

Янин Е.П. Осадок водопроводных станций (состав, обработка, утилизация) // Экологическая экспертиза, 2010, № 5, с. 3–45.

Введение

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 органических и минеральных веществ различной дисперсности, объединенных с помощью гидроксидных связей в единую пространственную структуру, обладающую коллоидными свойствами, является основным видом отходов водопроводных станций. В научной литературе эти отходы обычно называют осадком природных вод, осадком водопроводных станций, водопроводным осадком. Масштабы образования таких отходов, отличающихся высокой влажностью (до 99,9%) и очень низкой способностью к уплотнению (обезвоживанию), достаточно велики. Например, в США в конце 1970-х гг. образовывалось около 10 млн. т в год водопроводного осадка [3]. В быв. СССР количество загрязнений с выбросами водопроводных станций оценивалось в 500 тыс. т сухого вещества в год или 100 млн. м³ осадка с влажностью 99,5% [51]. В Украине на станциях водоочистки ежегодно образуется более 450 тыс. т [14], а на водопроводных станциях г. Москвы – порядка 30 тыс. т/год осадка (на сухую массу) [49]. На типичной водопроводной станции производительностью 750 тыс. м³/сут. в среднем образуется до 12 тыс. т/год сухого осадка [69].

Водопроводный осадок (ВПО), как правило, менее опасен для окружающей среды и человека, чем, например, осадок городских сточных вод (ОСВ). В то же время ВПО (особенно образующийся при очистке высокоцветных маломутных вод) имеет (по сравнению с ОСВ) более высокие значения показателя удельного сопротивления фильтрации и требует больших затрат на сгущение и обезвоживание. Размещение ВПО в прудах-накопителях или на площадках обезвоживания приводит к отчуждению значительных по площади земельных территорий, на длительное время выводимых из хозяйственного использования, что особенно актуально для крупных городов. Кроме того, в исходном виде гидроксидный осадок нередко представляет определенную опасность для окружающей среды и человека, поскольку содержащиеся в нем вещества при определенных условиях могут включаться в геохимические и биогеохимические циклы. Например, в США в соответствии с действующими нормативными документами отходы станций подготовки питьевой воды рассматриваются как токсичные [76].

Проблема ВПО чаще всего решается его сбросом в пониженные участки местности, в водоемы и водотоки, размещением на иловых площадках (лагунах) с подсушиванием и последующим вывозом в отвал. Например, на большинстве водопроводных станций США для размещения осадка используются лагуны [78]. До недавнего времени 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 ВПО на площадках обезвоживания или в прудах-накопителях.

Проблема безопасного размещения и экологически оправданной утилизации ВПО чрезвычайно актуальна для России, где основными источниками централизованного водоснабжения яв-

ляются поверхностные воды, доля которых в общем объеме водозабора составляет 68% [20, 25]. 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 [14, 16, 19]. Отчасти это обусловлено тем, что действующими в период создания таких станций нормативами утилизация образующегося при очистке поверхностных вод ВПО не предусматривалась. В лучшем случае, осадок, как правило, накапливался и продолжает размещаться в накопителях или на иловых площадках. К этому следует добавить, что качество вод поверхностных водных объектов России в большинстве случаев не отвечает нормативным требованиям и оценивается как неудовлетворительное почти для всех видов водопользования [25]. Это априори определяет концентрирование в ВПО повышенных количеств различных поллютантов, а также обуславливает увеличение масштабов применения коагулянтов и других реагентов в централизованной водоподготовке и темпов образования на станциях очистки осадка. Лишь на немногих водопроводных станциях организовано повторное использование промывных и других видов сточных вод, а также применяется обезвоживание и утилизация осадка. В окрестностях многих станций размещены значительные объемы накопленного осадка. Проблема обработки ВПО справедливо считается одной из наименее разработанных, наиболее технически сложной и дорогостоящей [42].

Радикальное решение проблемы ВПО требует осуществления ряда мероприятий по сокращению объемов его образования (например, путем частичной или полной замены гидролизующихся коагулянтов флокулянтами), повторному использованию необработанного (сырого) осадка, разработке и внедрению более совершенных способов его коагуляции, обезвоживания и утилизации. В России, к сожалению, имеется небольшой практический опыт применения современных технологий обработки водопроводного осадка. 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 [19]. В тоже время отечественная наука располагает современными технологиями обработки и утилизации ВПО; разработаны (в НИИ ВОДГЕО, НИИ КВОВ, МосводканалНИИпроект, ЛИСИ и др.) 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 ВПО сдерживается отсутствием производства в России необходимого оборудования и трудным финансовым состоянием в ЖКХ.

Особенности образования водопроводного осадка

Поверхностные воды, используемые для водоснабжения, содержат различные растворенные, коллоидные и грубодисперсные вещества, бактерии, растительные и животные организмы. Перед подачей в водопроводную сеть эти воды подвергаются специальной водоподготовке – комплексу технологических процессов обработки, очистки и обеззараживания воды для приведения ее качества в соответствии с существующими требованиями. Водоподготовку проводят на водопроводных станциях, производительность которых составляет от нескольких м³/сут. до миллионов м³/сут. [1]. Важной частью водоподготовки является осветление воды, т. е. ее очистка от крупнодисперс-

ных и коллоидных минеральных частиц и органических примесей, обуславливающих цветность воды. Для этих целей чаще всего используют два способа [28]: а) осветление и частичное обесцвечивание воды без предварительной химической обработки (отстаивание, микропроцеживание, предварительное и медленное фильтрование, центрифугирование, флотация); б) осветление и обесцвечивание воды, основанные на введении в воду коагулянтов, которые в результате гидролиза образуют малорастворимые хлопьевидные гидроксиды металлов. Последние в процессе формирования адсорбируют содержащиеся в воде взвеси и коллоиды и удаляются из воды последующим осаждением и фильтрованием. Применение коагулянтов позволяет значительно ускорить процесс осветления, уменьшить размеры очистных сооружений и тем самым снизить капитальные затраты на их строительство.

Например, на российских водопроводных станциях поверхностная вода в основном подвергается традиционной двухступенчатой очистке с отстаиванием и осветлением в слое взвешенного осадка и скорым фильтрованием; часть воды обрабатывается по одноступенчатой схеме на контактных осветлителях [12]. Основным технологическим приемом удаления из воды грубодисперсных примесей и коллоидных (особенно органических) поллютантов является процесс коагуляции за счет введения в воду коагулянтов. В процессе коагуляции из воды на 90-99% удаляются различные микробиологические загрязнения, уменьшаются запахи и привкусы воды. В некоторых случаях применяется трехступенчатая очистка воды. Например, на Волжском водозаборе ОАО «Казаньоргсинтез» барьерная функция очистной станции состоит из трех ступеней: микрофильтрации, коагуляции с отстаиванием и фильтрации, а технология водоподготовки включает следующие стадии: первичное хлорирование, микрофильтрацию, коагулирование, отстаивание, фильтрацию и обеззараживание методом хлорирования (вторичное хлорирование) [66]. В Украине на большинстве водопроводных станций принята двухступенчатая схема очистки воды с горизонтальными отстойниками и скорыми фильтрами, а в качестве коагулянта применяется сернокислый алюминий $Al_2(SO_4)_3$ [45]. Типичная современная технологическая схема обработки умеренно загрязненной сырой воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения, используемая в развитых странах, включает [77]: 1) удаление взвешенных частиц; 2) предварительное подщелачивание для доведения величины рН до уровня, оптимального для последующей коагуляции; 3) химическую коагуляцию с использованием в качестве коагулянтов сульфата алюминия, полисульфатов алюминия и хлорида железа; на этом этапе технологического процесса осуществляется также флокуляция с использованием полихлоридов алюминия или полиэлектролитов; 4) разделение путем седиментации (например, в пластинчатых сепараторах) или флотации; 5) фильтрацию в скорых песчаных фильтрах; при обратной промывке скорого песчаного фильтра из него выводится шлам, который направляется на обезвоживание; 6) подщелачивание и хлорирование.

Количество и состав образующегося ВПО 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 [35]. По данным [71], количество сточных вод на водопроводных станциях составляет 5-15%, а ВПО – 1-2% от полезной производительности очистных сооружений. Согласно [51], промывные воды, загрязненные реагентами и осадком, образуются на водопроводных станциях при промывке фильтров (до 7,5% от производительности), промывки контактных осветлителей (до 11%), опорожнении и промывке отстойников (до 2,5% от общей производительности станции), промывке растворных баков реагентов и т. д. Технологическими схемами работы очистных сооружений водопроводных станций предусмотрен расход воды на собственные нужды (в количестве от 10 до 14% суточной производительности станции) [45]. Промывные воды фильтров или контактных осветлителей (составляющие до 90% воды,

используемой на собственные нужды станций) нередко сбрасываются в водоемы и водотоки, что наносит ощутимый вред окружающей среде.

Повышенная мутность поверхностных вод обычно благоприятно сказывается на седиментационных (предел уплотнения по влажности $97 \pm 0,5\%$) и водоотдающих свойствах осадка (расход флокулянта 2-3 кг/т сухого вещества). 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. Например, вода из рек Кубани и Казачий Ерик, подаваемая на Таманский групповой водопровод, отличается резким сезонным колебанием состава, причем мутность изменяется от 9,7-61 до 170 мг/л (в паводки до 600 мг/л и более) [13].

В ходе водоподготовки обычно используют три основных процесса отделения твердой фазы из исходной воды: 1) осаждение в отстойниках, 2) осветление во взвешенном слое, 3) фильтрация 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 ВПО: осадок отстойников и осветлителей, осадок промывных вод фильтров и контактных осветлителей, осадок раствороно-реагентных баков [35, 71]. К осадку поверхностных вод можно также отнести отходы, задерживаемые на микрофильтрах, основную массу которых обычно составляют микроводоросли. ВПО 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.

Наиболее широкое распространение в качестве химических реагентов для очистки воды получили минеральные коагулянты в виде солей алюминия и железа или их смеси в разных пропорциях [2, 35, 48, 57, 65, 67]. Во многих странах мира, включая Россию, до недавнего времени для коагуляционной обработки природных (питьевых) вод в основном использовался сернокислый алюминий $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 18\text{H}_2\text{O}$ (глинозем) [11, 43, 58]. Обычно применяют неочищенный глинозем, который содержит 33% безводного сернокислого алюминия; выпускается также очищенный глинозем, содержащий не более 1% нерастворимых примесей. Применение минеральных коагулянтов для интенсификации процессов коагуляции и увеличения полноты изъятия взвешенных веществ приводит к образованию разнообразных гидратированных оксидов алюминия или железа, несущих в отличие от отрицательно заряженных взвешенных частиц положительный заряд и обладающих повышенной коагулирующей способностью по сравнению с катионами Al^+ и Fe^+ . Наиболее вероятные формы промежуточных продуктов гидролиза алюминия и железа имеют следующий вид: $[\text{Al}(\text{OH})]^{2+}$, $[\text{Al}_2(\text{OH})_2]^{4+}$, $\text{Al}(\text{OH})_3$, $[\text{Al}_8(\text{OH})_{20}]^{4+}$, $[\text{Al}_6(\text{OH})_{15}]^{3+}$, $[\text{Al}(\text{OH})_2]^+$, $[\text{Fe}(\text{OH})_2]^+$, $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}]^{2+}$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $[\text{Fe}_2(\text{OH})_3]^{3+}$, $[\text{Fe}_2(\text{OH})_5]^+$, $[\text{Fe}_3(\text{OH})_2]^{7+}$, $[\text{Fe}_3(\text{OH})_4]^{5+}$ [2]. 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 дубильных и гуминовых веществ.

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 [2, 17, 16, 24, 57]: 1) способы, требующие внесения в воду дополнительных реагентов (флокулянтов, окислителей, замутнителей, регуляторов pH воды); технологические методы (улучшение условий смешения реагента с водой и перемешивания в камерах хлопьеобразования, рациональный ввод реагентов в воду); физические методы (обработка воды ультразвуком в магнитном и электрическом полях, радиационным облучением и т. д.); улучшение гидравлических условий коагуляции. Для корректировки величины pH 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, палыгорскит и т. п.) и карбонат кальция (кальцит). Магнитоэлектрическая активация используемого для очистки воды коагулянта позволяет увеличить гидравлическую крупность коагулируемой взвеси и тем самым интенсифицировать процесс осветления воды [56]. Метод магнитно-электрической активации растворов реагентов позволяет интенсифицировать процессы очистки воды, улучшить ее качество, уменьшить габариты сооружений реагентного хозяйства, снизить расход реагентов и себестоимость осветленной воды. Технологическая и экономическая эффективность этого метода подтверждена широким производственным внедрением его на очистных сооружениях городских водопроводов Украины и ряде промышленных предприятий [30].

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) [16, 7, 24]. 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 [7]. 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) [49].

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 влажностью 99-99,9% выводится в иловые резервуары, откуда традиционно перекачивался на иловые карты или в пруды-отстойники. Эффективные результаты осветления воды получены отстаиванием ее при совместном применении полиакриламида и сульфата алюминия [17].

