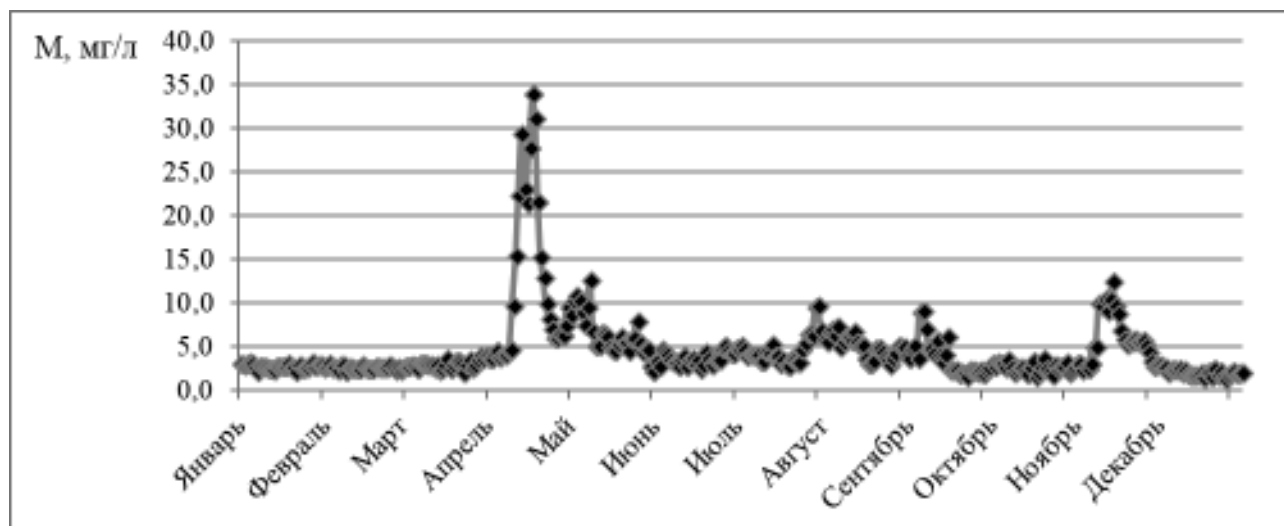


Рисунок 3.1 – Мутность воды Шершнево-Шершнево-Шершнево водохранилища, 2017 год

В 2017 году максимальное значение мутности – 34,1 мг/л – соответствует периоду паводка, в летние месяцы мутность не превышает 10 мг/л, в зимний период – менее 4 мг/л.

Цветность в паводок достигала 46 град., летом не превышала 25 град, а зимний период колебалась в интервале 8 – 17 град.

Температура воды в водохранилище с ноября по март включительно составляла 0,3–2°С. С повышением температуры атмосферы наблюдался рост среднемесячных значений температуры очищаемой воды: с 7°С в апреле до 25°С в июле. В сентябре – октябре среднемесячные температуры воды снижались, достигнув в октябре 1,9 °С.

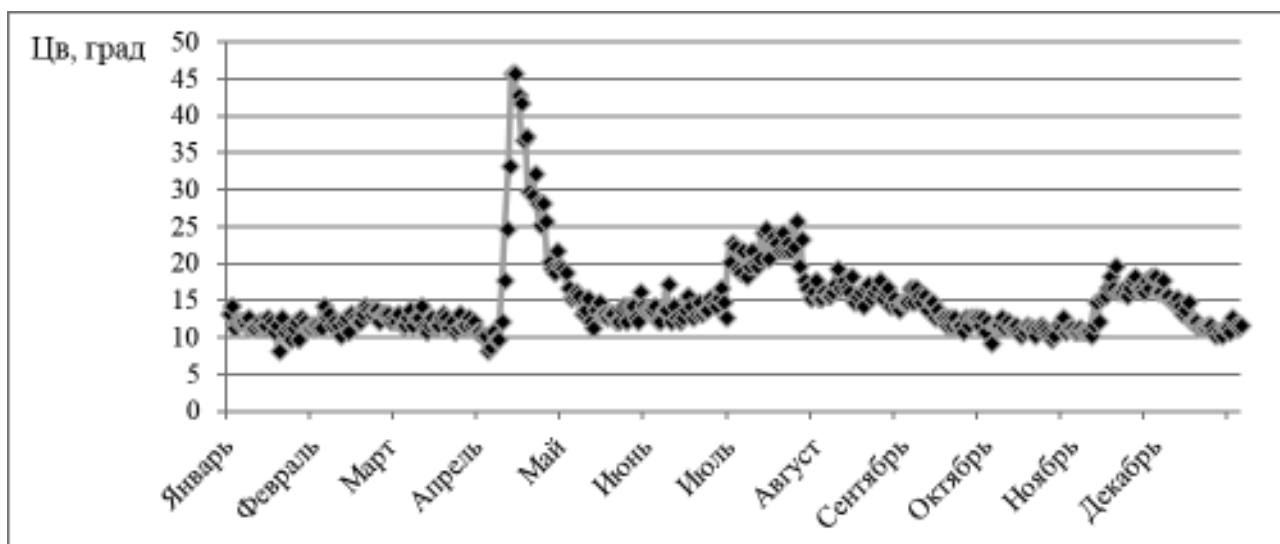


Рисунок 3.2 – Цветность воды Шершневого водохранилища, 2017 год

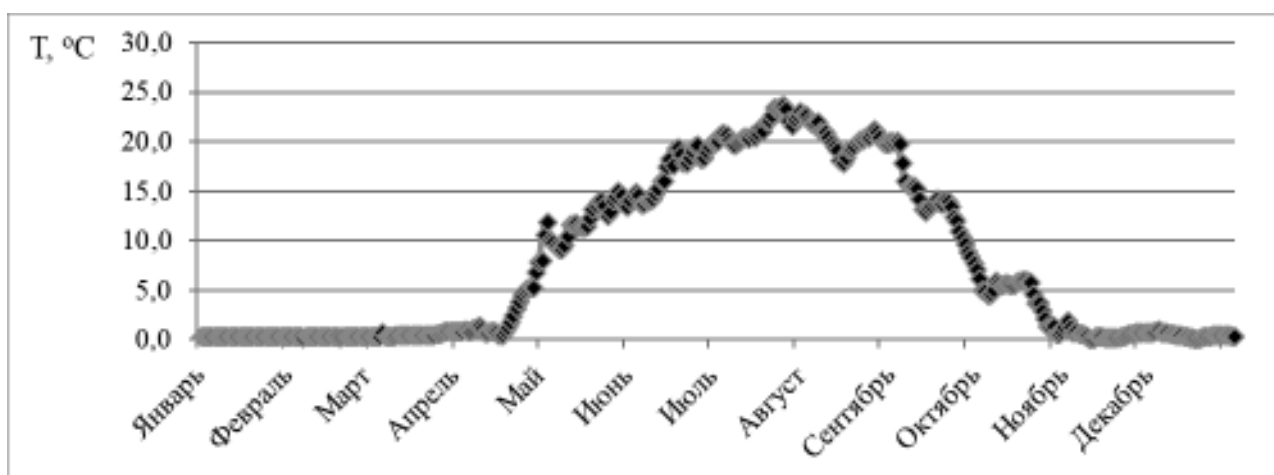


Рисунок 3.3 – Температура воды Шершневого водохранилища, 2017 год

На рисунке 3.4 представлена диаграмма, отражающая сезонную динамику численности фитопланктона за период с 2013 по 2017 год. По данным гидробиологов [57] доминирующее положение в фитопланктоне занимают синезеленые. За многолетний период наблюдений отмечаются устойчивые признаки эвтрофирования Шершневого водохранилища, в том числе: слабо выраженные пики диатомовых водорослей, ежегодные пики цветения за счёт синезеленых. Указанные авторы также отмечают увеличение встречаемости эвритермных видов *Microcystis aeruginosa* и *Planktothrix agardhii*, усваивающих соответственно аммонийную и нитратную форму азота. Это указывает на значительное увеличение поступления в водохранилище легкоокисляемых органических веществ в течение всего года. Очевидно, что единственная причина этого явления – это поступление в водохранилище сточных вод, близких по составу к хозяйственно-бытовым [37].

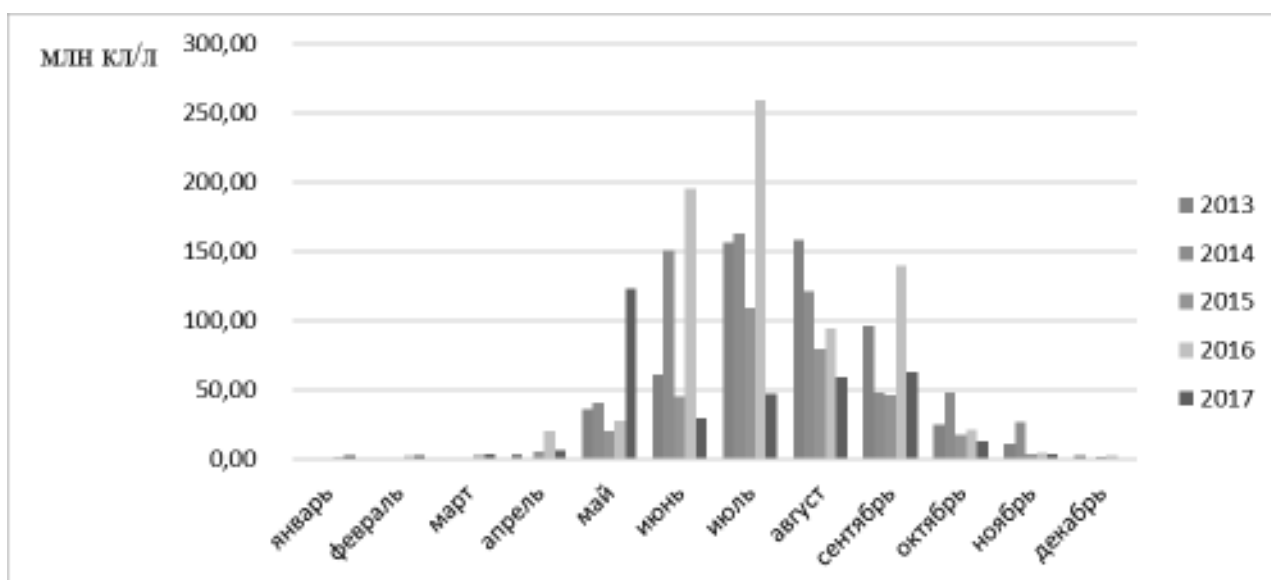


Рисунок 3.4 – Сезонная динамика численности фитопланктона в период с 2013 по 2017 гг

Усредненные значения температуры, цветности, мутности и содержания планктона в периоды, предшествующие отбору осадков, представлены в таблице 3.1. Усреднение проводили по данным за месяц до отбора проб осадка. Более точно определить период формирования осадков не представляется возможным.

Таблица 3.1 – Усредненные значения температуры, цветности, мутности и содержания планктона в периоды, предшествующие отбору осадков

Показатель	Мутность, мг/л	Цветность, град	Температура, °С	Фитопланктон, млн кл/л	
				Всего	Синезеленые водоросли
Октябрь, 2016	3,9	14,2	10,2	21,1	17,4
Февраль, 2017	2,9	12,9	0,5	2,6	2,4
Май, 2017	6,7	14,5	12,2	123,2	97,6
Сентябрь, 2017	4,0	13,6	14,2	62,2	60

Анализ таблицы 3.1 показывает, что мутность и цветность воды в водохранилище незначительно изменяются по периодам года, в которые производился отбор осадков. Существенные изменения наблюдаются по температуре воды и содержанию клеток планктона.

Температурный фактор значительно влияет как на процесс формирования осадков, так и на интенсивность их обезвоживания, так как при росте температуры динамическая вязкость воды существенно понижается.

В составе планктона круглогодично преобладают синезеленые водоросли. В зимний период образования осадка (отбор – март 2017) содержание планктона минимально, 93 % его составляют синезеленые. Следует ожидать минимального

содержания органической составляющей в осадках. В летний период (отбор – июнь 2017) наблюдается «цветение», вызванное массовым размножением синезеленых. В осадках следует ожидать высокого содержания органического вещества. Наконец, в осенний период количество планктона уменьшается, синезеленые продолжают доминировать.

### 3.1.2 Характеристика очистных сооружений водопровода

Очистные сооружения водопровода включают в себя пять блоков очистных сооружений общей проектной производительностью 975 000 куб.м / сутки и представлены двумя схемами очистки: одноступенчатой и двухступенчатой.

На блоках № 1, № 2 и № 3 водоподготовка осуществляется по двухступенчатой схеме: отстаивание и фильтрование на скорых фильтрах.

Для снижения биомассы водорослей в период цветения воды в Шершневском водохранилище вода проходит предварительную стадию водоподготовки – микрофильтры. Перед обработкой в воду подается коагулянт и хлорагент для первичного хлорирования.

**Блок № 1** производительностью 182 тыс. куб.м / сутки построен в 1932-1961 годах, состоит из четырех очередей.

Первая очередь производительностью 32 тыс. куб.м / сутки выведена из работы в 2006 году в связи с 100-процентным износом. Состав 2-й, 3-й и 4-й очереди: двухярусные отстойники – по 3 шт. в каждой очереди, скорые фильтры – по 6 шт. в каждой очереди.

Чистая вода Блока № 1 после вторичного хлорирования поступает в резервуары чистой воды (далее – РЧВ) V = 750 куб.м, 1 500 куб.м, 2 200 куб.м.

**Блок № 2** производительностью 200 тыс. куб.м / сутки построен в 1964 году, состоит из двух очередей, включающих в себя следующие сооружения: горизонтальные отстойники – 20 шт., скорые фильтры – 10 шт.

Чистая вода Блока № 2 после вторичного хлорирования поступает в РЧВ V = 7000 куб.м – 2 шт.

**Блок № 3** производительностью 250 тыс. куб.м / сутки построен в 1981 году, состоит из двух очередей, включающих в себя следующие сооружения: горизонтальные отстойники – 10 шт., скорые фильтры – 10 шт.

Чистая вода Блока № 3 после вторичного хлорирования поступает в РЧВ V = 10 000 куб.м – 3 шт.

На **Блоках № 4, № 5** водоподготовка осуществляется по одноступенчатой схеме – контактные осветлители (далее – КО). Перед подачей на КО исходная вода проходит следующие стадии обработки:

- 1) микрофильтры (круглогодично);
- 2) контактные камеры для первичного хлорирования;
- 3) смесители для ввода коагулянта;
- 4) ввод флокулянта за 1 метр до очереди КО.

**Блок № 4** производительностью 175 тыс. куб.м / сутки построен в 1993 году, состоит из двух очередей: 1-я очередь КО – 8 шт., 2-я очередь КО – 12 шт.

Чистая вода Блока № 4 после вторичного хлорирования поступает в РЧВ V= 10 000 куб.м – 3 шт.

**Блок № 5** производительностью 200 тыс. куб.м / сутки работает по принципу Блока № 4. Блок № 5 введен в эксплуатацию в 2011 году.

Ввод Блока № 5 создал резерв мощности на перспективное строительство.

Технологическая производительность (мощность) ОСВ – способность сооружений обеспечить очистку требуемого количества воды до требуемого качества, а также объемы образующихся осадков приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Технологическая производительность и объемы осадков на ОСВ г. Челябинска

Наименование	Года ввода	Технологическая производительность, тыс. куб.м / сутки	Объем осадка, м <sup>3</sup>
Блок № 1	1932-1961	100	226 676
Блок № 2	1964	150	659 423
Блок № 3	1981	250	1 174 600
Блок № 4	1993	50	-
Блок № 5	2011	60	-
<b>Итого:</b>		610	2060699

### 3.1.3 Основные реагенты, влияющие на состав осадка

Реагенты и режимы обработки ими подбирают в зависимости от физико-химических, санитарно-бактериологических и технологических анализов воды.

Для водоподготовки на ОСВ города Челябинска используются следующие реагенты:

- 1) коагулянт – сернокислый алюминий, оксихлорид алюминия «Бопак-Е»;
- 2) известковое молоко, применяемое с целью:
  - снижения коррозионной активности воды;
  - создания щелочного резерва воды, необходимого для протекания процесса коагуляции;
- 3) флокулянты AN 905, FL-4540;
- 4) перманганат калия для удаления из воды привкусов и запахов.

Обеззараживание воды (первичное, вторичное) производится жидким хлором.



На блоках № 1–3 для коагуляции используются сульфат алюминия и флокулянт AN-905. Технические и технологические характеристики используемых реагентов представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Основные характеристики реагентов водоподготовки блоков

реагент	ГОСТ	марка, сорт	активное вещество	содержание активного вещества, %	рабочие дозы, мг/л
алюминий сернокислый очищенный технический	ГОСТ 12966-85	высший 1 сорт 2 сорт	$Al_2O_3$	$\leq 16,3$ $\leq 15,0$ $\leq 14,0$	4–50 по $Al_2(SO_4)_3$
флокулянт AN-905	–	–	полиакриламид	90	0,05–0,20
гашеная и негашеная воздушная известь	ГОСТ 91-79-77	1 сорт 2 сорт 3 сорт	$CaO + MgO$	90 80 70 (на сухой продукт)	до 5 мг/л по $CaO$
перманганат калия	ГОСТ 5777-71	1 сорт 2 сорт	$KMnO_4$	99,0 98,0	0,05 –1,0
хлор жидкий	ГОСТ 6718-86	-	$Cl_2$	99,5	Первичный хлор: 5–6; Вторичный хлор: 1,2–1,3

Введение коагулянтов приводит к агрегации взвешенных частиц за счет нейтрализации заряда и химического связывания. В результате применения коагулянтов происходит дестабилизация коллоидной суспензии и образование микрохлопьев.

Предварительная обработка воды такими окислителями, как перманганат калия, хлор повышает эффективность коагуляции. Это объясняется тем, что хлор разрушает органические соединения при предварительном хлорировании воды (перед введением коагулянта) [37].

Количество поляризованных групп уменьшается за счет окисления отрицательно заряженных ионов, т.е. частицы становятся более «нейтральными», высота барьера отталкивания снижается.

Твердый коагулянт  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  (I сорт по  $Al_2O_3$ ) используется круглогодично. Это вещество 2-го класса опасности, содержание его в питьевой воде не должно превышать 0,2 мг/л [55].

К флокулянтам относятся неорганические или органические высокомолекулярные соединения (полимеры), способные удерживать на активных центрах своих макромолекул по несколько загрязняющих воду коллоидных частиц. Большая молекулярная масса флокулянтов способствует образованию мостиков между микрохлопьями и формированию макрохлопьев (флокул). Содержание флокулянта в питьевой воде не более 2 мг/л. Флокулянты используются для интенсификации процессов коагуляции, преимущественно в период паводка и летнего «цветения». Рабочие дозы реагентов подбираются методом пробного коагулирования (флокулирования) в лаборатории технологического анализа.

Известь используется только в паводок при дефиците щелочного запаса. Продолжительность использования от 10 до 30 дней. В период 2016 года известь в паводок не применялась. Перманганат калия вводится по необходимости в следующие периоды: в паводок; в период цветения при появлении у чистой воды запаха и привкуса и при повышении окисляемости чистой воды до значений, превышающих 5 мг/л. Дозы по перманганату калия составляют 0,1 мг/л (по Mn).

Хлорирование воды производится круглогодично с целью окисления органических примесей воды (первичное хлорирование) и для обеззараживания (вторичное хлорирование). В чистой воде обеспечиваются следующие концентрации: остаточный свободный хлор – 0,3–0,5 мг/л; остаточный связанный – 0,8–1,2 мг/л.

### **3.1.4 Типы сооружений, на которых образуется исследуемый осадок**

#### **3.1.4.1 Сооружения блока №1**

В настоящее время в работе находится три очереди. Производительность блока на данный момент составляет 150 000 м<sup>3</sup>/сут. Блок работает по двухступенчатой схеме очистки воды: отстаивание и фильтрование.

В качестве первой ступени осветления на данном блоке используются двухъярусные отстойники. Каждая очередь имеет три двухъярусных отстойника горизонтального типа, каждый из которых представляет собой железобетонный прямоугольный резервуар. Технологические параметры отстойников блока №1 представлены в таблице 3.4. Очищаемая вода из камер хлопьеобразования поступает на нижний этаж отстойника, проходит по нему в горизонтальном направлении, у противоположной торцевой стены отстойника поднимается на верхний этаж и движется в обратном направлении. Затем через водосливную стенку переливается в сборный канал длиной 27 м и отводится на фильтры.

Известно, что отстаивание воды в горизонтальных отстойниках неоднородно по вертикали. Можно выделить две основные зоны: первая – зона осаждения, вторая – зона накопления и уплотнения осадка. Зону осаждения называют также зоной свободного осаждения, так как в ней отдельные частицы и их агрегаты подчиняются законам свободного падения под действием силы тяжести. Сфлокулированные частицы выпадают в осадок со скоростью, постоянной по высоте зоны. Теоретически в верхней части зоны свободного осаждения плотность системы практически равна плотности жидкости, поступающей на отстаивание. В нижней части зоны осаждения сверху вниз плотность нарастает. С повышением концентрации сфлокулированных частиц при отстаивании взаимодействием между ними уже нельзя пренебрегать – режим осаждения переходит из свободного в стесненный. Скорость стесненного осаждения хлопьев меньше скорости свободного осаждения. В результате вначале этого процесса эффективность отстаивания повышается, однако, по превышении некоторой критической концентрации, процесс переходит в стадию замедленного отстаивания. Скорость осаждения резко падает.

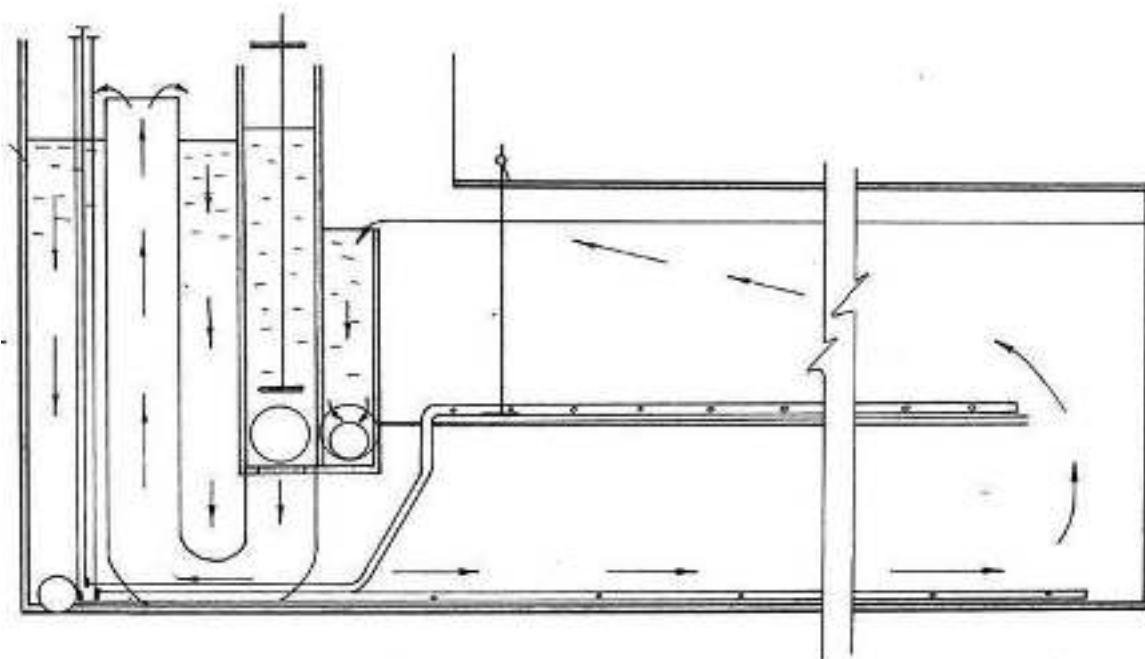


Рисунок 3.5 – Конструкция двухъярусного отстойника горизонтального типа [56]

Двухъярусный отстойник отличается увеличенной вдвое площадью отстаивания по сравнению одноярусным отстойником тех же размеров в плане. Особенностью работы двухъярусного отстойника является также то, что очищаемая вода из камер хлопьеобразования поступает на нижний этаж отстойника, проходит по нему в горизонтальном направлении, у противоположной торцевой стены отстойника поднимается на верхний этаж и движется в обратном направлении. Затем через водосливную стенку

переливается в сборный канал и отводится на фильтры. Таким образом, зона осаждения и зона накопления (и сгущения) осадка в двухъярусном отстойнике разделены. Нижний ярус двухъярусного отстойника представляет собой конструктивно выделенную зону накопления осадка. В верхнем ярусе создаются благоприятные условия для формирования зоны свободного осаждения, в верхней части которой образуется слой осветленной воды.