В последние годы во многих странах мира, в том числе в России, на водопроводных станциях стали широко внедряться альтернативные реагенты (высокомолекулярный полиэлектролит ВПК-402, хлоридные соли алюминия, титановые коагулянты, разнообразные органические коагулянты и др.) [11-13, 16, 22, 34, 46, 52, 54, 58-61, 62]. Например, использование полиоксихлорида алюминия «АКВА-АУРАТ™30» позволяет повысить по сравнению с сернокислым алюминием барьерную роль водоочистных сооружений в отношении взвешенных веществ на 30% и уменьшить количество образующегося осадка при надежном обеспечении нормативного качества питьевой воды [66]. Масса и объем осадка на водоочистных сооружениях при применении полиоксихлорида алюминия меньше, чем при использовании сульфата алюминия, так как дозы по Al_2O_3 в 2-4 раза выше у сульфата алюминия. Это свидетельствует об экономических, экологических и эксплуатационных преимуществах применения «АКВА-АУРАТ™30» в системах обработки и утилизации осадков.

Образовавшуюся хлопьевидную массу выделяют из воды в отстойниках или специальных осветлителях, напорных или открытых фильтрах и контактных осветлителях с загрузкой из зернистых материалов (в качестве которых используют кварцевый песок, дробленый антрацит, керамзит и др.), а также во флотаторах, гидроциклонах, намывных фильтрах [65]. Осадок из отстойников и осветлителей самотеком удаляется в специальный резервуар с вертикально расположенными мешалками, где осуществляется его дегидратация (обезвоживание), приводящая к уменьшению объема осадка [43]. Для уплотнения и механического обезвоживания ВПО всегда требуется обработка его флокулянтами. Тип и дозу флокулянта для каждого типа осадка определяют экспериментально.

Основные свойства и состав водопроводного осадка

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. Основными компонентами ВПО, 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, гидрослюды, 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 [3, 4, 21, 27, 35, 63, 64, 69, 70] (табл. 1-4). Обычно для свежего ВПО (после 45-60 мин. отстаивания) высокоцветных маломутных вод содержание сухого вещества составляет 0,3-0,4%, для осадка вод средней цветности и мутности – 0,4-0,8%, для осадка мутных вод – 0,8-3% и более [45].

Согласно [47], основным компонентом ВПО 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 ве-

щества – 15-40%; Fe₂O₃, CaO, MgO, TiO₂, K₂O, Na₂O – от 0,1 до 3,0 %). В ВПО обычно содержатся различные металлы, нефтепродукты, бактерии и др. [51].

Таблица 1. Химический состав и физические свойства водопроводного осадка [35, 73]

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 ₅ , мг/л	145-160	125-134				
ХПК, мг/л	4000-4500	5810-7120				
Состав прокаленного остатка, %:						
SiO ₂	1,6-7	27-42	30-40	8-28	8-28,6	5-7
Al ₂ O ₃	20-36	15-20	14-15	15-24,5	17-25	20-30
Fe ₂ O ₃	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, $r \times 10^{-10}$ см/г	1870-2590	850-1420	1050-1980	-	-	-

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

Таблица 2. Химический состав водопроводного осадка московских водопроводных станций [49]

Станция	Место отбора проб	Зольность, %	Al, %	Al ₂ O ₃ , %	Песок, %
Западная	Отстойники	73-85	9-12	17-23	1,5
		75-80	7-9	13-17	1,5-3
Рублевская	Карьер-накопитель	75-79	-	-	-
Северная	Отстойники	58-59	15-19	28-34	-
		55-63	13-16	25-30	3,4-5,3
Восточная	Пруд-накопитель	57-61	-	-	-

Таблица 3. Химический состав водопроводных станций г. Москвы в разные сезоны [39]

Сезон	Влажность, %	ППП, %	Твердая фаза, %	pH	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	ОВ, %
Северная станция										
Весна	96	40,4	3,77	6,5-7	21	2	7,5	1,1	-	9,24/15,4
Лето	95	32,1	4,25	6,2-6,6	26,29	1,71	9,2	2,8	0,24	5,73/9,74
Осень	96	37,21	3,79	6,5-6,9	24,5	1,21	10,4	1,76	-	8,92/15,25
Рублевская станция										
Весна	96	33,0	4,50	6,2-6,5	10,23	1,27	4,5	-	-	-
Лето	97	33,5	3,85	6,2-6,5	9,12	1,12	3,7	-	-	-
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, знаменатель – то же, выраженные в гуминовых веществах. ППП – потери при прокаливании.

Таблица 4. Химический состав ВПО некоторых станций водоочистки Молдовы, % [31]

Компонент	Кишинев	Унгень	Корнешть
Al ₂ O ₃	22,4	19,9	59,2
SiO ₂	46,11	49,6	3,6
Fe ₂ O ₃	4,21	5,61	2,9
MgO	1,50	1,12	0,61
CaO	3,63	3,21	2,16
Na ₂ O	0,005	0,006	0,01
Потери при прокаливании	22,11	20,26	31,53

Основными свойствами ВПО, во многом определяющих выбор технологической схемы его обработки и утилизации, являются влажность, плотность, водоотдающая способность, угол скольжения, вязкость и др. В общем случае ВПО 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 м²/г), содержанием значительных количеств сапрофитных организмов ($10^4 - 10^5$ мл⁻¹) и бактерий ($10^3 - 10^4$ мл⁻¹), высокими значениями БПК₅ (~ 80 мгО₂/л) и ХПК (~ 300 мгО₂/л). Осадок характеризуется относительно низким содержанием азота (0,5-0,9% N_{общ}) и фосфора (1% P₂O₅). Гранулометрический состав ВПО зависит от сезона года, а также от технологической схемы очистки воды и конструктивных особенностей сооружений, в которых он образуется [35] (табл. 5). Так, при двухступенчатой очистке воды наиболее крупные частицы задерживаются в отстойниках и осветлителях с взвешенным слоем. Осадок промывных вод фильтров является более высокодисперсным. 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 [45]. 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/м³. Исследования, выполненные на водопроводных станциях г. Москвы, показали, что для осадка вод волжского и москворецкого водоисточников характерно наличие вегетативных и споровых форм бактерий (с присутствием гнилостных) [35]. Бактерии *E. coli* в осадке практически отсутствовали. В тех случаях, когда при обеззараживании воды применяется предварительное ее хлорирование, бактериальное загрязнение осадка резко снижается.

Таблица 5. Гранулометрический состав ВПО некоторых станций водоочистки Молдовы [31]

Диаметр частиц, мм	Относительное содержание частиц, %					
	Кишинев		Унгень		Корнешть	
	Паводок	Межень	Паводок	Межень	Паводок	Межень
1,0-0,5	1,1	1	2,2	0,9	0,05	0,8
0,5-0,25	1,6	0,9	2,0	1,0	0,50	1,1
0,25-0,1	2,0	1,6	4,6	1,6	0,65	2,7
0,1-0,05	40-46	20	38-45	19-25	6,80	10-15
< 0,05	53-60	75-80	49-54	71-78	92,0	80-86

По качественным показателям обычно различают осадок вод повышенной мутности, характеризующийся относительно хорошей водоотдающей способностью, и осадок маломутных цветных вод с высоким содержанием коллоидных частиц, гидроксида алюминия (20-40% Al₂O₃) и низкой водоотдающей способностью [4]. По виду реагентов, используемых при очистке воды, разли-

чают осадок, образованный с помощью солей алюминия и железа, флокулянтов, сочетания минеральных коагулянтов и флокулянтов [35]. Содержание сухого вещества в осадке высокоцветных маломутных вод составляет 0,3-0,4%, в осадке вод средней цветности и мутности 0,4-0,8% и в осадке мутных вод 0,8-3% и более. Содержание твердого вещества в осадке, полученном в осветлителе, составляет 0,6-4%, в вертикальных отстойниках – 0,1-1,5%, в горизонтальных – 3-6%. Нерастворимый остаток в осадке обусловлен наличием минеральных примесей (песок, глина и др.), и в мутных водах он составляет 40-50%, тогда как в цветных 2-15%. 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 от массы сухого вещества. Содержание органических веществ в ВПО (в пересчете на органический углерод) Северной водопроводной станции г. Москвы находится в пределах 5,7-16,7% [27]. В составе органических веществ преобладают фульвокислоты, относительное содержание которых составляет 81,3% (доминируют коллоидно-диспергированные фульвокислоты). 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, представляет собой тонкодисперсную (более 45% частиц менее 1 мкм) суспензию, преимущественно каолинитового состава (70% каолинита), содержащую также примеси кварца, карбонатов, слюд и органических веществ [10]. Осадок, полученный при осветлении вод южных рек России, по своим физико-химическим свойствам отличается от осадка рек центральных районов ЕТР повышенным содержанием минеральных примесей (75-90%), большим содержанием SiO₂ (55-75%), низким Al₂O₃ (2-10%) [42]. В ВПО г. Ростова-на-Дону (р. Дон), г. Невинномыска и г. Армавира (р. Кубань) глинистые минералы представлены гидрослюдами, монтмориллонитом, каолинитом с частицами менее 5 мкм (частицы кварца имели размеры более 1 мкм). Из 60% глинистых частиц на долю каолинита в среднем приходилось 25%, гидрослюда – 45%, монтмориллонита – 29% [42]. Осадок, образующийся в отстойниках, характеризуется неоднородным строением (табл. б).

Таблица 6. Характеристика осадка из горизонтальных отстойников Центрального и Александровского водопроводов г. Ростова-на-Дону [54]

Слой осадка	Бактериологические показатели				Гидробиологические показатели		ОВ, мг/дм ³	Химические показатели			
	ОМЧ в 1 л	КОЕ ОКБ в 100 мл	КОЕ ТТБ	Споры сульфит-редуцирующих клостридий в 20 мл	Synecho cystis	Navicula и др.		pH	Сухой остаток, мг/дм ³	SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	Cl ⁻ , мг/дм ³
Верхний	1000-30000	500-12000	0	600-1200	0-1	2-5	4700-16632	7,2-8,3	-	260-319	120-147
У дна	2000-26000	0-300	0-300	400-1000	3-4	2-5	4200-8700	7,3-7,5	775-954	-	-

Среднее содержание гидроксида алюминия Al(OH)₃ 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 ВПО, которые по содержанию алюминия (на сухую массу) могут быть разделены на следующие технологические группы [64]: 1) осадок в виде геля с содержанием алюминия более 15%; образуется в процессах очистки поверхностных высокоцветных вод низкой мутности; характеризуется неудовлетворительной способностью к гравитационному уплотнению; 2) глинистый осадок с содержанием алюминия до 10%; образуется в процессах очистки поверхностных вод низкой цветности средней мутности; характеризуется удовлетворительной способностью к гравитационному уплотнению; 3) евтрофированный осадок с содержанием алюминия 10-15%; образуется в процессах очистки поверхностных вод низ-

кой и средней мутности в периоды евтрофирования водоисточника; характеризуется ухудшением способности к гравитационному уплотнению по сравнению с типовыми для данного водоисточника седиментационными свойствами. 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 ВПО, 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 [15].

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 ВПО 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 (табл. 7).

Таблица 7. Характеристика ВПО различных водоисточников [45]

Группа водоисточников	Название водоисточника	Органические вещества, %	Коллоидные гидроксиды, %	Удельное сопротивление фильтрации, $\times 10^{10}$ см/г
1. Маломутные (до 50 мг/л), среднецветные (35-120 град.)	р. Днепр, г. Киев (Киевское вдхр.)	58-60	40-45	840-1410
	р. Днепр, г. Днепропетровск (Днепропетровское вдхр.)	60-63	20-25	1280-1620
2. Маломутные (до 50 мг/л), малоцветные (до 35 град.)	р. Южный Буг, г. Винница	34-40	10-12	840-890
	р. Тетерев, г. Житомир	35-41	11-14	450-580
	р. Днепр, г. Черкассы (Кременчугское вдхр.)	40-55	22-26	470-550
3. Средне мутности (50-250 мг/л), малоцветные (до 35 град.)	р. Сев. Донец, г. Харьков	16-30	1-5	100-180
	р. Десна, г. Киев	13-20	3-6	160-270
	р. Рось, г. Белая Церковь	15-22	2-5	130-230
4. Мутные (свыше 250 мг/л), малоцветные (до 35 град.)	р. Днестр	5-10	< 1	8-100
	р. Прут, г. Унгены	6-11	1-3	60-70
	р. Черная, г. Севастополь (горные реки Крыма)	5-9	1,5-2	40-96

Обработка водопроводного осадка

Выбор конкретной технологии обработки ВПО 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 фазово-дисперсному состоянию, разделив их на четыре группы – взвеси, коллоидные растворы, молекулярные растворы, ионные растворы [39]. В настоящее время большинство водопроводных станций очищает воду от взвешенных веществ I и II дисперсных групп: грубодисперсной (взвесей) и коллоидной степени дисперсности. Основным технологическим показателем ВПО, который определяет выбор способа его обработки и обезвоживания, является его водоотдающая способность, характеризующаяся удельным сопротивлением фильтрации. Авторы [8, 69] в основу разработанной ими классификации ВПО при выборе методов его обработки положили величины удельного сопротивления фильтрации, которые зависят от свойств осадка (физических, химических, минеральных, гранулометрических), с разделением осадка на четыре группы водоисточников по происхождению. На основании проведенных лабораторных и опытно-промышленных исследований обоснованы основные направления утилизации обезвоженных осадков в различных отраслях хозяйства (табл. 8).

Таблица 8. Основные направления утилизации осадка водопроводных станций [69]

Группа водоисточников	Количество осадка, образующегося на водопроводных станциях Украины, т/сут.		Область утилизации осадка	Стадия промышленного освоения
	по сухому веществу	при влажности 40-60% после обезвоживания		
1. Маломутные до 50 мг/л, среднецветные	112,8	1340	Металлургия (защитное покрытие для поддонов и изложниц)	Промышленные испытания, г. Мариуполь, «Азовсталь»
2. Маломутные, высокоцветные	47,5	550	Строительные материалы (производство керамзита), Сельское хозяйство	Рабочая документация, г. Киев, строительство Полевые испытания
3 и 4. Средней мутности (50-250 мг/л), малоцветные и высокомутные (более 250 мг/л), малоцветные	286,0	2832	Строительные материалы (производство цемента) Антикоррозийные покрытия	Рабочая документация, г. Харьков Промышленные испытания, г. Харьков

Практически любая схема обработки ВПО начинается с предварительного уплотнения, что обусловлено их высокой исходной влажностью [35, 51]. Целью предварительного уплотнения является сокращение объема осадка с выделением части свободно-защемленной воды. Сокращение объема осадка при уплотнении является наиболее простым способом его частичного обезвоживания, позволяющим также снизить затраты на последующее обезвоживание. Интенсификация уплотнения осуществляется путем добавки уплотняющих присадок и химических реагентов, а также путем непрерывного нарушения структуры осадка при медленном его перемешивании, либо путем кавитации (обработка осадка на специальных аппаратах-кавитаторах для быстрого его перемешивания). Хороший эффект наблюдается при уплотнении ВПО, предварительно обработанного полиакриламидом, необходимая (эффективная) доза которого составляет 0,02-0,044% (от сухой массы осадка). Например, добавление полиакриламида при уплотнении в условиях медленного перемешивания осадка цветных вод р. Невы и Клязьминского водохранилища повышало концентра-

цию осадка до 5% при сокращении продолжительности уплотнения с 8-10 до 2-4 час. В большинстве случаев ВПО обезвоживается очень медленно, особенно осадок, образующийся при очистке маломутных цветных вод, богатых органическими соединениями; даже после нескольких лет уплотнения влажность ВПО превышает 90%. Гравитационное уплотнение продолжается около 3 месяцев, но в основном завершается на 10-е сутки. Теоретически процесс гравитационного уплотнения осадка рассматривается большинством специалистов как фильтрование воды через капиллярные каналы в твердой фазе под действием эффективного давления, равного разности давления столба суспензии и пьезометрического напора воды. Однако при протекании жидкости через капилляры меняется геометрия каналов, вследствие чего градиент давления вдоль оси уплотняющегося осадка изменяется не по закону Дарси, а по степенной функции пористости осадка. Для гравитационного осадкоуплотнения характерно наличие трех зон уплотнения: зоны стесненного осаждения хлопьев коагулированной взвеси; зоны фильтрации, в которой процесс выделения воды может быть описан уравнением фильтрации через несжимаемый осадок; зоны уплотнения, обусловленного разрушением коагуляционной структуры. Граничные значения содержания твердой фазы между первой – второй и второй – третьей зонами уплотнения равны соответственно 1,6 и 2,3% [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 [36]. В основе этого явления лежит, по-видимому, известный в коллоидной химии эффект реопексии, проявляющийся при застудневании золя с сильно анизодиаметрическими частицами. Рекомендуют использовать мешалки, лопасти которых имеют сетчатые и стержневые вращающиеся элементы. Некоторый дополнительный эффект дает виброуплотнение осадка [32]. Флотационное уплотнение не всегда дает ощутимые результаты. Интенсификация уплотнения осадков достигается применением реагентов (добавление извести, коагулянтов, флокулянтов), а также продувкой воздухом, промывкой водой. Применение этих методов позволяет за период от нескольких часов до нескольких суток повысить содержание твердой фазы в осадке до 3-6%. Более эффективно применение порошкообразной негашеной извести по сравнению с гашеной; рекомендуется также добавление смесей ПАВ и хлорноватистой кислоты. Флотационное обезвоживание ВПО улучшается при подкислении [74]. В любом случае после обезвоживания ВПО становится отходами, хранение, складирование и вывоз которых в отвалы требуют значительных площадей территории.

В настоящее время в мировой практике используются следующие основные направления обработки водопроводного осадка: сброс осадка в поверхностные водотоки и водоемы, захоронение в открытом море, обезвоживание осадка в естественных условиях (размещение осадка и промывных вод в прудах-накопителях с возвратом осветленной воды на очистку), подсушивание осадка на иловых (дренажных) площадках в режиме испарения и/или замораживания-оттаивания, уплотнение осадка в гравитационных уплотнителях с медленным перемешиванием перед механическим обезвоживанием или перед подачей осадка на дренажные площадки, механическое обезвоживание уплотненного осадка на камерных или ленточных фильтр-прессах или в центрифугах с предварительным кондиционированием его с применением реагентов или промышленного метода – замораживания-оттаивания, удаление с осадком канализационных сооружений (ОСВ) путем сброса ВПО и промывных вод на канализационные очистные сооружения или обработки смеси предварительно сгущенного водопроводного осадка совместно с ОСВ.

*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 использовании коагулянта) сбрасывался в водоемы и водотоки в виде шламовой пульпы. Напри-

мер, достаточно длительное время сброс (захоронение) ВПО 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 горизонты [73]. В настоящее время сброс ВПО в море осуществляется на Одесской водопроводной станции [31].

В некоторых странах и регионах сброс ВПО в поверхностные водные объекты по-прежнему является распространенным способом его удаления. Например, на большинстве действующих в Молдове станций осадок прямоотком сбрасывается в реки [31]. В г. Ростове-на-Дону 2,4% воды с осадком из водопроводных сооружений сбрасывается по ручью Кизитериновка в р. Дон [54]. В г. Санкт-Петербурге на водопроводных станциях образуется до 100 тыс. т/год (до 1000 т/год в пересчете на алюминий) осадка, который также сбрасывается в водные объекты совместно с промывными и условно-чистыми водами [6].

Сброс ВПО 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. Это способствует изменению процессов аллювиального седиментогенеза и приводит к изменению эколого-геохимических особенностей водных систем.

Обезвоживание осадка в прудах-накопителях

Использование прудов-накопителей для складирования и частичного обезвоживания ВПО при его длительном гравитационном уплотнении и отводе осветленной воды в свое время получило широкое распространение во многих странах мира [35]. 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 ВПО в прудах осуществляется путем испарения влаги с поверхности и сброса осветленной воды. Иловая жидкость из прудов-накопителей отводится в поверхностные водные объекты, что не исключает их заиления, или в голову очистных водопроводных сооружений. Наиболее затруднительно обезвоживание в прудах осадка маломутных вод, содержащего гидроксид алюминия. Концентрация твердой фазы такого осадка, даже при многолетней выдержке, не превышает у дна пруда 10-15% (среднее 5-7%), причем среднюю концентрацию твердой фазы осадка, содержащего гидроокись алюминия, не удастся увеличить выше 9%. Дополнительное применение флокулянтов дает незначительный эффект. Интенсифицировать работу прудов-накопителей можно добавкой извести к осадку в количестве 25-30% CaO от его сухой массы, что позволяет повысить концентрацию ВПО в 2,5 раза [51]. 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 [55] рекомендуют в качестве прудов-накопителей использовать овраги, отработанные карьеры или обвалованные грунтом спланированные площади. Для уплотнения, обезвоживания и хранения гидроксидного осадка, образующегося при осветлении речных вод Северного Кавказа и других регионов юга страны, применяют глубокие земляные емкости-накопители

[33]. В качестве прудов-накопителей нередко используют водоемы естественного происхождения, например, старицы. Так, до 1979 г. сбросные воды Рублевской водопроводной станции (г. Москва) поступали озеро Кружок (старицу р. Москвы), расположенного вблизи Захарковского карьера. В 1979 г. осадок, аккумулированный в старице, был засыпан грунтом. С 1979 г. сброс осадка осуществляется в Захарковский (бывший песчаный) карьер (площадью 43,7 га, из которых 34 га приходится на водное зеркало), расположенный в Красногорском районе Московской области. Средний расход поступающих в карьер по трубопроводу сбросных вод составляет 127 тыс. м³/сут., масса сухого осадка достигает 43 т/сут. Затем, после осаждения взвешенных веществ (водопроводного осадка), осветленная вода из карьера по специальному каналу поступает в р. Москву. Объем осадка, накопленного в Захарковском карьере, оценивается в 1,5 млн. м³. 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 [40]. Органические соединения алюминия менее устойчивы, нежели соединения железа. Алюминий при значениях рН в пределах от 4,5 до 9,5 выпадает в осадок в форме аморфного гидрата алюминия. Присутствие органики меняет эту закономерность, способствуя подвижности металла. Тем не менее представляется маловероятным перенос алюминия на далекие расстояния. Следует отметить, что в р. Москву сбрасываются дренажные воды площадок для обезвоживания осадка Западной и Рублевской водопроводных станций [53].

Считается [35], что обработка гидроксидного осадка с помощью прудов-накопителей хотя и не является совершенным методом, однако в качестве временного мероприятия (при наличии вблизи водопроводной станции свободных земельных участков) может оказаться экономически оправданной из-за низких капитальных и эксплуатационных затрат. Такие накопители целесообразно использовать в качестве уплотнителей и накопителей осадка перед его последующей обработкой.

Обезвоживание осадка на иловых площадках

Широко распространенным способом обработки ВПО является обезвоживание его на иловых площадках с последующим удалением за пределы водопроводной 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%. Основными конструктивными решениями иловых площадок, получивших наибольшее распространение, являются [35]: 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 сут. 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.

Следует отметить, что использование прудов-накопителей и иловых площадок для обезвоживания ВПО, даже при благоприятных климатических, конструктивных и почвенных условиях, имеет существенные недостатки. Так, большие площади, занятые ими, создают, особенно в тех

случаях, когда ВПО загнивает, антисанитарные условия в окрестностях, способствуют разведению насекомых, а сбор и вывоз осадка являются достаточно трудоемкими процессами. Тем не менее считается, что обработка ВПО с помощью иловых площадок – временная мера, но, как и в случае с прудами-накопителями, в большинстве случаев экономически целесообразна, которая до сих пор используется на водоочистных станциях малой и средней производительности.

Метод замораживания-оттаивания ВПО целесообразен и экономически оправдан в районах с холодным климатом, где замораживание можно осуществить естественным путем (в зимний период) [21, 38]. В ходе замораживания осадка в его структуре происходит частичный переход воды из связанного в свободное состояние, сопровождаемый коагуляцией твердых веществ [35]. После оттаивания новые водоотдающие свойства осадка сохраняются, и он может быть легко обезвожен. Данный эффект полностью соответствует природному явлению, происходящему в зимне-весенний период года, в результате которого биологические коллоидные системы разрушаются и обезвоживаются. Установлено, что вымораживание воды из осадка происходит двумя путями: в результате пленочной диффузии воды из слоя осадка к поверхности растущей ледяной фазы или вследствие зарождения новых центров кристаллизации воды внутри пор сетчатой коагуляционной структуры [9]. 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 ВПО необходимо, чтобы его слой на площадках перед наступлением холодного периода не превышал глубины промерзания, соответствующей данному климатическому району. При этом на площадках перед наступлением холодного периода должен находиться максимально уплотненный осадок, содержащий минимальное количество балластной влаги и обладающий повышенной теплопроводностью [35]. По данным [35], эксплуатационные затраты при замораживании-оттаивании ВПО в 1,8 раза ниже, чем при его реагентном обезвоживании.

Искусственное замораживание и оттаивание осадка

Известны различные способы искусственного замораживания-оттаивания ВПО. Особенно эффективен данный способ для обработки осадка маломутных цветных вод, обладающих низкой водоотдающей способностью [35]. Наибольшее практическое применение нашел метод замораживания и оттаивания осадка через теплопередающие поверхности. Замораживание и оттаивание осадка осуществляется в резервуарах, оборудованных трубчатыми теплообменными элементами, в которых попеременно испаряется и конденсируется хладагент (например, аммиак). Искусственное замораживание и оттаивание ВПО в свое время нашло применение на некоторых водопроводных станциях Англии, Шотландии, Германии, Японии. Есть сведения (американские, начало 1970-х гг.), что термические методы обезвоживания осадков примерно на 30% экономичнее реагентных методов.