Для удаления осадка из отстойников применяют их сброс, т. к. продувки не показали себя эффективными, для этого на канализационном трубопроводе отстойника установлены шиберные задвижки, по две штуки в третьей и четвертой очереди и по одной во второй очереди. Сброс производится с периодичностью не реже 1 раза в месяц для поддержания санитарного состояния.

Таблица 3.5 – Технологические параметры отстойников блока №1

Тип отстойника	Конструктивные особенности	Технологический режим		
		Скорость движения воды, мм/с	Время пребывания, мин	Эффект осветления, %
Двухъярусные горизонтальные	Общая длина яруса – 32 м; Длина отстойной зоны – 30 м; Общий путь движения воды – 60м; Высота яруса – 2,8 м; Общая высота – 5,6 м; Ширина отстойника – 9 м; Объем отстойника ~ 1500 м <sup>3</sup> .	0,25-0,30	60-70	40-60

Промывку отстойников производят по графику водой питьевого качества с помощью шлангов с наконечниками.

Качество работы отстойников контролируются визуально – по осветлению воды, кинетике образования хлопьев, а также динамике осаждения осадка. Лабораторный контроль мутности и цветности очищенной воды ведется каждые два часа (через 1 час во время паводка и цветения).

### 3.1.4.2 Сооружения блока №2

Производительность Блока №2 составляет 200 000 м<sup>3</sup>/сут. Очистка воды представлена двухступенчатой схемой: отстаивание и фильтрование. В состав

блока входят 20 горизонтальных односекционных отстойников и 10 скорых фильтров.

Для осаждения основной массы взвешенных загрязнений применяются горизонтальные отстойники, представленные на рисунке 3.6. Камеры хлопьеобразования совмещены с отстойниками.

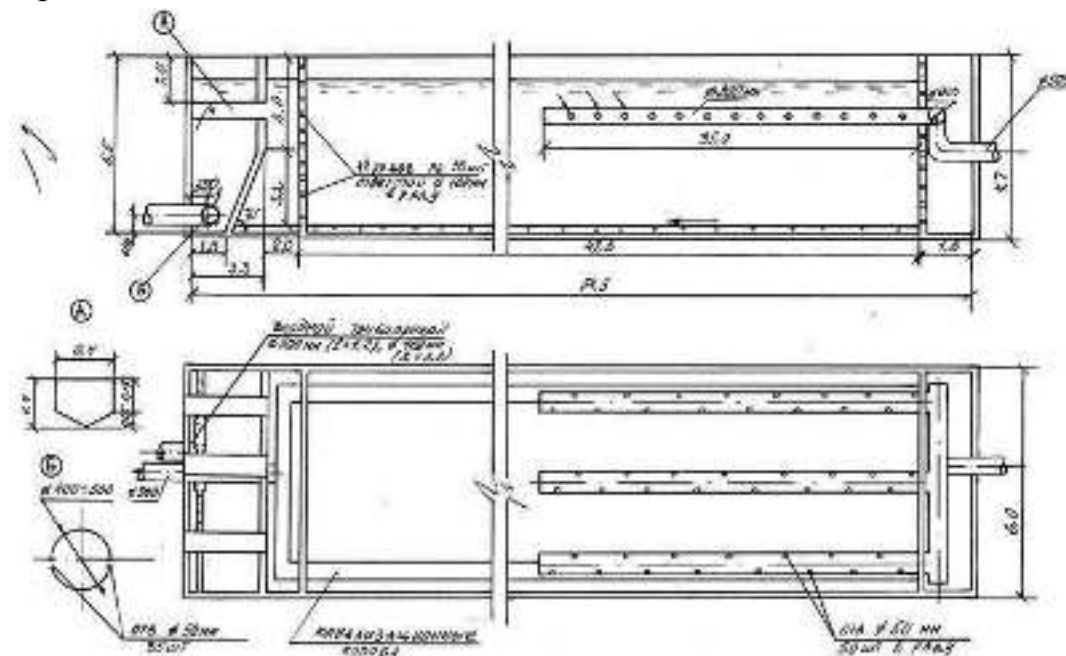


Рисунок 3.6 - Технологическая схема горизонтального отстойника, совмещенного с вихревой камерой хлопьеобразования [56]

Одноярусные горизонтальные отстойники представляют собой ж/б резервуар прямоугольный в плане размером 50,0 x 6,0 м, высотой от 4,7 до 5,2 м. Объем отстойника – 1500 м<sup>3</sup>. Дно отстойника имеет уклон 0,01 в сторону камеры хлопьеобразования. Для равномерного распределения потока по сечению отстойников в его начале установлены дырчатые распределительные перегородки. В каждой перегородке имеется 192 отверстия Ø 100 мм, расположенные в 12 рядов по 16 штук в каждом. Технологические параметры отстойников блока №2 приведены в таблице 3.6.

Для удаления осадка из отстойников применяют их продувку. Удаление осадка из отстойника производится по двум ж/б коробам, расположенными по днищу отстойника. Короба имеют отверстия, расположенные по обе стороны на уровне днища. Оба короба соединяются трубопроводом с канализационным коллектором. Осадок из камеры хлопьеобразования удаляется в этот же канализационный коллектор.

Таблица 3.6 – Технологические параметры отстойников блока №2 [56]

Тип	Кол-во, шт	Конструктивные особенности	Технологический режим		
			Скорость движения воды, мм/с.	Время пребывания, мин	Эффект осв, %
Горизонтальные отстойники, односекционные	20	Длина - 50 м; Ширина - 6,0 м; Высота 4,7-5,2 м; Уклон в сторону камеры х/о $i=0,01$ .	1,9-2,1	70-80	40-60

Качество работы отстойников контролируются визуально – по осветлению воды, кинетике образования хлопьев, а также динамике осаждения осадка. Лабораторный контроль мутности и цветности отстоянной воды ведется каждые четыре часа (через 2 часа во время паводка и цветения).

### 3.1.4.3 Сооружения блока №3

Производительность блока №3 250 000 м<sup>3</sup>/сут. Очистка воды представлена двухступенчатой схемой: отстаивание и фильтрование. В состав блока входят 10 двухкоридорных горизонтальных отстойников и 10 скорых фильтров.

В качестве первой ступени очистки воды применяются горизонтальные двухсекционные отстойники.

Горизонтальный отстойник - прямоугольный железобетонный резервуар, в котором осветленная вода движется в направлении близком к горизонтальному.

Размер отстойника в плане 12х76 м, высота 4,7-5,1м (рисунок 3.7).

В каждой секции отстойника расположены два перфорированных короба, предназначенных для продувки и сброса отстойника. Оба короба соединяются в трубопровод, далее в канализационный коллектор

При продувке отстойника открывают задвижку на канализационном трубопроводе. В данный момент осадок под действием гидростатического давления поступает в систему и в виде пульпы и удаляется из отстойников.

Дно отстойника имеет продольный уклон  $i=0,005$  в направлении, обратном движению воды и поперечные уклоны в каждом коридоре к коробам, для удаления осадка.

Контроль качества работы осуществляется оператором блока визуально по прозрачности воды на входе в скорые фильтры, лабораторный контроль ведется каждые четыре часа по мутности воды, выходящей из отстойников. При ухудшении работы отстойных сооружений вносятся изменения в режим реагентной обработки воды, уменьшение скорости прохождения воды по отстойнику.

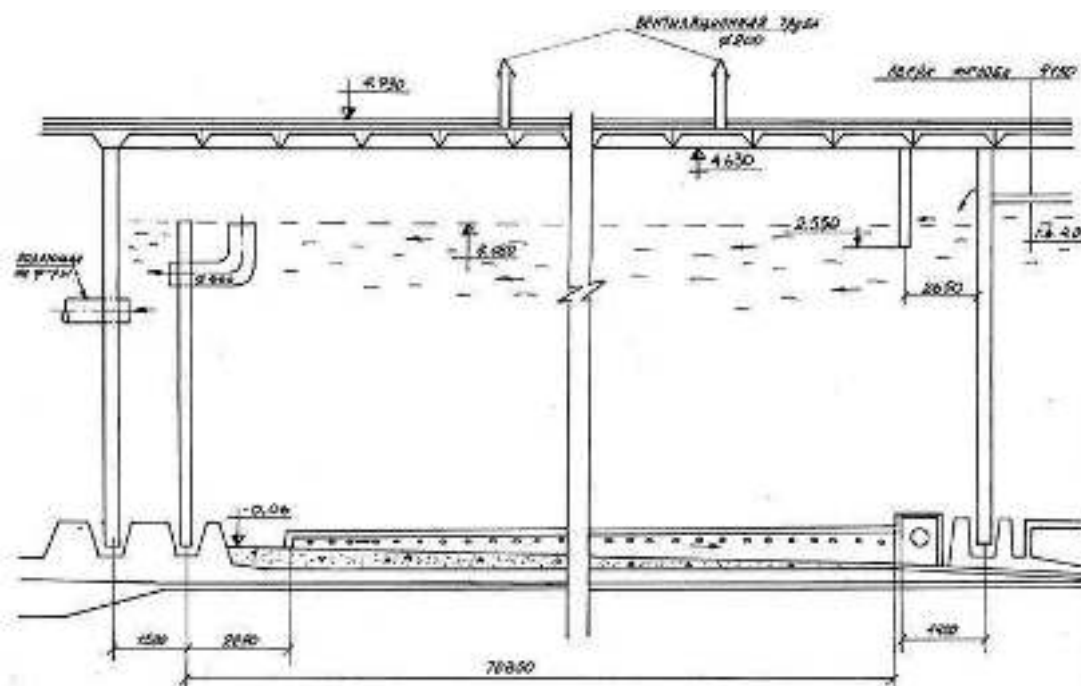


Рисунок 3.7 – Схема горизонтального отстойника блока №3

Технологические параметры отстойников 3 блока указаны в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Технологические параметры отстойников блока №3

Тип	Кол-во, шт.	Конструктивные особенности	Технологический режим			
			Скорость движения воды, мм/с	Время пребывания, мин	Эффект осветления, %	Период очистки (продувка), сут.
Отстойники горизонтальные, двухсекционные	10	Длина – 75 м Общ. ширина – 12 м Ширина 1 секции – 5,65 м Высота - 5,2 м Уклон в сторону камеры х/о $i=0,005$	0,23-0,25	70-80	40-60	5-20

Особенностью работы блока № 3 является возврат промывных вод скорых фильтров. Такой технологический прием позволяет повысить мутность очищаемой воды, создать дополнительные центры возникновения зародышей твердой фазы, ускорить коагуляцию примесей при очистке маломутных вод, что весьма актуально для Шершневого водохранилища. Кроме того, повышение

мутности резко усиливает действие флокулянтов, утяжеляет осадок [36]. Возврат промывных вод позволяет повысить полезную производительность ОСВ.