В СССР первая технологическая линия с роторной установкой замораживания-оттаивания была введена в эксплуатацию в 1987 г. на водопроводной станции г. Саратова [38]. Технология предусматривает уплотнение осадка, замораживание-оттаивание и обезвоживание. Влажность осадка после обезвоживания не превышала 70%. Известно также, что в начале 1990-х гг. осуществлялось проектирование цехов обработки ВПО методом искусственного замораживания для городов Энгельса, Самары, Нижнего Новгорода, Ульяновска, Тулы.

Механическая обработка осадка

Основными факторами, которые необходимо учитывать при выборе механического процесса обезвоживания ВПО (на вакуум-фильтрах, фильтр-прессах, центрифугах и других устройствах), являются количество минеральных примесей и тип химикатов, используемых для коагуляции. Как правило, легкость выполнения процесса обезвоживания прямо пропорциональна мутности воды и количеству получаемого осадка. Если вода умягчается, то осадок может содержать большое количество карбонатов кальция и в этом случае он будет идеально подходить для обезвоживания. Очевидными недостатками механического обезвоживания ВПО на месте его образования является [18]: 1) необходимость создания новой инфраструктуры для уплотнения, обезвоживания, вывоза и размещения осадка; 2) низкая температура осадка, подлежащего обезвоживанию, в зимний период, требующая значительных энергетических затрат и использования высоких доз коагулянтов.

Механическое обезвоживание ВПО нашло широкое применение за рубежом. Ему, как правило, предшествует реагентная обработка, гравитационное или термическое обезвоживание осадка [35, 37]. Так, вакуум-фильтрование с разрежением до 50-80 кПа и с предварительным добавлением к осадку флокулянтов, извести, каменноугольной пыли, молотого мела, древесной муки и других наполнителей позволяет получить кек с влажностью 60-80%. Фильтр-прессование гравитационно уплотненного осадка обладает технико-экономическими преимуществами по сравнению с другими методами механического обезвоживания. Из реагентов обычно применяют известь в дозах от 10-15 до 50% массы сухого твердого вещества в осадке [9]. Отмечаются преимущества добавления негашеной извести и соединений магния. При использовании флокулянтов особые требования предъявляются к продолжительности их перемешивания с осадком и выбору оптимальной дозы флокулянта. Тепловая обработка осадка при 40-150°C снижает вязкость воды, степень гидратации частиц и, как следствие, приводит к увеличению производительности механических обезвоживающих устройств. Однако она требует значительных энергетических затрат и потому находит ограниченное применение.

На ряде водопроводных станций шт. Нью-Йорк (США) предварительную обработку ВПО проводят в два этапа: сначала его подвергают гравитационному уплотнению до влажности 96%, затем добавляют флокулянт и известь и подвергают вторичному гравитационному уплотнению до влажности примерно 92% [75]. Во вторично уплотненный осадок вводят летучую золу и обезвоживают его на фильтр-прессах. Конечное содержание твердого вещества в кеке 45-50%. Помимо летучей золы в качестве присадочных материалов используют активный уголь, диатомит, пыль из электрофильтров. Применение в фильтр-прессах резиновых мембран, наполняемых воздухом, позволило в 1,2-2 раза увеличить их производительность и довести содержание твердого вещества в кеке до 56%. Центрифугирование осадка без использования дополнительных реагентов дает возможность повысить содержание твердой фазы лишь до 10-15%, а с использованием реагентов до 25-30%. Есть сведения, что содержание твердой фазы в осадке водоумягчительных установок можно довести центрифугированием до 60-65%. Эффективность центрифугирования сильно зависит от состава осадка. Обычно предпочтение отдается корзиночным центрифугам, маятниковым центрифугам, цилиндрикоконическим центрифугам.

Для обезвоживания осадка, образующегося при коагуляции примесей сульфатом алюминия, а также осадка, образующегося в процессе осветления, перспективно использование так называемых декантеров (от. франц. *décanter* – сцеживать, сливать; декантация – сливание жидкости с отстоявшегося осадка, «обезвоживание»). Компания «*Westfalia Separator*» в 1993-2001 гг. поставила более 30 установок (декантеров) для обезвоживания водопроводного осадка в различные страны (США, Ирландия, Великобритания, Португалия, Бразилия, Испания) [77]. Согласно рекламным материалам компании «*Westfalia Separator*», ее декантеры обеспечивают высокое качество осветления и максимальное обезвоживание осадка (содержание сухого вещества в осадке после обра-

ботки составляет 19-23%). Основными условиями для достижения этих характеристик являются высокая скорость вращения центрифуги и большой крутящийся момент шнека в сочетании с устройствами регулирования разности скоростей в зависимости от количества твердых веществ. При сочетании этих характеристик с герметичной конструкцией предотвращаются любые выбросы и обеспечивается отсутствие запахов. Для применения в промышленных и муниципальных системах предусматривается повышенная износостойкость лопастей шнека, отверстий для выпуска твердого осадка, приемной камеры для твердого осадка и зоны подвода продукта к шнеку.

В России существуют технологии, позволяющие на отечественном оборудовании обезвоживать ВПО до влажности 60-80% [38]. Так, в зависимости от требуемой степени обезвоживания проводят на фильтр-прессах или вакуум-фильтрах после предварительной подготовки (физико-химическими методами) осадка с целью повышения его водоотдающих свойств. Повышение водоотдачи осадка перед обезвоживанием достигается введением раствора извести, полиакриламида или замораживанием. Экономически целесообразной дозой извести (по СаО) считается доза 10-30% массы сухого вещества осадка. При обработке осадка высокоцветных маломутных вод количество извести может составить (по СаО) 60-100%. Большой расход извести делает нерациональным данный метод улучшения водоотдачи. Некоторое сокращение дозы извести можно достичь за счет введения в осадок вспомогательных веществ (флокулянтов, золы, перлита и др.). При обработке осадка только полиакриламидом его доза должна составлять не менее 0,1% массы сухого вещества осадка. Естественно, что добавление в осадок дополнительных реагентов вносит определенные ограничения на выбор дальнейшего (после обезвоживания) способа его утилизации.

Технологическая схема обработки ВПО на ленточных и камерных фильтр-прессах включает следующие операции [4]: усреднение и уплотнение осадка; приготовление растворов известкового молока и флокулянта; дозированное введение химических реагентов в осадок; дозированная подача кондиционированного осадка в аппараты механического обезвоживания; обезвоживание; выгрузка и транспортирование обезвоженного осадка. Уплотнение осадка является необходимым приемом, так как исходный осадок, особенно маломутных цветных вод, имеет высокую влажность (99% и выше). 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. 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% [21]. Эффективным реагентом является известь, которая дозируется в осадок в виде известкового молока. Доза извести составляет 20-80% по СаО от массы сухого вещества в зависимости от качества осадка. Обезвоживание осадка можно значительно улучшить тепловой обработкой, что, однако, требует значительных энергетических затрат. Режим работы камерных фильтр-прессов включает следующие операции: подачу кондиционированного осадка под давлением в фильтр-пресс; фильтрование под давлением; отжим; подсушку; выгрузку и регенерацию фильтровальной ткани [4]. Влажность обезвоженного осадка после обработки составляет 60-75%. Для предварительных расчетов, связанных с использованием камерных фильтр-прессов (например, типа ФПАКМ) для обезвоживания осадка природных вод разного качества могут быть рекомендованы исходные данные, приведенные в табл. 9.

Таблица 9. Основные исходные показатели условий применения камерных фильтр-прессов для обработки осадка [4]

Отношение Ц/М исходной воды, (град) / (мг/л)	Доза извести (в пересчете на СаО от массы сухого вещества), %	Давление, МПа		Продолжительность фильтровального цикла, с	Влажность обезвоженного осадка, %	Производительность, кг/м ² /час
		фильтрации	отжима			
Более 10	60-80	0,45	1,08	1500	75	6,2-7,9
5-10	40-60	0,57	1,14	1000	65	7,9-10,1
Менее 5	20-40	0,68	1,26	900	60	10,1-10,9

Примечание. 1) Ц и М – цветность и мутность соответственно. 2) При очистке воды используется $Al_2(SO_4)_3$. 3) Параметры работы фильтр-прессов в течение года могут существенно изменять в соответствии с изменениями показателей Ц и М.

При механическом обезвоживании на непрерывно действующих ленточных фильтр-прессах для кондиционирования ВПО наиболее целесообразно использовать сочетание извести с флокулянтами преимущественно анионного типа [4]. 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%. Институтом «УкркоммунНИИпрогресс» (г. Харьков) на основании 18-летних исследований разработаны технологии уплотнения и обезвоживания осадка, образующегося более чем на 20 водопроводных станциях Украины, Молдовы и России (реки Днепр, Северский Донец, Южный Буг, Днестр, Прут, Сиса, горные реки Крыма) [69].

В 1990-е гг. МГП «Мосводканал» была проведена серия промышленных экспериментов по обезвоживанию осадка московских водопроводных станций на мембранном камерном фильтр-прессе с применением извести [49]. Установлено, что при дозе СаО 20-50% технологических трудностей в процессе механического обезвоживания ВПО не возникает. Однако высокая стоимость извести и увеличение транспортных затрат на вывоз обезвоженного осадка делают этот способ в настоящее время экономически нецелесообразным. В 1998 г. на малогабаритном мембранно-камерном фильтр-прессе фирмы «Netsch» (Германия) были проведены промышленные испытания процесса обезвоживания осадка указанных водопроводных станций с использованием в качестве реагента только органических флокулянтов немецкой фирмы «Stockhausen». Для осадка Рублевской и Западной водопроводных станций были получены следующие технологические показатели обезвоживания: влажность кека 53-75% в зависимости от зольности осадка; оптимальный флокулянт – катионный высокомолекулярный Праестол 853; расход флокулянта при обезвоживании осадка на основе сульфата алюминия 4,5-6 кг/т сухого вещества, для осадка на основе оксихлорида алюминия 2,5-3 кг/т сухого вещества. Независимо от типа коагулянта, использованного при водоподготовке, обезвоженный осадок (кек) представлял собой плотные, устойчивые к разрыву пластины толщиной 20-22 мм со слегка увлажненным ядром, хорошо сходящие с фильтроткани. Фильтрат содержал незначительное количество взвешенных веществ (обычно 20-70 мг/л) на всех стадиях фильтроцикла, однако повышенное содержание в нем железа и марганца исключало возможность его использования в оборотном водоснабжении водопроводных станций. Обезвоживание осадка Восточной и Северной водопроводных станций характеризовалось следующими технологическими показателями: влажность кека 75-82%, оптимальный флокулянт – слабокатионный Праестол 644 или Праестол 852. Обезвоженный ВПО, несмотря на повышенную влажность (в среднем 77%), обладал высокой прочностью и упругостью, что свидетельствует о высоком содержании в нем химически связанной влаги, которую невозможно отделить физическими методами обезвоживания. При недостаточной дозе флокулянта внутри кека формировалось переувлажнен-

ное ядро со свободной водой, отжиму которой препятствовала плотная кора. Осадки Восточной и Северной станций (волжский водоисточник) в отличие от осадка Рублевской и Западной станций (москворецкий водоисточник) требуют высокой энергии смешения с раствором флокулянта и предварительной выдержки перед подачей на фильтр-пресс. Авторы цитируемой работы делают вывод о том, что камерные фильтр-прессы рационально использовать для обезвоживания водопроводного осадка низкоцветных вод.

*Сброс осадка в канализацию
и его обработка совместно с городскими сточными водами*

Обработка ВПО совместно с городскими сточными водами вызывает повышенный интерес и достаточно широко применяется за рубежом. Имеющийся опыт показывает, что в смеси с осадками сточных вод (ОСВ), в частности со сброженными, водопроводный осадок подвергается обезвоживанию без существенных трудностей и только отчасти (приращение дозы флокулянта в пределах 0,5-1 кг/т сухого вещества) влияет на технико-экономические показатели механического обезвоживания [35, 73]. Считается, что этот метод экономически выгоден, так как не требует больших капитальных затрат, а совместная обработка ВПО и ОСВ на городских очистных сооружениях позволяет с минимальными вложениями решить проблему размещения отходов водоподготовки. Существенным преимуществом является и то, что персонал станций по очистке сточных вод, где имеются цеха механического обезвоживания, уже профессионально подготовлен. Как правило, на водопроводной станции необходимо лишь строительство резервуара усреднения и насосной станции, а на станции очистки сточных вод требуется некоторое увеличение эксплуатационных затрат. Обычно ВПО характеризуется высокой биологической стабильностью органического вещества [49]. В большей степени загниванию подвержен осадок, полученный в период цветения исходной поверхностной воды, но и в этом случае его биоактивность намного ниже, чем у ОСВ. Поэтому ВПО, как правило, не выделяет гнилостных запахов при хранении, обезвоживании и сушке. Благодаря биостабильности органического вещества, прочной связи азота в гумусе, а фосфора в алюминитах водопроводный осадок не создает дополнительной нагрузки по БПК, азоту и фосфору на сооружения биологической очистки сточной воды станций аэрации. Изменение удобряющих свойств ОСВ под воздействием осадка природных вод не установлено. Он даже разубоживает содержание опасных веществ в канализационном осадке. В то же время сброс ВПО 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.) [71]. Авторы рекомендуют осуществлять предварительную обработку осадка, образующегося на водопроводной станции г. Хабаровска и затем сбрасываемого в городскую канализацию, на гидроциклонах.

Перед направлением ВПО на станцию очистки сточных вод необходимо выяснить следующие обстоятельства [4]: 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. На практике установлено, что при перекачке осадка из отстойников водопроводных станций в общую канализационную сеть заиливание последней зависит от размеров и наклона труб. Так, при диаметре труб до 300 мм заиливание происходит при наклоне 5° и менее; при диаметре труб 400 мм и более – при наклоне 1,5°. При сбросе ВПО вод в канализацию количество образующихся на станции очистки сточных вод ОСВ обычно возрастает на 2-3%, максимально – на 10-20%, а содержащийся в водо-

проводном осадке гидроксид алюминия способствует осаждению фосфора, присутствующего в бытовых сточных водах.

Сброс осадка в канализацию и его обработка совместно с городскими сточными водами особенно эффективны для условий крупных городов. Например, территориальное расположение водопроводных станций в г. Москве позволяет осуществлять сброс осадка Рублевской и Западной станций в канализационную сеть Курьяновской станции аэрации (КСА), а осадка Северной и Восточной станций – в канализационную сеть Люберецкой станции аэрации (ЛСА). Исследованиями, проведенными в 1980-х гг. МГСУ совместно с институтом «МосводоканалНИИпроект», установлена перспективность применения данного метода и определены главные его преимущества для условий г. Москвы [18]: сокращение капитальных затрат на строительство сооружений обработки осадка; улучшение очистки коммунальных сточных вод от фосфатов за счет остаточной активности гидроксида алюминия водопроводного осадка; снижение удельного расхода реагентов на механическое обезвоживание ОСВ в целом по предприятиям МГП «Мосводоканал»; унификация и централизация инфраструктуры утилизации и размещения обезвоженных ОСВ на КСА и ЛСА.

Многолетний опыт приема осадка Западной водопроводной станции (ЗВС) на Курьяновскую станцию аэрации (КСА) в количестве 25-35 т/сут. сухого вещества (что составляет 5-8% от общей массы поступающих на станцию взвешенных веществ), осуществляемый с конца 1980-х гг., показал, что ВПО, выделенный из низкоцветных вод московского водоисточника, не оказывает существенного негативного влияния на работу очистных сооружений [49]. Сброс его отчасти повлиял на влажность сырого осадка (увеличение с 94-95 до 95,5-95,7%), а также на эффективность задержания взвешенных веществ в первичных отстойниках (снижение до 40-50%). Наибольшее влияние прием осадка ЗВС оказывал в период паводка, когда в результате повышения мутности поверхностных вод его количество возрастает примерно в два раза. Поскольку в этот же период поступление осадкообразующих загрязнений в канализационную сеть с территории города увеличивается, то суммарное действие двух паводковых факторов приводило к увеличению расхода смеси сырого осадка и избыточного ила на 20-30% по сравнению с межпаводковым периодом. Внедрение в 1996 г. аппаратного сгущения избыточного активного ила решило проблему управления объемом расхода сырого осадка и дозой загрузки его в метантенки. Следует учитывать тот факт, что осадок высокоцветных вод (например, образующийся при очистке вод волжского водоисточника) отличается плохими седиментационными свойствами, что может оказывать отрицательное влияние на эффективность механической очистки сточной воды, влажность сырого осадка, прирост активного ила, водоотдающие свойства сброженного осадка.

В 1999 г. на Люберецкой станции аэрации (ЛСА) был проведен промышленный эксперимент по приему сточных вод Северной водопроводной станции (СВС) г. Москвы, результаты которого показали следующее [18]:

- никаких технических проблем при транспортировке водопроводного осадка по сетям канализации не возникает;

- специфичное распределение (преимущественное осаждение или вымывание) частиц ВПО при первичном отстаивании сточной воды отсутствует;

- ВПО оказывает существенное влияние на кинетику уплотнения ила в первичных отстойниках (снижение скорости осаждения и уплотнения взвешенных частиц приводит к увеличению уровня осадка в первичных отстойниках, увеличивает риск вымывания ранее осевших частиц в осветленную воду; при условии обеспечения эффективности задержания взвешенных веществ на уровне 55-60% требуется увеличение объема и продолжительности откачки сырого осадка, что позволяет сохранить регламентную эффективность задержания взвешенных веществ, но ведет к повышению влажности сырого осадка в среднем с 95,4% до 96,3%);

- ВПО не оказывает значимого влияния на показатели осветления биологически очищенной сточной воды во вторичных отстойниках и на уплотнение избыточного активного ила;

- факт значимого снижения фосфатов в осветленной и очищенной сточной воде не зарегистрирован; при высоких нагрузках ВПО возможно снижение показателей процесса нитрификации;
- объемы сырого осадка и уплотненного избыточного активного ила возрастают непропорционально количественному сбросу сухого вещества ВПО; при приеме на обработку порядка 10% от среднесуточного поступления типовых для коммунальной канализации взвешенных веществ расход сырого осадка возрастает на 30-50%.

Результаты эксперимента позволили сделать общий вывод о том, что прием в канализацию 30-40 т/сут. осадка с СВС, что соответствует 30-50% образующегося на территории бассейна водоснабжения/водоотведения водопроводного осадка, не оказывает отрицательного влияния на показатели очистки сточных вод на ЛСА при условии своевременного вывода образующихся ОСВ из первичных отстойников и избыточного активного ила из сооружений биологической очистки. Установлено, что сброс ВПО оказывает наибольшее влияние на работу первичных отстойников ЛСА: влажность сырого осадка увеличилась с 95% до 96,8%; объем осадка фактической влажности увеличился в среднем на 40-50%. Необходимо отметить, что для успешного проведения указанного эксперимента на ЛСА был выполнен большой объем подготовительных работ. В частности, произведена реконструкция 12 метантенков с установкой нового перемешивающего оборудования и контрольно-измерительных приборов, осуществлен монтаж 5 ленточных сгустителей, выполнена установка процеживающих ступенчатых решеток на сыром осадке. Кроме того, на ЛСА был апробирован и введен в постоянную практику производственный контроль количества поступления ВПО, основанный на определении содержания алюминия в сыром и сброженном осадке, а также в поступающей и очищенной воде. Анализ связи между содержанием алюминия в сыром осадке и активном иле, произведенный по парным еженедельным данным производственного контроля, показывает, что существует достаточно жесткая корреляция между этими показателями, которая позволяет сделать следующие важные для оптимизации работы ЛСА выводы в условиях приема осадка с СВС: 1) первичные отстойники выполняют барьерную роль по защите сооружений биологической очистки от инертных взвешенных веществ ВПО; 2) специфического осаждения частиц ВПО в первичных отстойниках нет, непропорциональное их вымывание с осветленной водой также не наблюдалось; 3) барьерная роль первичных отстойников ограничена эффективностью задержания взвешенных веществ, которая определяется скоростью стесненного осаждения и уплотнения частиц. Итоги эксплуатации сооружений ЛСА в условиях приема осадка с СВС указывают на то, что совместная обработка осадка станций коммунального водоснабжения и водоотведения технически осуществима и экономически целесообразна. Для приема 100% водопроводного осадка, образующегося при водоподготовке высокоцветных природных вод, со всего бассейна водоснабжения г. Москвы необходима существенная реорганизация сооружений механической очистки сточной воды и подготовки сырого осадка к сбраживанию.

К настоящему времени опыт приема сточных вод Северной водопроводной станции (Волжский водоисточник) на Люберецкие очистные сооружения (ЛОС) и сточных вод Западной и Рублевской водопроводных станций (Москворецкий водоисточник) на Курьяновские очистные сооружения (КОС) г. Москвы позволил сделать ряд технологических заключений о влиянии водопроводного осадка на показатели очистки сточной воды и обработки ОСВ [63, 64]. Наибольшее технологическое значение имеет взаимодействие двух факторов: генезис водопроводного осадка, определяющий его седиментационные свойства, и относительное количество его в пересчете на сухое вещество, поступающее в канализационную сеть в течение суток. Технологический эффект воздействия ВПО на показатели работы очистных сооружений в первую очередь выражается в изменении объемов расхода канализационных осадков: смеси осадка первичных отстойников (сырого осадка) и избыточного активного ила. Например, в результате приема 50-60 т/сут. (сухое вещество) осадка водопроводных станций, очищающих воду с малой цветностью и высокой мутностью, объемный расход осадка КОС возрастает на 25%. Прием ВПО в количестве 30-40 т/сут. (су-

ное вещество) при очистке воды с высокой цветностью и малой мутностью приведет к увеличению объемного расхода осадка КСО на 60-80%. Причины столь существенных различий – коллоидная природа веществ и высокое содержание гидроксида алюминия (40-50% по сухому веществу) в осадке, выделяемого из поверхностных вод с высокой мутностью. Опыт эксплуатации КОС показывает, что при изменении качества поверхностных вод, обуславливающего увеличение дозы коагулянта в процессе водоподготовки, технологические возможности очистных сооружений по приему ВПО снижаются.

В любом случае при сбросе сточных вод водопроводных станций г. Москвы в городскую канализацию возникает необходимость соответствующей технологической подготовки очистных сооружений, принимающих их на обработку [64]. Первым этапом решения проблемы негативного воздействия ВПО на очистные сооружения является отказ от поддержания установленной типовым регламентом низкой влажности сырого осадка. Технологические требования, предъявляемые к влажности сырого осадка, должны быть адекватны фактическим седиментационным свойствам образующейся в отстойниках смеси. Расчеты показывают, что экономически оправдано откачивать сырой осадок при влажности 96,8%, если это обеспечивает эффективность задержания взвешенных веществ на уровне 60%. Следующей важной технологической задачей является оптимальное решение проблемы регуляции объемного расхода ОСВ, подаваемых на стабилизацию в метантенки, в заданном регламентом диапазоне для обеспечения оптимальной дозы загрузки. Известно три технологических процесса решающих эту задачу: гравитационное уплотнение, напорная флотация и аппаратное сгущение. Например, весь избыточный активный ил на очистных сооружениях г. Москвы подвергается гравитационному уплотнению, предел которого на практике составляет 96,9% (типовой диапазон 97,1-97,5%). Установлено, что водопроводный осадок Москворецкого и Волжского водоисточников не оказывают значимого влияния на влажность уплотненного ила, вероятно, из-за схожих седиментационных характеристик в фазе уплотнения. Опытные промышленные исследования гравитационного уплотнения сырого осадка в радиальных отстойниках показали, что этот процесс гарантировано может обеспечить влажность уплотненного осадка на уровне 96%. Стремление к более низкой влажности ведет к биофлотации частиц вплоть до всплытия всей массы осадка. Поэтому для гравитационного уплотнения сырого осадка целесообразно проектировать уплотнители специальной конструкции, с оптимизированным соотношением нагрузки осадка к площади и глубине сооружения. Технология флотационного сгущения активного ила в климатических условиях Нечерноземья себя не оправдала, поскольку, например, при эксплуатации флотатора на КОС в зимний период происходило замерзание флотоконцентрата. Ленточные сгустители, напротив, вот уже 10 лет подтверждают свою надежность и простоту в эксплуатации. При использовании сгущающего оборудования для регулирования объема осадка перед загрузкой в метантенки возникает дилемма, что лучше сгущать – активный ил или сырой осадок? Технологический анализ и исследования показали, что в пользу аппаратного сгущения активного ила играют такие факторы, как его гомогенный механический состав, отсутствие в значимом количестве жиров и нефтепродуктов, способных засаливать фильтрующее полотно, относительно низкая интенсивность выделения дурнопахнущих веществ. В то же время доза флокулянта, необходимая для эффективного сгущения активного ила, может изменяться от 2 до 5 кг/т, а коэффициент снижения объема при сгущении не превышает 2 ед., что соответствует снижению влажности с 97,0-97,5% до 95,0-95,5%. При сгущении сырого осадка неблагоприятными для эксплуатации факторами является наличие в нем грубодисперсных примесей, засаливающих полотно компонентов, интенсивная эмиссия дурнопахнущих веществ. Для устранения этих негативных факторов требуется специальное аппаратное оформление процесса сгущения на ленточных сгустителях: система процеживания осадка, вентиляция и система очистки вентвыбросов, отказ от совместной транспортировки сырого осадка с жировыми веществами. В тоже время процесс сгущения сырого осадка характеризуется стабильным во времени удельным расходом флокулянта – от 1,8 до

2,5 кг/т с.в. и высоким коэффициентом снижения объема – 3-4 ед., что соответствует снижению влажности с 96,5-97,5% до 89-91%. Экономическая привлекательность сгущения сырого осадка тем более возрастает, что этот технологический процесс позволяет перевести первичные отстойники в режим откачки с нулевым уровнем осадка, тем самым достигнуть технологический предел по эффективности задержания взвешенных веществ. Это технологическое направление подготовки осадка к сбрасыванию, позволяющее управлять не только расходом, но и качественным составом смеси, а также возрастом активного ила, по состоянию на 2006 г. находилось на стадии внедрения. Помимо технологической подготовки очистных сооружений к приему на обработку стоков водопроводных станций целесообразно вести оптимизационные работы и на противоположном конце канализационной сети. Наиболее актуальной задачей является разработка и реализация мероприятий по подготовке ВПО к его дальнейшей обработке на очистных сооружениях канализации [49, 64]. Эти мероприятия должны быть направлены на необратимое улучшение седиментационных свойств осадка. В первую очередь к ним можно отнести выдержку осадка в специальных хранилищах, его гравитационное уплотнение, в том числе с применением флокулянтов. Обеспечение равномерного (на протяжении декады, месяца) вывода осадка из сооружений водоподготовки в канализационную сеть – самостоятельная и важная задача. В то же время неравномерный вывод осадка в течение суток может дать положительные результаты, например, при синхронизации минимального притока сточных вод с поступлением основной части суточного расхода ВПО на очистные сооружения. Наличие уплотнителей и накопителей осадка на водопроводных станциях способно оптимизировать режим его подачи на канализационные очистные сооружения.