Возврат промывных вод оказывает влияние на формирование и свойства осадка: возможно образование более крупных фракций. В работе [42] показано, что с увеличением размера частиц увеличивается количество свободной воды, уменьшается количество связанной воды и, соответственно, снижается удельное сопротивление осадка. В связи с этим следует ожидать отличий в водоотводящей способности осадков блока № 3 по сравнению с осадками блоков № 1 и 2 [37].

## **3.2 Характеристика осадка ОСВ г. Челябинска**

### **3.2.1 Объем осадка**

По исследованиям и анализам, полученным в работе [37] на ОСВ г. Челябинска в год образуется 2060699 м<sup>3</sup> осадков. Это составляет около 1,3 % от полезной производительности очистных сооружений (забор воды из Шершневого водохранилища за 2016 год составил 170,634 475 млн. м<sup>3</sup>), на каждый кубометр питьевой воды образуется около 13 литров осадков ОСВ. Наибольшие объемы осадка в год образуются на блоке № 3 - 57 % годового объема, на блоке № 2 – 32 % осадка и на блоке № 1 – 11 %.

### **3.2.2 Химический и гранулометрический состав осадка**

Химический состав осадка исследовали на примере образцов осадка блока №1, отобранного в октябре 2015 года. Показатели качества воды в водохранилище в это время следующие: цветность 14 град., мутность 2,9 мг/л, перманганатная окисляемость 5,2 мг О/л, температура 8–10 °С, фитопланктон 20–30 млн. кл/л.

Элементный состав осадка представлен в таблице 3.9. Состав кека натурального осадка определяли с помощью энергодисперсионного анализатора Oxford INCA электронного сканирующего микроскопа JSM-700 1F в пробе, высушенной под вакуумом при 70° С до постоянного веса [37].

Повышенное содержание углерода говорит о присутствии в осадках высокого количества фитопланктона, а присутствие кремния говорит о существовании диатомовых водорослей в осадке в момент отбора проб. (Известно, что клеточная стенка диатомовых состоит из аморфного кремния [37]).

Некоторые элементы присутствуют в осадке, т к используются при реагентной обработке воды. Так, наличие алюминия объясняется использованием в качестве коагулянта сульфата алюминия, присутствие марганца – работой установки по марганцеванию воды в летний период, предшествующий опорожнению отстойника. Реагентная обработка приводит к депонированию



соответствующих элементов в осадках. В целом состав осадка соответствует осадкам ОСВ, полученным при обработке маломутных и малоцветных вод.

Таблица 3.9 – Элементный состав осадка [37]

Элемент	Содержание, % по массе	Элемент	Содержание, % по массе
С (органический осадок)	34,22	Mn	0,40
O	53,75	S	0,25
Al	5,91	Mg	0,12
Si	2,54	K	0,10
Fe	1,57	Cl	0,09
Ca	1,06		

Исследования гранулометрического состава, проведенные в работе [37] показали следующие результаты: осадки ОСВ являются полидисперсными системами с размерами частиц от 0,5 до 1000 микрон. Преобладают частицы до 100 микрон, включая коллоидные. Развитая поверхность осадков, наличие электрохимического потенциала на поверхности раздела и гидратация существенно снижают водоотдающую способность подобных структур.

### 3.3 Свойства осадка ОСВ г. Челябинска

#### 3.3.1 Влажность и содержание сухого вещества

Осадок, удаленный продувкой или методом сброса из отстойников сильно обводнен. Основной показатель, показывающий содержания воды в осадке, выраженный в процентах, называют влажностью. Влажность тесно взаимосвязана с содержанием сухого вещества в осадке, выраженного в г/л. Это два важных показателя, которые определяют технологию обработки осадка. Дозы реагентов, используемые в кондиционировании осадков, рассчитываются по содержанию сухого вещества.

***Влажность и содержание сухого вещества в осадке определяют следующим образом:***

Мерным цилиндром отбирают определённое количество осадка и переносят его во взвешенный тигель, предварительно высушенный до постоянной массы при 105 °С. Для количественного переноса омывают цилиндр дистиллированной водой из пипетки, строго учитывая объем использованной воды ( $V_v$ , мл). После

взвешивания тигля с сырым осадком из полученной массы сразу вычитают массу воды, соответствующую  $V_v$ .

Взвешивают тигель с влажным осадком, затем направляют в сушильный шкаф на просушку при 105 °С до постоянной массы (на 1-3 суток). После высушивания переносят тигель с осадком в эксикатор, охлаждают до комнатной температуры и взвешивают ( $m_{\text{сух}}$ ). Взвешивания проводят на аналитических весах. Вычисляют влажность осадка,  $W$  (%), по формуле:

$$W = \frac{m_{\text{влаж}} - m_{\text{сух}} - m_v}{m_{\text{влаж}} - m_T} \cdot 100\%,$$

где  $m_{\text{влаж}}$  – масса тигля с влажным осадком, г;

$m_v$  – масса воды для количественного переноса осадка, г, численно равна ее объему  $V_v$ , мл при плотности 1 г/мл;

$m_{\text{сух}}$  – масса тигля с высушенным до постоянной массы осадком, г;

$m_T$  – масса тигля, г.

Содержание сухого вещества осадка,  $C_{\text{сух}}$ , г/л, рассчитывают следующим образом:

$$C_{\text{сух}} = (100 - W) \cdot 10$$

Осадок отбирался в различные периоды 2016 и 2017 года:

- ноябрь 2016
- март 2017
- июнь 2017
- октябрь 2017

Результаты определения влажности и содержания сухого вещества исходных осадков, отобранных в указанные периоды, приведены в таблице 3.10.

Как говорилось ранее, вода может находиться в различных формах связи (по нарастанию степени связанности): свободная, физико-механически связанная с твердыми частицами, физико-химически связанная и, наконец, химически связанная вода, входящая в состав вещества и не удаляемая даже при термической сушке осадков. Механическими методами обезвоживания осадков удаляется большая часть свободной воды. Удаление влаги под давлением или выпаривание позволяют удалять физико-механически связанную воду (капиллярная, вода смачивания). Для этого требуется использовать аппараты, создающие давление выше капиллярного и разрушающие структурные связи [42]. Под вакуумом можно удалить влагу микрокапилляров, однако скорость водоотдачи капиллярной влаги очень мала, требуются большие затраты по времени.

Для повышения водоотдачи требуется предварительная обработка осадков, перед направлением их на обезвоживание.

Таблица 3.10 – Влажность и содержание сухого вещества в исходном осадке

Период отбора осадка		
№ блока	Влажность, %	Содержание сухого вещества, г/л
ноябрь 2016		
Блок №1	98	13,60
Блок №2	97	23,10
Блок №3	97	29,10
март 2017		
Блок №2	98	25,15
Блок №3	96	27,25
июнь 2017		
Блок №2	96	21,80
Блок №3	94	35,00
октябрь 2017		
Блок №2	95	25,00

### 3.3.2 Водоотдающая способность. Удельное сопротивление фильтрации

Осадки природных вод представляют собой нефилтруемы, сжимаемые осадки, состоящие из природных примесей воды и реагентов, используемых при водоподготовке.

Основной технологический показатель водопроводных осадков, который определяет выбор способа их обработки его водоотдающая способность. Водоотдающая способность характеризуются величиной удельного сопротивления фильтрации ( $r$ ). Его значение тем ниже, чем выше водоотдача осадка, и, наоборот, снижение водоотдачи осадка характеризуется повышением значения  $r$ .

***Удельное сопротивление фильтрации определяется следующим образом:***

По методике на фильтровальной установке, описанной в [42] при вакууме  $\Delta P=500$  мм рт ст происходит фильтрование осадка. Схема установки представлена на рисунке 3.8. Через определенные промежутки времени замеряется объем образующегося фильтрата.



Рисунок 3.8 – Установка для определения удельного сопротивления фильтрации осадка: 1 – вакуумный насос; 2 – ресивер; 3 – манометр; 4 – мерный цилиндр; 5 – воронка Бюхнера

По данным замеров фильтрата ( $V$ ) и по соответствующим им продолжительностям фильтрования ( $t$ ) строятся графические зависимости в координатах  $t/V$  и  $V$  и рассчитывается удельное сопротивление фильтрации осадка по формуле [8]:

$$r = \frac{2 \cdot \Delta P \cdot F^2}{\mu \cdot x} \cdot b,$$

$$b = (t + t_0) / (V + V_0)^2 = t/V^2,$$

где  $r$  – удельное сопротивление осадка, см/кг;

$t_0$  – время, необходимое для образования  $V_0$  и соответствующее установлению постоянного  $\Delta P$ . Для экспериментов с осадками очистных сооружений водопровода во всех случаях наблюдали, что  $V_0 = 10$ .

$\Delta P = 66,661 \cdot 10^3$  Па = 500 мм рт ст – давление, при котором происходит фильтрование, Па;

$F$  – площадь фильтрующей поверхности, см<sup>2</sup>, равна площади воронки Бюхнера;

$\mu$  – вязкость фильтрата, Па·с, равен  $1,005 \cdot 10^{-3}$  Па·с (при  $t=20,2^\circ\text{C}$ );  
 $x$  – отношение массы твердой фазы кека, отлагающегося на фильтре при получении единицы объема фильтрата. Численно равна содержанию сухого вещества в осадке, выраженному в г/мл;  
 $b = t/V^2$  – параметр, полученный опытным путем, как тангенс угла наклона линейной части кривой;  
 $t$  – время фильтрации, с;  
 $V$  – объем выделившегося фильтрата

**Определения величины удельного сопротивления фильтрации:**

Осадок, отобранный в ноябре 2016 года.

- Исходный осадок блока № 1 объемом 100 мл наливаем в воронку Бюхнера со смоченный бумажным фильтром, открываем кран. При помощи мерного цилиндра измеряем объем фильтрата через определенные промежутки времени ( $V_0 = 8,33$  мл – исходный объем (с учетом поправочного коэффициента  $k=0,833$ ),  $V_1$  – замеряемый объем выделившегося фильтрата) результаты записываем в таблицу.
- Таблица 3.11 – Результаты фильтрования исходного осадка

t,с	$V_1$ ,мл	$V=V_1-V_0$	$t/V$
10	16,66	8,36	1,20
20	20,83	12,53	1,60
30	23,32	15,02	2,00
40	24,99	16,69	2,40
60	29,16	20,86	2,88
90	34,15	25,85	3,48
120	37,49	29,19	4,11
150	41,65	33,35	4,50
180	44,15	35,85	5,02
210	46,65	38,35	5,48
240	49,15	40,85	5,88
270	52,48	44,18	6,11
300	53,31	45,01	6,66
600	69,14	60,84	9,86

- По полученным результатам строим график (рисунок 3.9).