Как подчеркивается в [64], до внедрения комплексных технологий обработки ВПО на водопроводных станциях г. Москвы, технологическое взаимодействие систем коммунального водоснабжения и водоотведения целесообразно развивать в следующих направлениях: 1) внедрение в практику эксплуатации водопроводных станций технологических регламентов, обеспечивающих равномерный вывод промышленных сточных вод (по сухому веществу осадка) в канализацию; 2) обработка водопроводного осадка флокулянтами 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 конкретных условиях существенными представляются следующие аспекты [49]:

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

2. Прием водопроводного осадка, особенно от очистки высокоцветных природных вод, приводит к непропорциональному увеличению объемов ОСВ на станции аэрации. 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 ОСВ канализационных очистных сооружений (как наиболее дорогостоящей части процесса очистки сточных вод) должны оказывать наибольшее воздействие на решение проблемы обезвоживания ВПО. Ориентация на широкое применение ОСВ в качестве удобрения стимулирует прием ВПО в систему канализации. При неизбежности метода депонирования осадка станций аэрации совместная обработка ОСВ и ВПО 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 ВПО. 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.

Сжигание водопроводного осадка

Обезвоженный ВПО предлагается смешивать с угольной пылью, мазутом и сжигать. При обжиге смеси ВПО и ОСВ можно получить инертный строительный материал, обладающий высокой механической прочностью.

Способ сжигания ВПО разработан для станций очистки питьевой воды Симферопольского гидроузла [14]. Здесь на водопроводной станции «Петровские скалы» в ходе обработки исходной воды ежегодно образуется около 500 т осадка, который при прокаливании теряет более 70% своей массы, что свидетельствует о возможности его сжигания. Авторами цитируемой статьи предложена схема обработки технологических стоков и утилизации осадка, особенностью которой является очистка стоков на фильтрах с плавающей загрузкой (ФПЗ), способных работать с промывной водой, отличающихся высоким содержанием механических примесей, и не требующих использования насосов и емкостей для хранения промывной воды. Возможность протекания в одном корпусе процессов отстаивания и фильтрования позволяет отказаться от дорогих сооружений отстаивания и уменьшает размеры станции очистки промывных стоков. Перед подачей на ФПЗ промывные воды обрабатываются реагентом, вид и доза которого зависят от их качества. В свою очередь, технологические и конструктивные параметры фильтра определяются качеством сформировавшихся в промывной воде агрегатов после обработки ее реагентом. Частично очищенная вода отвечает требованиям технологического регламента станции очистки питьевых вод и может подаваться в ее смеситель. Локализованный в пруде-накопителе и в улавливателе песка осадок отводится для подсушивания на специальную площадку с гидроизоляционным покрытием, куда также поступает зольная вода из установки сжигания.

Процесс подсушивания осадка в условиях Крыма, отличающегося высокими среднегодовыми температурами, может успешно протекать в естественных условиях, что положительно отражается на технико-экономических показателях предложенной схемы очистки технологических сточных вод. Сжигание ВПО снижает его массу на 69-79% и позволяет получить щебень, который можно использовать в качестве крупного заполнителя при производстве бетонов или в качестве других строительных материалов. Оплавленная поверхность щебня предотвращает вынос минеральных примесей выжженного осадка.

Авторами цитируемой выше статьи также разработана и проверена в производственных условиях технология сжигания ВПО с его спеканием и получением из него щебня или кирпича. Испытание гравия из осадка (по методике определения прочности керамзита) показало, что гравий после выжигания при температуре 1120⁰С не разрушался при удельной нагрузке 33 кг/см². Гравий, полученный из осадка при температуре 600⁰С, соответствует требованиям ГОСТ 9757-90 «Гравий, щебень и песок – штучні пористі. Технічні умови» (марка «150»), а полученный при температуре

1120°C, соответствует марке «550». Согласно требованиям ГОСТ 9759-71 к керамзитовому гравию, полученные авторами в опытах образцы гравия после выжигания осадка при температуре 1120°C и 600°C относятся к классу «Б». Применение осадка, образующегося на водопроводной станции «Петровские скалы», в качестве сырья для кирпичного завода позволило получить кирпич марки М100 [14]. В качестве дополнительного материала (наполнителя) в формировочной смеси использовался глинистый сланец (керамическая глина), применяемый на Симферопольском кирпичном заводе. Все полученные материалы отвечали санитарно-гигиеническим и санитарно-радиационным требованиям.

Бессточная схема водопроводных очистных сооружений

Институтом «УкркоммунНИИ-прогресс» (г. Харьков), после проведения комплекса исследований по обороту промывных вод фильтров и подготовке водопроводного осадка к использованию в различных областях народного хозяйства, разработана бессточная схема водопроводных очистных сооружений [45, 51]. Бессточной называют такую схему водоочистки, при которой объем стоков или «хвостов», сбрасываемых из основной технологической схемы очистки воды, сведен до нуля, либо до таких величин, учет которых не производится ввиду их незначительности.

По этой схеме промывные воды фильтров через песколовки, резервуары-накопители возвращаются в голову очистных сооружений, а осадок уплотняется, обрабатывается флокулянтom и обезвоживается на фильтр-прессах. Образовавшийся в результате обезвоживания осадка фильтрат направляется в резервуар-накопитель и совместно с промывными водами фильтров подается также в голову очистных сооружений. Обезвоженный осадок (кек) предполагается использовать в качестве компонента сырьевой смеси для производства красного кирпича взамен глины или в качестве удобрений в лесных питомниках и лесопосадках. Таким образом, исключается сброс осадка в водоемы, но при этом увеличивается нагрузка на очистные сооружения в среднем на 6-9% (из них промывная вода 5,5-8%, декантат 0,5-1% и фильтрат 0,1-0,2%), что, однако, вполне приемлемо для их эффективной работы, так как при ступенчатой работе насосов насосной станции 1 подъема колебания расходов воды достигают 15% и выше. Увеличение «грязевой» нагрузки на очистные сооружения при возврате промывной воды составляет 1-2%, что также вполне допустимо. Таким образом, оборот промывных вод не вызывает ухудшения работы станции в целом и позволяет сэкономить значительное количество воды, расходуемой на собственные нужды.

Для 4-х групп ВПО (см. табл. 8) Институтом «УкркоммунНИИ-прогресс» разработаны соответствующие технологические схемы подготовки, уплотнения и обезвоживания водопроводного осадка. Так, для обработки осадка 1-й группы водоисточников (ВПО обладает наиболее высоким удельным сопротивлением фильтрации $800-1600 \times 10^{10}$ см/г и плохо отдает воду при уплотнении и обезвоживании) выбрана бессточная технологическая схема, приведенная на рис. 1. Осадок, задерживаемый на водопроводной станции, с исходной влажностью 99,0-99,5% направляется в вертикальный илоуплотнитель, в котором уплотняется в течение 24 часов с добавкой извести в количестве 20% от веса сухого вещества осадка, или (в период цветения воды в водоисточнике) 20% глины. Влажность уплотненного водопроводного осадка составляет 96-98%. Уплотненный осадок (перед механическим обезвоживанием) направляется в специальный резервуар. Для улучшения процесса механического обезвоживания в водопроводный осадок добавляется известь в количестве 20% от его массы (на сухое вещество). При добавлении глины (для уплотнения перед механическим обезвоживанием) водопроводный осадок нагревают до 70-80°C. Осадок обезвоживается на фильтр-прессах типа ФПАКМ, продолжительность одного фильтроцикла составляет 15-17 мин. Количество фильтр-прессов выбирается в зависимости от суточного количества образующегося на

водопроводной станции осадка (по сухому веществу). Далее обезвоженный водопроводный осадок утилизируется.

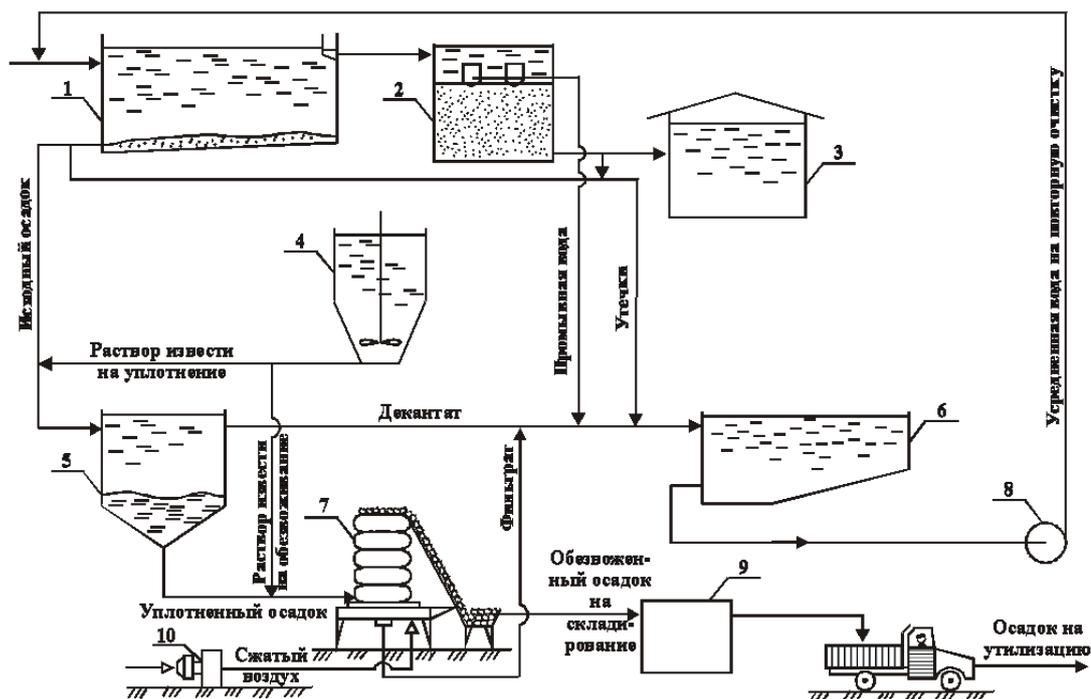


Рис. 1. Рекомендуемая схема обработки осадка 1-й группы водоисточников [45]:

1 – горизонтальный отстойник; 2 – скорый фильтр; 3 – РЧВ; 4 – емкости для приготовления известково-го молока; 5 – уплотнитель осадка; 6 – резервуар-усреднитель промывной воды; 7 – цех фильтр-прессов; 8 – насос перекачки усредненной воды; 9 – территория для складирования осадка; 10 – компрессор высокого давления

Для обработки осадка 2-й группы водоисточников (ВПО обладает удельным сопротивлением фильтрации в $350-900 \times 10^{10}$ см/г, содержание органических веществ составляет 35-45%, коллоидных гидроксидов – 10-26%) предлагается бессточная технологическая схема, приведенная на рис. 2. Водопроводный осадок, задерживаемый горизонтальными отстойниками и имеющий влажность порядка 99,2-99,5%, подается в илоуплотнители, где уплотняется в течение 24 час. (с добавлением извести в количестве 10% от веса сухого вещества осадка или с добавкой 10% глины в период максимального цветения воды в водоисточнике). Влажность уплотненного осадка достигает 95-97%. Количество фильтр-прессов для механического обезвоживания осадка определяется из объема (по сухому веществу) образующегося осадка. Обезвоженный осадок направляется на дальнейшую утилизацию.