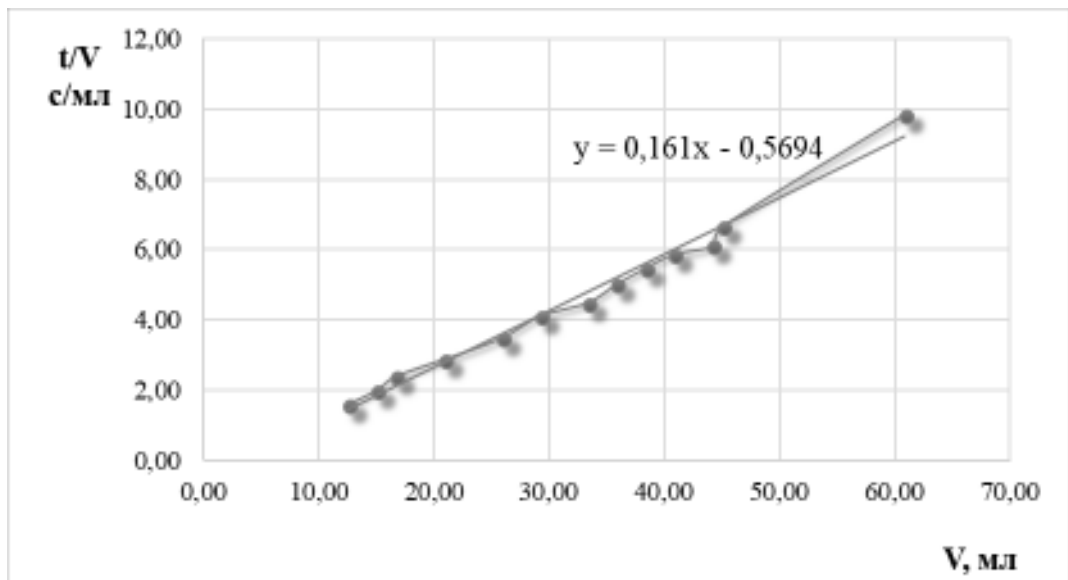


Рисунок 3.9 – График зависимости  $t/V=f(V)$ . Построение параметра  $b$ , для исходного осадка ОСВ, отобранного в ноябре 2016 года, блок №1

4. Из графика находим:

$$\operatorname{tg}\alpha=0,161=V$$

Удельное сопротивление фильтрации находим по формуле:

$$r = \frac{2 \cdot \Delta P \cdot F^2}{\mu \cdot x} \cdot b,$$

где  $\Delta P=67000\text{Па}$  – давление при фильтрации;

$F = 60,19 \text{ см}^2$  – площадь фильтровальной поверхности;

$\mu = 13,6 \text{ г/л} = 0,0136 \text{ г/см}^3$  – концентрация осадка;

$$r = (2 \cdot 67000 \cdot 60,19^2 / 0,001 \cdot 0,0136) \cdot 0,161 = 575 \cdot 10^{10} \text{ см/кг} = 5750 \cdot 10^{10} \text{ м/кг}$$

5. Аналогичным образом находим все значения удельного сопротивления.

Результаты по определению удельного сопротивления фильтрации исходных осадков представлены в таблице 3.12.

По исходным значениям величин удельных сопротивлений ( $1470 - 5750 \cdot 10^{10} \text{ м/кг}$ ) можно сделать вывод, что осадок относится к трудно фильтруемым и нуждается в предварительной обработке для увеличения водоотдающей способности.

Сравнивая значения удельных сопротивлений фильтраций в различные сезоны года, можно сделать вывод: осадок, отобранный в осенний период, имеет повышенное значение  $r$  (усредненное значение по всем трем блокам  $\sim 4000 \cdot 10^{10} \text{ м/кг}$ ), в весенний период данная величина снижается и сравнима с летней

величиной (среднее значение  $\gamma \sim 2200 \cdot 10^{10}$  м/кг). Осадок весеннего периода имеет промежуточные свойства между осенним и летним, однако более приближен к осеннему.

Таблица 3.12 - Удельное сопротивление фильтрации исходного осадка

Период отбора осадка	
№ блока	Удельное сопротивление фильтрации, $\gamma \cdot 10^{10}$ , м/кг
ноябрь 2016	
Блок №1	5750
Блок №2	4620
Блок №3	3590
март 2017	
Блок №2	2900
Блок №3	2140
июнь 2017	
Блок №2	1470
Блок №3	2500
октябрь 2017	
Блок №2	1800

В летний период 2017 года наблюдали массовое размножение синезеленых (см. п 3.1, таблицу 3.1), в весенний и осенний периоды такое явление отсутствует. Однако, в осенний период 2017 года содержание фитопланктона выше, чем в аналогичный период 2016 года, и осадок блока №2 имеет следующие значения удельного сопротивления фильтрации - 4620 и  $1800 \cdot 10^{10}$  м/кг соответственно. По-видимому, присутствие в осадках значительного количества клеток фитопланктона способствует некоторому повышению водоотдающей способности осадков.

Повышенное удельное сопротивление фильтрации осадка на блоке №3 в летний период (по сравнению с блоком №2 и блоком №3 в весенний период) связано с повышенным количеством сухого вещества в осадке (35 г/л) Более концентрированный осадок имеет большую вязкость фильтрата при равной температуре очищаемой воды [42].

Кроме того, существенное значение имеет температура воды в водоисточнике (п. 3.1, таблицу 3.1): в весенний период она составила 0,5 °С, в осенний – снижалась с 20 до 8 градусов, а в летний период была высокой (13-20°С). При повышении температуры очищаемой воды происходит снижение вязкости, а значит замедление процессов оседания и формирования осадка в зоне

накопления отстойника. Это приводит к снижению удельного сопротивления фильтрации осадка.

В целом состав осадка соответствует осадкам ОСВ, полученным при обработке маломутных и малоцветных вод, и относится к нефилтруемым.

### **3.4 Исследование кондиционирования осадков известью и известью совместно с присадочным материалом**

Кондиционирование осадков – это предварительная подготовка их перед обезвоживанием. Цель кондиционирования - улучшение водоотдающих свойств осадков путем изменения их структуры и форм связи воды.

Для кондиционирования осадка использовалось известковое молоко с концентрацией 139 – 146 мг/мл (по CaO). Известковое молоко — взвесь (суспензия), образуемая при смешивании избытка гашёной извести с водой.

Выбор реагента может изначально основываться на его низкой стоимости. Эффективность применения и дозы реагента исследуются и подбираются для каждого осадка в отдельности. Известь часто используют при уплотнении осадка сточных вод, особенно сырого, что улучшает его первоначальную фильтруемость.

При введении в осадок известкового молока происходит переход части гидроксида алюминия в алюминат кальция, однако их существование непродолжительно, и они переходят в раствор в виде гидроксоалюминатов кальция.



Можно предположить по данной реакции, что должно произойти нарушение структуры осадка с выделением поровой воды. По анализам литературных источников - удельное сопротивление фильтрации обработанных осадков снижается.

В качестве присадочного материала выбрана опока. Опока - прочная, тонкопористая с плоскоразвитым или неровным изломом, от палевых до темно-серых почти черных тонов кремнеземистая порода, которая составляет отдельную группу природных глин. Опоки обладают большим объёмом сорбционного пространства, высокой удельной поверхностью (100-130 м<sup>2</sup>/г) и пористостью (43-38%), характеризуются как высококачественное сорбционное сырьё с высоким содержанием аморфного кремнезема. Химический состав опок может быть представлен в виде оксидов: SiO<sub>2</sub> – 75,0-80,0; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 18,0 – 23,0; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,5 – 1,0; H<sub>2</sub>O – 0,2-0,5; CaO – 1,0 – 1,2%, остальное – оксиды Mg, Na, K.

Опока не размокает в воде. Характерная особенность также это мезо – макропористая структура с эффективным диаметром пор 20 – 110 нм, а также высокая механическая устойчивость. Данный материал был привезен из Астраханской области из Каменноярского месторождения опок. Разведенные запасы месторождения составляют около 70 млн т., прогнозируемые оцениваются



в 200 млн т. Существует рабочий проект разработки месторождения по добыче опок, используемых в качестве сырья для производства сложных минеральных удобрений, фильтров для очистки питьевой воды. Уникальные свойства данного минерала, позволяющие надёжно запирать в своей структуре широкий спектр загрязняющих веществ, его высокая сорбционная и ионообменная ёмкость. Диаметр частиц, от 0,001 - 0,1мм до 5,5-10 мм.

По данным исследований [58] целесообразно использование глины в качестве присадки для улучшения фильтруемости гидроокисных осадков подтверждается двойственным механизмом ее воздействия на осадок: во-первых, глина, имеющая истинную плотность 2,60 - 2,65 г/см, утяжеляет легкие хлопья гидроокислов (плотность 1,2 - 1,4 г/см), способствует их агрегированию, ускоряет осаждение и, таким образом, обеспечивает уплотнение гелеобразных осадков до влажности 90 - 94%; во-вторых, глинистые минералы сложного строения, например каолинит, при повышении температуры в условиях воздействия постоянной нагрузки проявляют стремление к ориентировке базальных плоскостей частиц перпендикулярно прилагаемой нагрузке, что приводит к изменению структуры глинистых суспензий, максимально плотной укладке частиц, интенсивному уплотнению твердой фазы и выделению значительного количества воды, находящейся ранее в связанной форме.

### ***Методика обработки осадка известью, известью и присадочным материалом***

Приборы и материалы:

- стакан химический
- мешалка магнитная
- стеклянная палочка для перемешивания
- осадок
- опока – присадочный материал
- известковое молоко

*Обработка осадка известью:*

В мерный химический стакан, объемом 500 мл добавляют 100 мл осадка и определенную дозу известкового молока концентрацией раствора 139-146 мг/мл (по СаО), предварительно интенсивно перемешанного магнитной мешалкой. Дозы рассчитывают по сухому веществу осадка 10, 15 и 20 %. Тщательно перемешивают для равномерного распределения извести в осадке. При этом начинает выделяться вода, консистенция осадка становится более жидкой и неоднородной.

*Обработка осадка известью и присадочным материалом:*

В мерный химический стакан, объемом 500 мл добавляют 100 мл осадка и определенную дозу известкового молока при концентрации раствора 139-146

мг/мл (по СаО), предварительно интенсивно перемешанного магнитной мешалкой. Дозы рассчитывают по сухому веществу осадка 10, 15 и 20 %. Тщательно перемешивают для равномерного распределения извести в осадке. В осадок с известью добавляют навеску опоки (1-2% по сухому веществу осадка). Тщательно перемешивают, не позволяя осаждаться присадочному материалу.

Например, при содержании сухого вещества 21,8 г/л и дозе извести 10%, а опоки -1 % по сухому веществу осадка, вносят 1,6 мл известкового молока (139 г/л по СаО) и 2,2 мг присадочного материала.

### 3.4.1 Водоотдающая способность обработанных осадков ОСВ

В результате обработки известковым молоком визуально заметно выделение свободной воды из осадка. Как химический реагент известь частично растворяет гелеобразный гидроксид алюминия, а также сама частично работает как присадочный материал, снижающий величину показателя сжимаемости [32]. Теоретически эта совокупность действий приводит к улучшению фильтрационных свойств осадка. Кондиционирование проводилось различными дозами известкового молока от 10 до 20% по сухому веществу, а также дозами опоки 1-2% по сухому веществу.

Эффективность кондиционирования осадков известью можно оценить по изменению угла наклона прямой в координатах  $t/V=f(V)$ .

Для примера на рисунке 3.10 представлены результаты определения параметра В для осадка блока №2, отобранного в июне 2017 года, при его кондиционировании 10, 15 и 20% известкового молока.

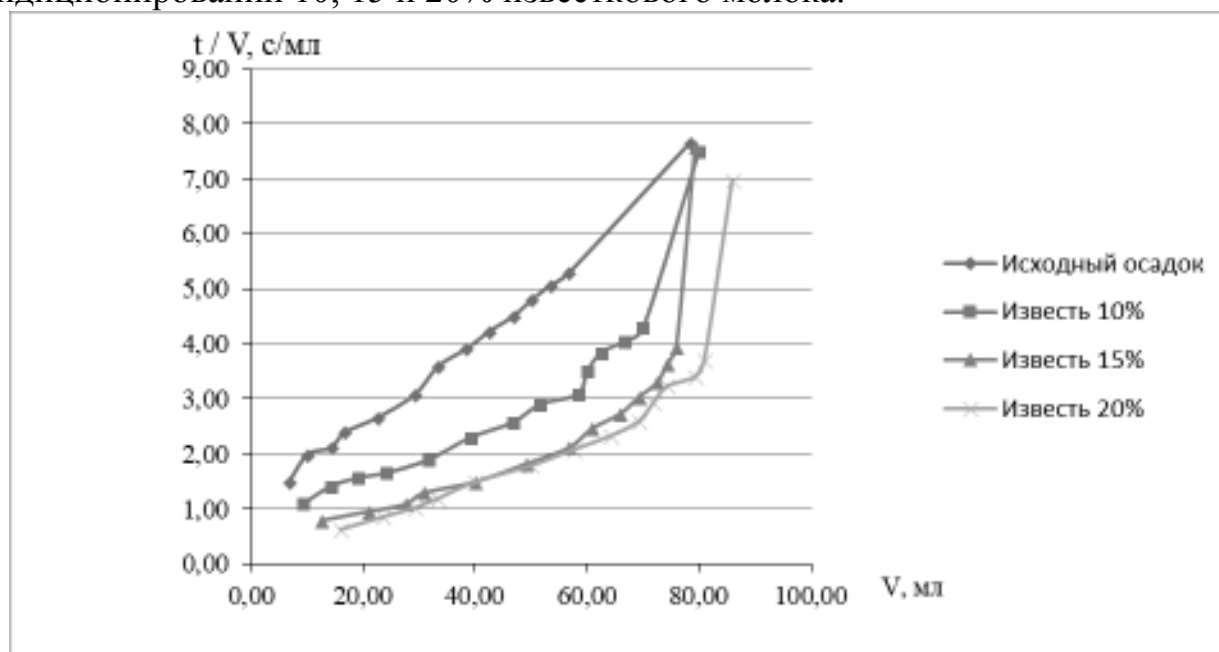


Рисунок 3.10 – График построения параметра В исходного осадка и осадка после кондиционирования известью

На рисунке 3.11 представлены результаты определения параметра В для этого же осадка при обработке известью совместно с присадочным материалом.

В таблице 3.13 приведены значения удельных сопротивлений фильтрации осадков, отобранных в июне 2017 года после вакуумирования.

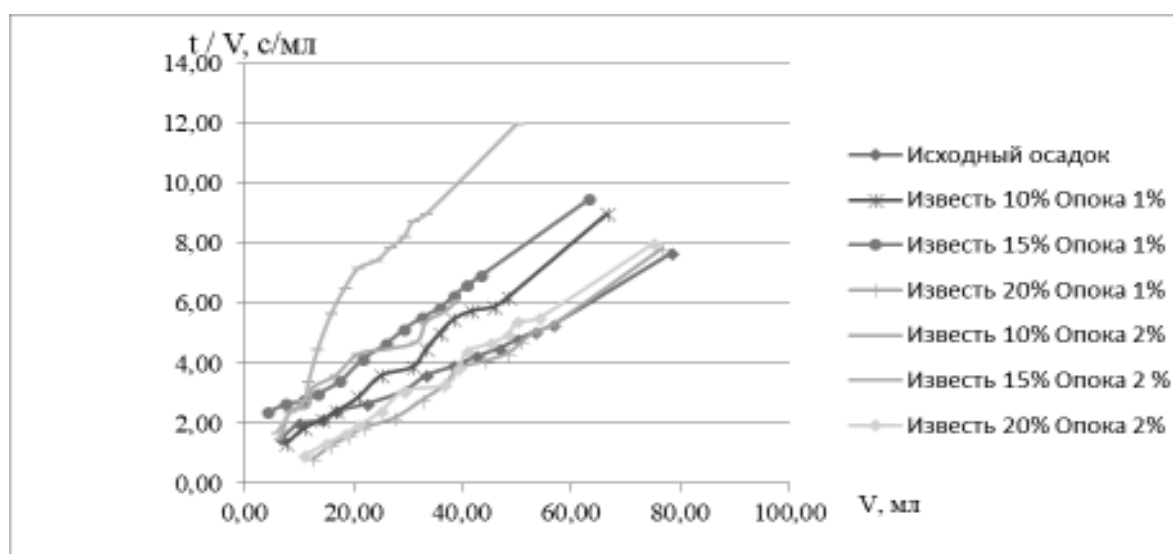


Рисунок 3.11 – График построения параметра В исходного осадка и осадка, кондиционированного известью с присадочным материалом

Таблица 3.13 – Удельное сопротивление фильтрации и влажность осадков, отобранных в июне 2017 года, обработанных известью и известью совместно с присадочным материалом

Период отбора осадка					
июнь 2017					
Блок №2			Блок №3		
Доза извести / извести с опокой, %	Удельное сопротивление фильтрации, $г \cdot 10^{10}$ , м/кг	Влажность кека, %	Доза извести / извести с опокой, %	Удельное сопротивление фильтрации, $г \cdot 10^{10}$ , м/кг	Влажность кека, %
0 (исходный)	1470	92	0 (исходный)	2500	93
10	735	81	10	1380	89
10 + 1	2450	93	10 + 1	4290	92
10 + 2	3340	92	10 + 2	4980	91
15	668	81	15	832	85
15 + 1	1670	86	15 + 1	2350	88
15 + 2	3600	90	15 + 2	1930	89
20	530	80	20	500	80
20 + 1	2000	85	20 + 1	827	87
20 + 2	2220	87	20 + 2	1380	86

Сравнительный анализ графиков показал следующее: при увеличении концентрации извести при обработке осадка, удельное сопротивление фильтрации снижается.

По результатам, приведенным в таблице, а также по рисунку 3.11 можно сделать вывод о нецелесообразности использования опоки, в качестве присадочного материала. По-видимому, мелкофракционный состав присадочного материала при фильтровании под вакуумом быстро осажается на фильтровальной поверхности, сокращая поровое пространство фильтровальной ткани, что приводит к резкому увеличению удельного сопротивления фильтрации. С увеличением дозы присадочного материала удельное сопротивление фильтрации возрастает по сравнению с осадками, обработанными только известью. При дозе извести 20% осадки имеют удельное сопротивление порядка  $r \sim 500 \cdot 10^{10}$  м/кг, что по рекомендациям [21] позволяет направлять осадки на дальнейшую механическую обработку.

Сравнительная диаграмма результатов кондиционирования осадков, отобранных в июне 2017 года приведена на рисунке 3.12.



Рисунок 3.12 – Диаграмма зависимости величины удельного сопротивления фильтрации осадка ОСВ, отобранных в июне 2017 года, от дозы вводимых реагентов

Значения основных показателей фильтрата осадка, обработанного реагентом при оптимальной дозе извести в 20%, указаны в таблице 3.14

Таблица 3.14 - Основные показатели качества фильтрата осадка, отобранного в марте 2017 года, при кондиционировании осадка известью дозой 20%

№ блока	Показатели				
	Цв., град *	М., мг/л **	pH	Ж <sub>общ</sub> , мг-экв/л	Ж <sub>Ca</sub> , мг-экв/л
Блок 2	71,2	5,9	9,5	6,5	5,3
Блок 3	118,3	3,2	10,6	21	14,8

Примечание: \* - Определение цветности велось относительно дистиллированной воды;

\*\* - Определение мутности вакуумированного фильтрата производили относительно раствора сравнения (фильтрат, прошедший через бумажный фильтр «синяя лента»)

Аналогичные исследования по реагентному кондиционированию осадков ОСВ были проведены в осенний период 2016 года, весенний, летний и осенний периоды 2017 года с целью подбора оптимальных доз извести и присадочного материала (показал свою неэффективность). Концентрации реагентов варьировались: известь 10 – 20 %, опока 1 – 2% по сухому веществу осадка. Результаты кондиционирования представлены в таблицах 3.15, 3.16, 3.18

Таблица 3.15 – Результаты кондиционирования осадка, отобранного в ноябре 2016 года, известью

Период отбора осадка								
ноябрь 2016								
Блок №1			Блок №2			Блок №3		
Доза извести / известь с опокой, %	Удельное сопротивление фильтрации, $г \cdot 10^{10}$ , м/кг	Влажность кека, %	Доза извести / известь с опокой, %	Удельное сопротивление фильтрации, $г \cdot 10^{10}$ , м/кг	Влажность кека, %	Доза извест и / известь с опокой %	Удельное сопротивление фильтрации, $г \cdot 10^{10}$ , м/кг	Влажность кека, %
0 (исход - ный)	5750	98	0 (исход - ный)	4620	97	0 (исход - ный)	3590	97
10	3250	87	10	1490	89	10	2180	92
15	1890	86	15	1240	87	15	1000	90
20	749	85	20	378	86	20	550	85

Анализ результатов по кондиционированию осадка, отобранного в осенний период 2016 года (см. таблицу 3.15), позволяет рекомендовать следующие оптимальные дозы реагентов: для блока № 2, 3 – достаточная доза извести 20 %; для кондиционирования осадка блоков № 1, требуются дозы свыше 20%. По-видимому, созревание осадка в двухъярусном отстойнике способствует понижению водоотдачи осадка [32]. Наличие зоны уплотнения осадка, а также эффект контактного коагулирования, возникающий в зоне поворота потока воды при поступлении на верхний ярус, способствуют созреванию осадка. Высвобождение воды при внесении реагента в таких условиях происходит менее интенсивно и требует повышенного расхода.

Диаграмма кондиционирования осадка, отобранного в ноябре 2016 года, приведена на рисунке 3.13.

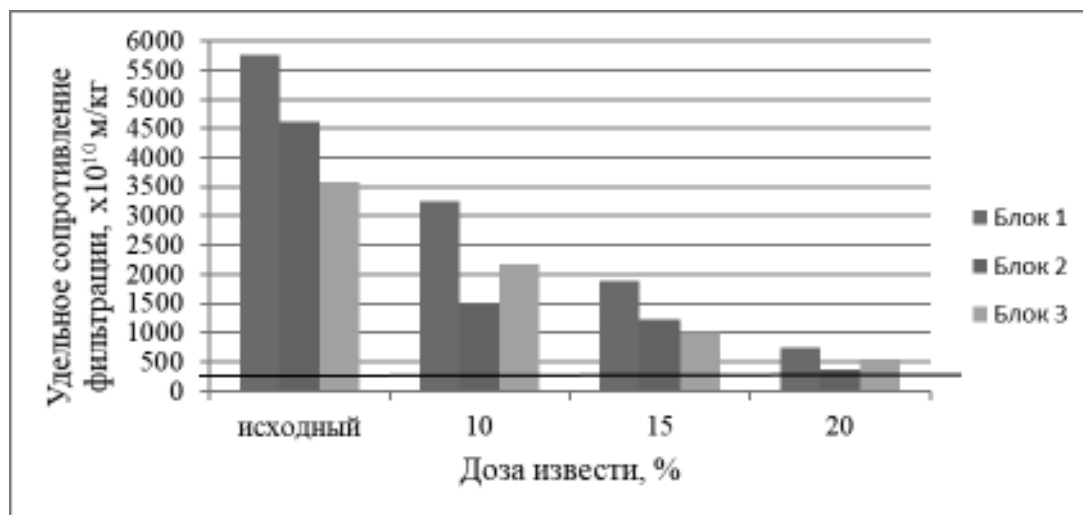


Рисунок 3.13 - Диаграмма зависимости величины удельного сопротивления фильтрации осадка ОСВ, отобранных в ноябре 2016 года, от дозы вводимых реагентов

Таблица 3.16 – Результаты кондиционирования осадка, отобранного в марте 2017 года, известью

Период отбора осадка					
март 2017					
Блок №2			Блок №3		
Доза извести / извести с опоккой, %	Удельное сопротивление фильтрации, г·10 <sup>10</sup> , м/кг	Влажность кека, %	Доза извести / извести с опоккой, %	Удельное сопротивление фильтрации, г·10 <sup>10</sup> , м/кг	Влажность кека, %
0 (исходный)	2900	95	0 (исходный)	2140	97
10	1390	89	10	1950	90
15	636	85	15	1550	87
20	424	84	20	534	85

Анализ кондиционирования осадка, отобранного в марте 2017 года, показывает, что оптимальной дозой вводимого реагента является 20 %.