Водопроводный осадок 3-й группы водоисточников (в том числе осадки Кочетокской водопроводной станции г. Харькова), имеющий исходную влажность 97,5-98 %, уплотняется без внесения добавок в течение 18-24 час. до влажности порядка 92,0-94,0% (рис. 3). Осадок из илоуплотнителя (через специальный бак подготовленного осадка) подается на механическое обезвоживание. При механическом обезвоживании водопроводного осадка осуществляют его кондиционирование известью с дозой 10-20% (от сухой массы осадка). При этом производительность фильтр-прессов, количество которых определяется из объема (по сухому веществу) обрабатываемого осадка), превышает $20 \text{ кг/м}^2\text{ч}$.

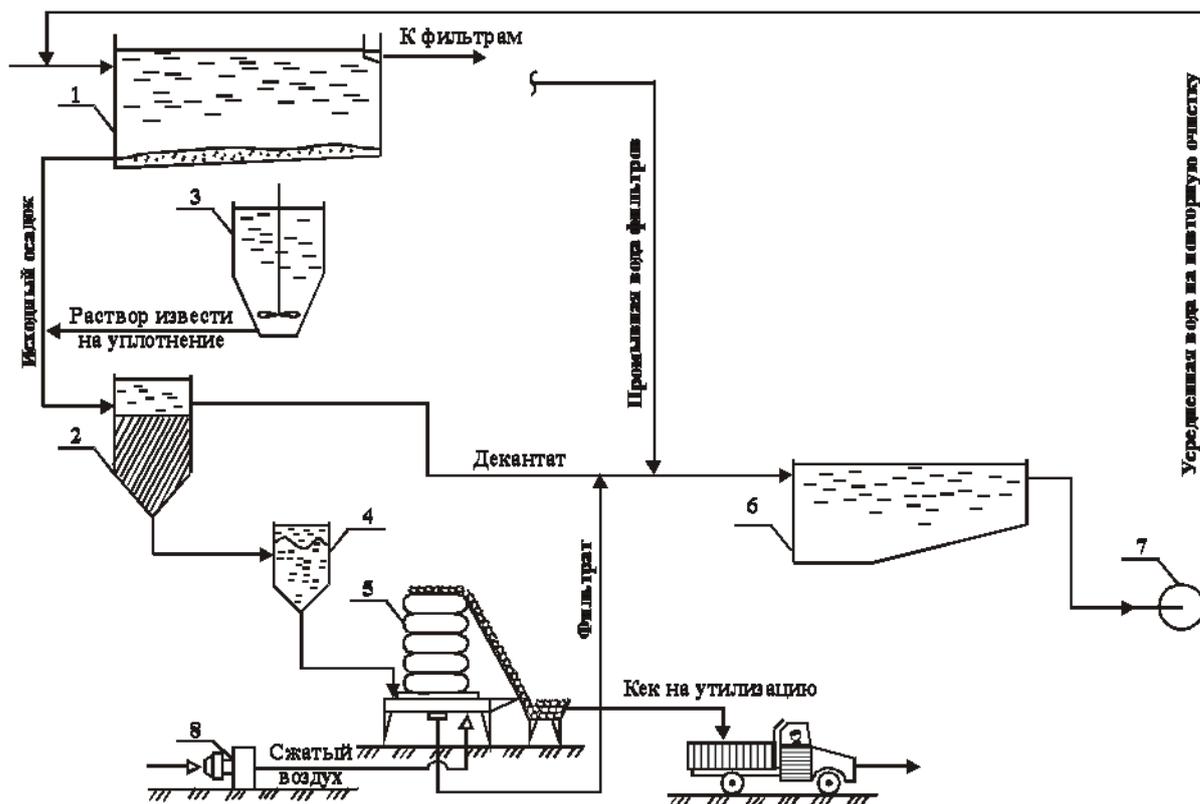


Рис. 2. Рекомендуемая схема обработки осадка 2-й группы водоисточников [45]:

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

Осадок 4-й группы водоисточников (с исходной влажностью 96-97,5%) уплотняется достаточно быстро (за 8-12 час.) до влажности 85-92% в резервуаре-уплотнителе (рис. 4). Хотя уплотнение осадка достигается за столь короткое время без применения реагентных добавок, надильная вода имеет высокое содержание взвеси. Для получения большего осветления такой воды производится добавка извести при уплотнении в резервуаре-уплотнителе в дозе 2,5% (по сухому веществу осадка) в виде 10%-ной суспензии. Для этой группы ВПО добавка извести незначительна (до 6%). Далее уплотненный осадок с влажностью 85-92% подается на механическое обезвоживание, которое производят на фильтр-прессах. После обезвоживания осадок утилизируют.

Для ВПО 3-й и 4-й групп водоисточников возможна замена извести на известьсодержащие (с содержанием извести 35-50%) отходы химических производств. Величина производительности фильтр-пресса при дозе добавки в 35% составляет 9-10 кг/м²ч, что дает основание судить о возможной взаимозаменяемости отходов. В табл. 10 приведены основные технологические параметры уплотнения осадков, а в табл. 11 – обезвоживания осадков всех четырех групп водоисточников.

Таблица 10. Основные технологические параметры уплотнения ВПО [45]

Группа водоисточников	Параметры уплотнения				
	Исходная влажность, %	Реагент	Количество реагента, %	Время уплотнения, час.	Влажность после уплотнения, %
1	99,0-99,5	глина	10-20	24	96-98
2	99,5-98,0	известь	10-20	24	95-97
3	98,0-97,5	известь	не более 5	18-24	92-94
4	97,5-96,0	-	-	8-12	85-92

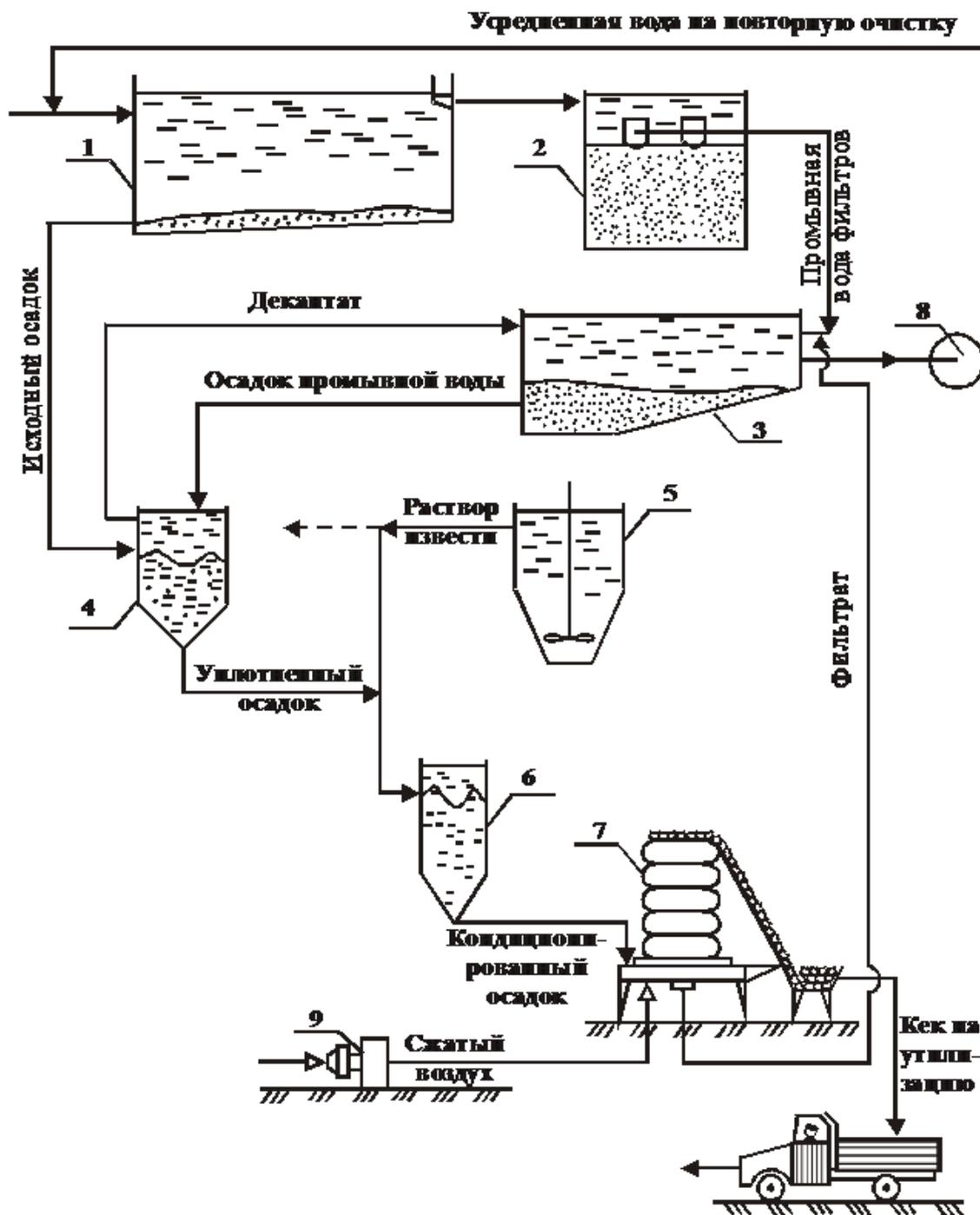


Рис. 3. Рекомендуемая схема обработки осадка 3-й группы водоисточников [45]:

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

Таблица 11. Основные технологические параметры обезвоживания ВПО на фильтр-прессе [45]

Группа водоисточников	Параметры уплотнения				
	Реагент	Количество реагента, %	Влажность кека, %	Продолжительность, с	производительность, кг/м ² x час
1	глина	нагрев до 70-80 ⁰ С	65-70	660-700	6-7
2	известь	20-30	60-65	615-630	12-15
3	известь	10-20	58-60	535-580	18-23
4	известь	5-10	52-55	480-500	22-28

Бессточные схемы работы очистных сооружений водопроводных станций предотвращают сброс «хвостовых» вод и осадка в окружающую среду и решают задачу создания малоотходных технологий. Институтом «УкрокоммунНИИпрогресс» в содружестве с рядом институтов и организаций г. Харькова установлена возможность и практическая целесообразность утилизации ВПО. При решении вопроса о путях переработки и утилизации осадка каждой водопроводной станции большое значение имеют его химико-минералогический состав и физико-химические свойства. В зависимости от преобладающего состава и свойств осадка той или иной станции могут быть выбраны различные пути его утилизации. Типичный ВПО, идентичный по составу природному глинистому или лессовидному сырью, предпочтительно использовать в качестве керамического сырья, компонентов при производстве различных строительных материалов: цементов, бетонов, защитных покрытий и т. д. Осадок с высоким содержанием органических компонентов, образующийся при очистке высокоцветных маломутных вод, можно применять в сельском хозяйстве в качестве удобрения и агроメリоранта, использовать для производства пористых заполнителей и фильтрующих материалов.

Утилизация водопроводного осадка

Утилизация ВПО, преимущественно уплотненного, может осуществляться в следующих основных направлениях: использование осадка для интенсификации хлопьеобразования при обработке природных вод (рециркуляция ВПО), регенерация коагулянтов из осадка, применение осадка в очистке городских сточных вод (в качестве реагента) и для обработки (уплотнения) осадков сточных вод, использование осадка в производстве строительных материалов, при строительстве дорог (укладка в дорожное полотно), в сельском хозяйстве (как удобрение и агроメリорант), для рекультивации земель.

Рециркуляция ВПО предполагает его использование непосредственно на водопроводных станциях для интенсификации хлопьеобразования при обработке природных вод, когда ранее образовавшийся осадок при введении в очищаемую воду играет роль дополнительных центров хлопьеобразования [44, 49]. Хороший эффект дает использование ВПО для зарядки осветлителей с взвешенным осадком. Благодаря рециркуляции ВПО производительность водопроводных очистных сооружений может увеличиваться на 30-60%. Установлено также, что за счет рециркуляции осадка одновременно существенно повышается барьерная роль сооружений 1-й ступени очистки в отношении планктона (на 90-100%). Кроме того, рециркуляция осадка позволяет без ухудшения качества очистки утилизировать промывные воды фильтровальных сооружений путем их равномерного перекачивания из резервуара-усреднителя в головной узел водоочистной станции. В России рециркуляция ВПО используется на водоочистных станциях Костромы, Новгорода, Архангельска, Череповца, Выборга, Кирово-Чепецка и других городов. Такой способ использования осадка позволяет также экономить коагулянт (до 30%) [45].

Регенерация коагулянтов является эффективным направлением утилизации ВПО, особенно образующегося при очистке маломутных вод, когда содержание оксида алюминия в нем может достигать 40% и более (на сухую массу) [21, 27, 35]. Регенерацию коагулянтов целесообразно осуществлять на водопроводных станциях большой и средней мощности, где потребляются значительные количества реагентов и образуются большие объемы ВПО. Коагулянты можно регенерировать путем растворения продуктов гидролиза в кислотах или щелочах, аналогично получению сульфата алюминия из его гидроксида, а также экстракцией органическими реагентами. Следует отметить, что в ходе обработки осадка кислотами или щелочами не исключается вероятность накопления в регенерированном коагулянте бактерий, органических и неорганических примесей.