Значения основных показателей фильтрата осадка, обработанного реагентом при оптимальной дозе извести в 20%, указаны в таблице 3.17

Таблица 3.17 – Основные показатели качества фильтрата осадка, отобранного в марте 2017 года, при кондиционировании осадка известью дозой 20%

№ блока	Показатели				
	Цв., град *	М., мг/л **	рН	Ж <sub>общ</sub> , мг-экв/л	Ж <sub>Са</sub> , мг-экв/л
Блок 2	85,3	2,7	10,9	20	16,95
Блок 3	141	1,9	9,4	13,3	9,3

Примечание: \* - Определение цветности велось относительно дистиллированной воды;

\*\* - Определение мутности вакуумированного фильтрата производили относительно раствора сравнения (фильтрат, пошедший через бумажный фильтр «синяя лента»

Диаграмма кондиционирования осадка, отобранного в марте 2017 года, приведена на рисунке 3.14.

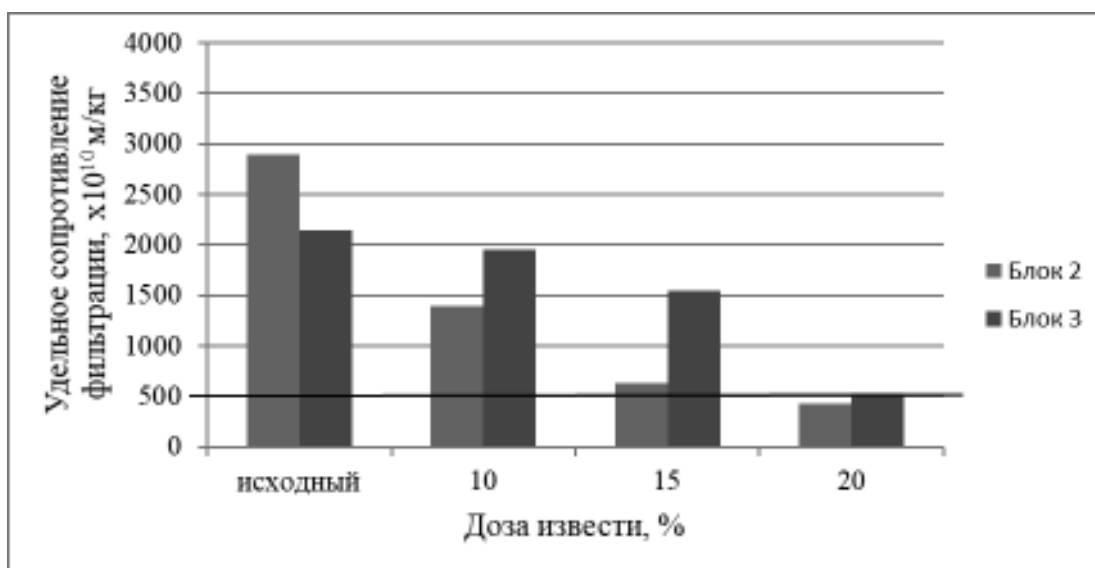


Рисунок 3.14 - Диаграмма зависимости величины удельного сопротивления фильтрации осадка ОСВ, отобранных в марте 2017 года, от дозы вводимых реагентов

Таблица 3.18 – Результаты кондиционирования осадка, отобранного в октябре 2017 года, известью, а также известью совместно с опокой

Период отбора осадка		
октябрь 2017		
Блок №2		
Доза извести / извести с опокой, %	Удельное сопротивление фильтрации, г·10 <sup>10</sup> , м/кг	Влажность кека, %
0 (исходный)	1800	94
10	194	72
10 + 1	200	73
10 + 2	466	76
15	195	85
15 + 1	364	86
15 + 2	652	88
20	97	84
20 + 1	180	85
20 + 2	236	89

Диаграмма кондиционирования осадка, отобранного в октябре 2017 года, приведена на рисунке 3.15.



Рисунок 3.15 – Диаграмма зависимости величины удельного сопротивления фильтрации осадка ОСВ, отобранных в октябре 2017 года, от дозы вводимых реагентов

Для осадка, отобранного в октябре 2017 года, эффективной является доза извести в 10 %. По-видимому, повышенное значение температуры воды и содержание фитопланктона (в особенности синезеленых) в период, предшествующий сбору осадка, способствовали улучшению водоотдающих свойств. В данном случае применение присадочного материала не улучшает фильтрационную способность осадка. Сравнивая значения удельного сопротивления фильтрации при применении извести и извести совместно с опокой отчетливо видно ухудшение водоотдачи с повышением дозы присадочного материала. Известь отдельно работает на данном осадке при дозе в 10% и использование присадочного материала является нерентабельным.

В целом, осадок, отобранный в июне 2017 г, отличается более высокой водоотдающей способностью (см. таблицу 3.13) по сравнению с аналогичными осадками, отобранными в ноябре 2016 или марте 2017 года (см. таблицы 3.14 – 3.16). Вероятнее всего, существенное влияние на формирование осадков в летний период оказывает температура воды, достигающая в этот период высоких значений. С повышением температуры понижается вязкость воды, что способствует более быстрому осаждению осадка в сооружениях.

## Выводы

1. Изучены свойства осадков ОСВ г. Челябинска, отобранных в весенний, летний и осенний периоды 2016 и 2017 года.

Исходные осадки имеют следующие характеристики:



- влажность 98–99 %,
- содержание сухого вещества 13,60–35,00 г/л,
- удельное сопротивление фильтрации  $1470\text{--}5750\cdot 10^{10}$  м/кг.

2. Исследован метод реагентной обработки осадков ОСВ известью и известью совместно с присадочным материалом опокой.

3. Установлено, что оптимальными дозами реагента являются дозы извести порядка 20% по сухому веществу осадка. Присадочный материал не показал свою эффективность.

4. Показано, что осадок блока №1 требует большего затрата реагентов, в связи с особыми условиями его формирования, кроме того такие особые условия, такие как возврат промывных вод, реализуемый на блоке № 3, создает условия для формирования осадка с повышенной водоотдающей способностью по сравнению с осадками блока №1.

5. Определены основные показатели фильтрата осадка, обработанного оптимальными дозами извести (20%), имеющий следующие показатели: мутность 1,9 – 5,9 мг/л, кальциевая жесткость 5,3 – 16, 9 мг-экв/л, рН 9,4 – 10,9.

6. Таким образом, исследования позволяют подобрать оптимальные дозы реагентов для подготовки осадка к механическому обезвоживанию.

#### 4 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ

##### ОСВ

На основании проведенных исследований установлено, что осадок ОСВ г. Челябинска относится к нефилтруемым и требует предварительного кондиционирования перед механическим обезвоживанием.

По ранее проведенным исследованиям в работе [37] показано, что наиболее эффективным методом обезвоживания данного осадка является его замораживание-оттаивание, что позволяет снижать величину удельного сопротивления фильтрации до  $50 \cdot 10^{10}$  м/кг. Однако, в связи дорогостоящими ледогенераторами, либо значительными площадями, занимаемыми для этого метода, в естественных условиях, данный метод становится труднореализуемым.

В качестве альтернативного метода были проведены исследования по кондиционирования осадка ОСВ г. Челябинска таким реагентом как известь, а также известью совместно с присадочным материалом (опокой). Подобраны оптимальные дозы реагентов для осадков, сформированных в различные сезоны года.

Таблица 4.1 – Оптимальные условия реагентной обработки осадка ОСВ известью

Период отбора осадка			
№ блока	Удельное сопротивление фильтрации, $г \cdot 10^{10}$ , м/кг		Оптимальные дозы реагентов, % от сухого вещества
	исходный осадок	кондиционированный осадок	
ноябрь 2016			
Блок №1	5750	749	20
Блок №2	4620	378	20
Блок №3	3590	490	20
март 2017			
Блок №2	2900	424	20
Блок №3	2140	534	20
июнь 2017			
Блок №2	1470	530	20
Блок №3	2500	500	20
октябрь 2017			
Блок №2	1800	194	10

Присадочный материал показал свою неэффективность. По-видимому, мелкофракционный состав присадочного материала при фильтровании под вакуумом быстро осаждается на фильтровальной поверхности, сокращая поровое пространство фильтровальной ткани, что приводит к резкому увеличению удельного сопротивления фильтрации. С увеличением дозы присадочного

материала удельное сопротивление фильтрации возрастает по сравнению с осадками, обработанными только известью. В целом, оптимальные дозы реагента следует считать 20 % по сухому веществу осадка.

Осадок блока № 1, сформированный в двухъярусных отстойниках, несколько труднее поддается кондиционированию и требует повышенных расходов реагентов.

Наиболее эффективна реагентная обработка осадков, сформированных в летний либо начало осеннего периода при повышенных температурах очищаемой воды.

Результаты исследований показали, что с целью минимизации расходов реагентов возможно выделение осадков блока № 3 для отдельной обработки, так как возврат промывных вод способствует лучшей водоотдаче осадков данного блока.

Фильтрат обработанных осадков может быть использован вторично в качестве коагулянта или подщелачивающего реагента, с проведением дополнительных исследований.

Перспективным представляется изучение кондиционирования смеси осадков блоков № 1, 2 и 3, формирующейся в резервуаре-накопителе.

В среднем цена гашеной извести на рынке составляет порядка 3 тыс. руб./т., при требуемом среднем объеме 10000 тонн/год стоимость реагента составит порядка 30 млн. рублей в год.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе показано, что существующая схема сброса водопроводных осадков ОСВ г. Челябинска в городскую систему канализации для совместной обработки со сточными водами имеет ряд недостатков, а также изучена возможность перехода очистных сооружений водопровода г. Челябинска на технологию механического обезвоживания осадков после их предварительного кондиционирования таким реагентов как известь и известь с присадочным материалом (опокой).

Показано, что осадки ОСВ г. Челябинска имеют низкую водоотдающую способность.

Изучены условия формирования в различные периоды года и проанализированы факторы, влияющие на свойства осадков. Установлено положительное влияние возврата промывных вод, а также показано влияние условий формирования (сооружений) на водоотдающую способность осадков. Выявлена значимость температурного фактора на способность осадков к кондиционированию.

Предложены оптимальные условия обработки данных осадков ОСВ г. Челябинска известью. А также доказана неэффективность использования такого присадочного материала, как опока, в данном случае. Проанализирован фильтрат и показаны возможные способы его применения.

Показано, что существует альтернативный метод обработки ОСВ, кроме уже изученных и рекомендованных методов обработки флокулянтами и флокулянтами совместно с присадочным материалом вермикулитом.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Янин, Е.П. Осадок водопроводных станций (состав, обработка, утилизация) / Е.П. Янин // Экологическая экспертиза. – 2010. – № 5. – С. 3–45.
- 2 Жуков, Н.Н. Актуальные задачи в области обеспечения населения России питьевой водой / Н.Н. Жуков, И.В. Кожин, В.Л. Драгинский // Современные технологии и оборудование для обработки воды на водоочистных станциях. – М.: НИИКВОВ, 1997. – С. 3–12.
- 3 Драгинский, В.Л. Коагуляция в технологии очистки природных вод / В.Л. Драгинский, Л.П. Алексеева, С.В. Гетманцев. – М., 2005. – 576 с.
- 4 Жуков, Н.Н. Состояние и перспективы развития сооружений по обработке водопроводных и канализационных осадков в городах России / Н.Н. Жуков // ВСТ: Водоснабжение и санитарная техника. – 2002. – № 12. – Ч.1, – С. 3–6.
- 5 Абрамов, Н.Н. Водоснабжение / Н.Н. Абрамов. – М.: Стройиздат, 1982. – 440 с.
- 6 Кульский, Л.А. Основы технологии кондиционирования воды / Л.А. Кульский. – Киев: Наукова думка, 1963. – 452 с.
- 7 Гетманцев, С.В. Использование современных коагулянтов в практике российских водоочистных предприятий / С.В. Гетманцев // Водоснабжение и санитарная техника. – 2006. – № 4. – С. 38–40.
- 8 Любарский, В.М. Осадки природных вод и методы их обработки / В.М. Любарский. – М.: Стройиздат, 1980. – 128 с.
- 9 Писаренко, В.Н. Борьба с загрязнением водоемов выбросами водопроводных станций. Повторное использование воды и осадка / В.Н. Писаренко. – Киев: ИПК Минжилкомхоза УССР, 1983. – 37 с.
- 10 Обработка и утилизация осадков водопроводных очистных станций // <http://eprints.ksame.kharkov.ua/872/8/4.doc>.
- 11 Душкин, С.С. Современные методы очистки воды и пути их интенсификации / С.С. Душкин // Коммунальное хозяйство городов. – 2002. – Вып. 36. – С. 214–219.
- 12 Пааль, Л.Л. Справочник по очистке природных и сточных вод / Л.Л. Пааль. – М.: Высшая школа, 1994. – 226 с.

- 13 Вейцер, Ю.И. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки воды / Ю.И. Вейцер, Д.М. Минц. – М.: Стройиздат, 1975. – 191 с.
- 14 Пахомов, А.Н. Исследование и практическая реализация процесса обезвоживания осадков водопроводных станций / А.Н. Пахомов, В.Н. Шторпов, Д.А. Данилович // Водоснабжение и санитарная техника. – 2004. – № 12. – С. 25–31.
- 15 Беляева, С.Д. Обработка алюминийсодержащих осадков природных вод / С.Д. Беляева // Современные технологии и оборудование для обработки воды на водоочистных станциях. – М.: НИИКВОВ, 1997. – С. 75–79.
- 16 Запольский, А.К. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды: Свойства. Получение. Применение / А.К. Запольский, А.А. Баран. – Л.: Химия, 1987. – 208 с.
- 17 Хамидов, М.Г. Опыт обработки водопроводных осадков на канализационных очистных сооружениях / М.Г. Хамидов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2007. – № 3. – С. 41–44.
- 18 Хамидов, М.Г. Технологическое взаимодействие коммунальных систем водоподготовки и канализации в процессах очистки воды и обработки осадков : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.23.04 / Моск. гос. строит. ун-т. – М., 2007. – 25 с.
- 19 Шевченко, Л.Я. Осадки водопроводных станций: извлечение и утилизация / Л.Я. Шевченко, Г.Я. Дрозд, Н.И. Зотов, В.Н. Маслак – СПб., 2004. – 195 с.
- 20 Драгинский, В.Л., Алексеева Л.П. Обработка промывных вод фильтров водоочистных станций / В.Л. Драгинский, Л.П. Алексеева // Водоснабжение и санитарная техника. – 2005. – № 8. – С. 25–31.
- 21 Яковлев, С.В. Совместная обработка осадков сточных вод и осадков, образующихся на водопроводных станциях / С.В. Яковлев, Б.А. Ганин, А.С. Матросов, Б.М. Кольчугин. – М.: Стройиздат, 1990. – 104 с.
- 22 Лазарев, В.В. Обезвоживание и утилизация водопроводного осадка на водоочистных станциях Молдовы / В.В. Лазарев. – Кишинев: МолНИИТЭИ, 1992. – 45 с.
- 23 СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М.: ГУП ЦПП, 2001. – 128 с.

24 Лысов, В.А. Утилизация гидроксидных осадков водопроводов юга страны / В.А. Лысов, А.В. Бутко, М.Ю. Баринов, А.И. Шуйский // Водоснабжение и санитарная техника. – 1992. – № 7. – С. 9.

25 Пупырев, Е.И. Комплексный экологический мониторинг и система управления качеством воды реки Москвы / Е.И. Пупырев, И.Г. Ищенко, Н.П. Кузьмина // Экология и промышленность России. – 1998. – № 4, – С. 16–20.

26 Вольхин, В.В. Действие замораживания на свойства коагулянтов гидроокисей металлов / В.В., Вольхин, Е.И. Пономарев, В.Л. Золотавин // Коллоидный журнал. – 1973. – № 1 (35). – С. 144–147.

27 Gruninger, R.M. Success story times two / R.M. Gruninger, J.E. Dyksen // Water and Wastes Eng. – 1979. – № 1 (16). – P. 25–30.

28 Кольчугин, Б.М. Совместная очистка сточных вод и утилизация водопроводного осадка / Б.М. Кольчугин. – М., 1987. – 158 с.

29 Journal of Environmental Engineering and Landscape Management. – 2005. – № 2 (XIII). – P. 97–102.

30 Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Свердловской области в 2015 году». – Екатеринбург: ООО «Типография Для Вас», 2016. – 312 с.

31 Albrecht, A.E. Disposal of alum sludge / A.E. Albrecht // J. Amer. Water Works Assoc. – 1972. – № 1 (64). – P. 46–52.

32 Николаенко, Е.В. Повышение водоотдающей способности осадков природных вод реагентными методами / Е.В. Николаенко, М.Ю. Белканова, Д.А. Гевель // Проблемы управления речными бассейнами при освоении Сибири и Арктики в контексте глобального изменения климата планеты в XXI веке: Сб. докладов XIX Международной научно-практической конференции. Том I. – Тюмень: ТИУ, 2017. – С. 216–220.

33 Бойко, Е.В. Утилизация осадка станции водоподготовки / Е.В. Бойко, В.М. Николаев // Научно-технический калейдоскоп. – Ульяновск. – 2000. – № 1. – С. 112–117.

34 Чуриков, Ф. Барьерная роль водоочистных сооружений в отношении взвешенных веществ природной воды / Ф. Чуриков, С. Снигирев, А. Рученин, С. Гетманцев // Водоснабжение и санитарная техника. – 2004. – № 1. – 14 с.

35 Промахова, Е.В. Изменчивость мутности речных вод в разные фазы водного режима: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.27 / МГУ им. М. В. Ломоносова. – М., 2016. – 28 с.

36 Бабенков, Е.Д. Очистка воды коагулянтами / Е.Д. Бабенков. – М.: Наука, 1977. – 356 с.

37 Белканова, М.Ю. Исследование свойств осадков очистных сооружений водопровода и методов их кондиционирования: выпускная квалификационная работа ... магистра кафедры градостроительство, инженерные сети и системы: 08.04.01 / ЮУрГУ – Челябинск, 2017. – 97 с.

38 Николаенко, Е.В. Характеристика осадка природных вод и методы его утилизации / Е.В. Николаенко, А. А. Курбангалеева // Материалы ЛП международной научно-технической конференции «достижения науки – агропромышленному производству». – Челябинск: ФГБОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия», 2014. – С. 39–44.

39 Козловская, С.Б. Преимущества бессточных схем водопроводных очистных сооружений / С.Б. Козловская, Е.Б. Сорокина // Коммунальное хозяйство городов: Научно-технический сборник. – 2007. – № 74. – С. 58–64.

40 Кульский, Л.А. Технология очистки природных вод / Л.А. Кульский, П.П. Строкач. – К.: Вища шк., 1981. – 328 с.

41 Кожин, И.В. Актуальные задачи в области обеспечения населения России питьевой водой / И.В. Кожин, Н.Н. Жуков, В.Л. Драгинский // Современные технологии и оборудование для обработки воды на водоочистных станциях. – М.: НИИКВОВ, 1997. – С. 3–12.

42 Туровский, И.С. Обработка осадка сточных вод / И.С. Туровский. – М.: Стройиздат, 1982. – 223 с.

43 Милованов, Л.В. Очистка и использование сточных вод предприятий цветной металлургии / Л.В. Милованов. – М.: Металлургия, 1971. – 384 с.

44 Проектирование сооружений для обезвоживания осадков станций очистки природных вод / Комплекс. н-и. и конструктор.-технолог. Ин-т водоснабжения, канализации, гидротехн. сооружений и инж. гидрогеологии. – М.: Стройиздат, 1990. – 40 с.: ил. – (Справочное пособие к СНиП 2.04.02-84).



45 Шевцов, М.Н. Особенности обработки осадков водопроводных сооружений г. Хабаровска / М.Н. Шевцов, М.О. Носенко // Водоснабжение и санитарная техника. – 2007. – № 6 (2). – С. 58–62.

46 Современные технологии очистки производственных сточных вод, обработки и утилизации осадка [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие для практических занятий [для студентов профиля подготовки 270800.68.00.01 «Водоотведение и очистка сточных вод»] / Сиб. федерал. ун-т ; сост. Т. И. Халтурина. – Электрон. текстовые дан. (PDF, 5,7 Мб). – Красноярск: СФУ, 2013. – 95 с.

47 Методические указания по внедрению и применению Санитарных правил и норм СанПиН 2.1.4.559-96 "Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества". – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1998. – 71 с.

48 Шевченко, Л. Предотвращение загрязнений поверхностных водоисточников отходами водопроводных станций / Л. Шевченко // J. Environ. Engineering and Landscape Management. – 2005. – № 2 (XIII). P. 97-102.

49 Павлов, Г.Д. Уплотнение осадка при медленном механическом перемешивании / Г.Д. Павлов, Э.А. Прошин, О.Ю. Кузнецов, Г.Т. Павлова // Тр. ВНИИ ВОДГЕО. – 1977. – № 62. – С. 32–40.

50 Чурбакова, О.В. Обработка и утилизация осадков сточных вод металлообрабатывающих предприятий : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.23.04 / Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Новосибирск, 2001 г. – 169 с.

51 Максимов, А.Ф. Эколого-экономическое обоснование проекта по организации участка обезвоживания осадка на ГСВ МУП «Водоканал» г. Екатеринбурга ... магистра кафедры экономики природопользования : 38.04.02 / УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина – Екатеринбург, 2017. – 75 с.

52 Аксенов, В.И. Применение флокулянтов в системах водного хозяйства: учеб. пособие / В.И. Аксенов, Ю.В. Аникин, Ю.А. Галкин, И.И. Ничкова, Л.И. Ушакова, Н.С. Царев. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. – 92 с.

53 Козловская, С.Б. Методические указания к практическим занятиям по курсу "Обработка и утилизация осадков" и выполнению дипломного проекта (для

студентов 5-6 курсов дневной и заочной форм обучения специальности 7.092601 – «Водоснабжение и водоотведение») / С.Б. Козловская, Е.Б. Сорокина. – Харьков: ХНАГХ, 2006. – 44 с.

54 Решение Челябинской городской Думы первого созыва от 15 февраля 2015 года № 6/16 «Об утверждении схем водоснабжения и водоотведения города Челябинска до 2024 года» // <http://base.garant.ru/19819018/>

55 ГН 2.1.5.2280-07 «Дополнения и изменения № 1 к ГН 2.1.5.1315 –03 Предельно допустимые концентрации химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования» // [https://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/norma/217588/](https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/217588/)

56 Технологический регламент очистных сооружений водопровода г. Челябинска, 2014.

57 Гаязова, А.О. Смена доминирующих видов фитопланктонного сообщества Шершневого водохранилища: «случайная» или закономерная сукцессия? / А.О Гаязова, В.А. Антипова, С.М. Абдуллаев // Молодой ученый. – 2015. – № 22 (102). – С. 82–84.

58 Шевченко, Л.Я. Способ обработки гидроокисного осадка природных вод / Л.Я. Шевченко, А.С. Ютина, Ю.И. Волик, М.С. Винарский, В.Н. Сметана : описание изобретения к авторскому свидетельству / Украинский государственный проектный и научно-исследовательский институт коммунальных сооружений городов. – Москва, 1982. – 8 с.

59 Николаенко, Е.В. Технологические аспекты обработки осадка сооружений водоподготовки / Е.В. Николаенко, М.Ю. Белканова, Н.Е. Репников // Перспективы развития строительного комплекса: Материалы X Международной научно-практической конференции «Перспективы развития научно-технического сотрудничества стран – участниц Евразийского экономического союза». – Астрахань: ГАОУ АО «АГАСУ», 2016. – С. 80–86.