Это, отчасти, и является причиной того, что регенерация коагулянта из осадка природных вод не нашла повсеместного практического применения.

Наибольшее применение получила кислотная обработка ВПО (особенно серной кислотой), которая позволяет одновременно решать проблему уменьшения объема образующегося осадка (в 5-20 раз) и утилизировать значительную часть (до 60-86%) коагулянта, расходуемого в процессе очистки воды [21, 27, 35]. Технология кислотной регенерации коагулянтов может осуществляться по двум направлениям: кислотная обработка прокаленного остатка (так называемая сухая регенерация) и кислотная обработка влажного осадка. Чаще всего используют свежесоажденный обезвоженный осадок, который удален из очистных сооружений не позднее 1-1,5 час. В противном случае осадок кристаллизуется, что приводит к снижению его способности к растворению. Кислоту дозируют из расчета получения сульфата алюминия, и растворение заканчивают при pH 3-3,2. Доза кислоты увеличивается при наличии в ВПО гидроксидов и карбонатов кальция и магния. Иногда для повышения степени растворения оксида алюминия осадок подвергают термической обработке (в интервале температур 500-700°C). В результате добавления кислоты к влажному гидроксидному осадку образуется реакционная смесь, жидкая фаза которой представляет собой раствор регенерированного коагулянта, а твердая фаза – нерастворимые в кислоте органические и минеральные вещества, а также гипс, образующийся при взаимодействии солей кальция с серной кислотой. Отделение раствора коагулянта от твердой фазы осуществляют отстаиванием или фильтрованием, зачастую с применением флокулянтов. Регенерированный коагулянт состоит в основном из хорошо растворимых в воде сернокислого алюминия $Al_2(SO_4)_3$, оксисульфатов $Al_2(OH)_2(SO_4)_2$ и $Al_2(OH)_4SO_4$, а также содержит незначительное количество сульфатов железа $Fe_2(SO_4)_3$, магния $MgSO_4$ и др. Кроме того, раствор регенерированного коагулянта содержит органические примеси, растворимые кислотой при обработке исходного осадка. После разделения фаз раствор регенерированного коагулянта используется для очистки исходной воды, а вторичный кислый шлам (вторичный ВПО), объем которого обычно составляет около 8-20% объема исходного осадка, характеризуется низкими значениями pH (1,5-3,2), влажностью 95-98% и обладает такой же или более высокой водоотдачей, чем первичный осадок. Для обезвоживания вторичного водопроводного осадка используют термические или механические способы обработки. В последнем случае вторичный осадок предварительно уплотняют и подщелачивают (нейтрализуют) до pH 9-10. Наличие в исходном водопроводном осадке повышенного количества различных органических примесей, соединений железа и марганца осложняет процесс регенерации. Органические примеси в этом случае необходимо предварительно окислить кислородсодержащим газом при 175-200°C в автоклавных условиях (при давлении в 1,4-14 МПа) или другими окислителями (H_2O_2 , O_3 , Cl_2). Обесцвечивание растворов коагулянтов от окрашивающих примесей осуществляют хлорированием или ультрафильтрацией через полимерные мембраны. Пропуская растворы коагулянта через сильноосновные катиониты, можно осуществить их концентрирование. Следует помнить, что многократная регенерация коагулянта из водопроводного осадка приводит к снижению его активности и значительному накоплению в нем нежелательных примесей, что затрудняет дальнейшее использование ВПО.

Реже применяется регенерация коагулянтов щелочами [21]. Например, в результате обработки ВПО, содержащего гидроксид алюминия, едким натром при 80°C и при соотношении $NaOH/Al = 2$ в раствор извлекается 45% алюмината натрия. При щелочной обработке наряду с алюминатом натрия в раствор частично извлекаются органические вещества. При обработке алюминатных растворов активным углем содержание органических веществ в них уменьшается на 20-30%. Добавка извести (в количестве 100-150% стехиометрического из расчета получения алюмината кальция) существенно улучшает структуру осадка и позволяет уменьшить его объем на 40%, хотя в целом гидроксид алюминия при выщелачивании плохо растворяется в извести, нежели при кислотном способе регенерации. С увеличением влажности осадка степень регенерации коагулян-

та возрастает, достигая 55% при влажности 99,9% и дозе извести 50-60% по отношению к твердой фазе. Щелочная регенерация не требует предварительного обезвоживания осадка и позволяет получить относительно чистый по содержанию органических примесей раствор коагулянта. Считается, что обработку ВПО с одновременной регенерацией коагулянта в виде щелочного раствора целесообразно применять на станциях водоподготовки, осуществляющих обработку воды с низким значением рН [4]. В данном случае для регенерации коагулянта в усредненный осадок вводится известковое молоко (рН 10,5-11,5). При этом происходит переход части гидроксида алюминия в раствор в виде гидроксоалюминатов кальция. Разделение реакционной массы на жидкую фракцию, представляющую раствор щелочного коагулянта с концентрацией до 400-480 мг/л по Al_2O_3 , и твердый осадок осуществляется гравитационным отстаиванием. Щелочной регенерированный коагулянт используется в сочетании с товарным сульфатом алюминия, доза которого может быть сокращена на 20-40%. Использование регенерированного коагулянта приводит к увеличению остаточных значений рН и щелочности обработанной воды, а также к снижению ее коррозионной активности, что позволяет исключить или снизить расход реагентов, необходимых для подщелачивания и стабилизации обработанной воды. Осадок (после регенерации из него части коагулянта) обладает по сравнению с исходным лучшими водоотдающими свойствами и может быть механически обезвожен традиционными методами.

Известны и другие способы регенерации коагулянта из ВПО – обработка хлором, жидкостной ионообмен [31]. В частности, разработан способ регенерации коагулянтов из ВПО с одновременным растворением и окислением его путем обработки газообразным хлором до достижения рН 2,5-3,2 [39]. Сущность способа состоит в использовании способности хлора при взаимодействии с водой образовывать кислоты (HCl и $HClO$), которые растворяют $Al(OH)_3$ и обеспечивают высокую эффективность процесса регенерации. Объем осадка уменьшается примерно в 10 раз; расход хлора равен 100-115% стехиометрического. Образующаяся хлорноватистая кислота обеспечивает обезцвечивание и обеззараживание полученного коагулянта, что дает возможность использовать его без дополнительной обработки. Количество вводимого хлора определяется концентрацией гидроксидов металлов в осадке и величиной рН полученного раствора. Выход коагулянта (раствора $AlCl_3$) составляет примерно 90%; он обладает высоким коагулирующим действием и может применяться самостоятельно или в сочетании с товарным коагулянтом.

В работе [23] предложена технологическая схема получения из ВПО гидроксосульфата алюминия, которая позволяет сократить объемы образующегося осадка до 50% и сэкономить до 40% сульфата алюминия в производственном процессе без дополнительных затрат. Применение данного коагулянта не сопровождается ухудшением бактериологических характеристик очищенной воды, а также не увеличивает концентрацию тяжелых металлов в очищенной воде выше ПДК. В процессе очистки речной воды коагулянтом $Al_2(SO_4)_3$ образуется ВПО, представляющий собой 1-2%-ный коллоидный раствор $Al(OH)_3$, для удаления которого из осадка предлагается использовать раствор сульфата алюминия [5]. Отмечается преимущество регенерированного коагулянта по скоростям осаждения и осветления цветных и маломутных вод по сравнению с обычным коагулянтом – сульфатом алюминия, особенно при низких температурах, а также улучшение качества очищаемой воды на 20% по всем технологическим показателям. Внедрение в технологию водочистки процесса регенерации коагулянта сульфатом алюминия позволяет вернуть в рабочий цикл до 80-90% использованного коагулянта и примерно на столько же сократить объемы образующегося осадка.

Как правило, регенерированные растворы по своей коагулирующей способности не уступают коммерческим коагулянтам, однако в большинстве случаев для них характерны повышенные значения ХПК и окисляемости [78]. Бактериальная обсемененность регенерированных растворов значительно меньшая, чем у сырого осадка, но общее количество бактерий достигает все же $2,5 \times 10^4$ /л, что необходимо учитывать при выборе доз дезинфицирующих растворов. По мере накопле-

ния примесей (соединений железа и марганца и других токсичных веществ) в растворах регенерированных коагулянтов дальнейшее их использование в замкнутом цикле водообработки становится невозможным. В этом случае осадок уже не может служить сырьем для производства коагулянта, и его удаляют в отвал. В связи с этим большой интерес представляет разработанный в университете шт. Мичиган (США) способ восстановления Al^{3+} путем экстракции из водопроводного осадка высокоселективным органическим растворителем, позволяющим восстановить до 99% алюминия [78].

Отмечается [66], что водопроводный осадок, образующийся в периоды работы станции очистки питьевых вод с повышенными дозами коагулянтов, следует складировать отдельно от осадков, образующихся при низких (дефицитных) дозах реагентов. Это обусловлено тем, что в перспективе они могут быть утилизированы с возвращением (рециклингом) ценного материала – алюминия.

ВПО (особенно после кислотной обработки) могут использоваться при очистке сточных вод в качестве коагулянтов [31, 51]. Введение водопроводного осадка в бытовые и промышленные сточные воды способствует повышению степени очистки в процессе отстаивания, а прирост активного ила сокращается вдвое.

Известно значительное количество работ (включая патенты и авторские свидетельства), в которых показана возможность эффективного использования ВПО в производстве строительных материалов (в керамическом и цементном производстве, в качестве наполнителя асфальтовых смесей и бетона, в производстве керамзита, огнеупорного кирпича, специальных бетонных составов, мастик, шпаклевок, при изготовлении ячеистых бесцементных бетонных стеновых блоков, защитных покрытий и др.). По мнению [14], использование таких технологий утилизации водопроводного осадка, как укладка его в дорожное полотно, использование в качестве составляющей бетона, применение при изготовлении цемента требует дополнительного обоснования, а в ряде случаев такие методы утилизации осадка сопровождаются ухудшением конечной продукции и небезупречны в экологическом плане. Тем не менее, как свидетельствуют результаты многих испытаний, строительные материалы, изготовленные с применением ВПО, обычно соответствуют требованиям стандартов и нормативной документации. Так, высокое содержание в ВПО гидроксидов алюминия, кальция и кремния определяет возможность его введения в цементную сырьевую смесь в качестве алюминатной добавки [69]. Например, в лабораторных и промышленных условиях на Балаклейском ЦШК выпущены опытные партии портландцемента с ведением в сырьевые смеси от 3 до 6% осадков водоисточников Кочетовской водопроводной станции (г. Харьков) вместо высокоалюминатных глин. Это позволило не только снизить затраты на сырье, но и увеличить прочность портландцемента (до 50 кг/см^2).

В работе [26] показана эффективность применения в качестве сырьевого материала для получения глиноземистых цементов осадка, образующегося при реагентной очистке природных вод на Северной водопроводной станции г. Москвы. Осадок отличается высоким содержанием алюминия, которое в расчете на его оксид достигает 30-40%, что удовлетворяет условию, поставленному при производстве глиноземистых цементов с применением отходов. В качестве дополнительных компонентов использовались известь-пушенка или мел, железосодержащие отходы; в отдельных случаях сырьевая смесь подшихтовывалась гидроксидом алюминия. Проведенные эксперименты показали, что глиноземистые цементы, полученные из сырьевой смеси, содержащей ВПО, характеризуются высокими прочностными свойствами, отсутствием резких спадов прочности и низким содержанием геленита (минерала группы мелилита, в природе образующегося за счет известняков при их взаимодействии с магмой основного состава; встречается в металлургических шлаках [72]), снижающего качество глиноземистых цементов.

Осадок водопроводных станций Молдовы рекомендуется использовать при производстве кирпича в качестве добавки к исходной шихте [31]. опыты показали, что оптимальной оказалась

шихта, содержащая 65-71% глины, 11-12% песка, 7-7,5% золя, 9-17% осадка. Опытные промышленные испытания, проведенные на Кишиневском заводе стройматериалов, подтвердили результаты лабораторных испытаний.

Водопроницаемый осадок, характеризующийся повышенным содержанием коллоидных гидроксидов (20-45%) и органических веществ, в качестве алюмосиликатного материала (опудривателя) может использоваться при получении керамзитового гравия, что снижает объемную массу и водопоглощение керамзита, расширяет интервал его вспучивания [69]. Для этой цели предварительно сгранулированный водопроницаемый осадок (размер гранул 10-20 мм) с влагосодержанием до 30% в количестве 1-3% вводили в обжиговую печь с сырьевыми гранулами керамзитового гравия. При обжиге гранулы ВПО, истираясь, образуют опудриватель, который обволакивает гранулы керамзита, в результате чего на их поверхности образуется прочный огнеупорный слой. Кроме того, испарение заключенной в осадке воды обеспечивает создание поровой среды в зоне термоподготовки гранул керамзита, благоприятствующей процессу их вспучивания.

В работе [33] показана возможность применения гидроксидного осадка, образующегося при осветлении речных вод Северного Кавказа и других регионов юга России, при изготовлении шпаклевок и мастик, заменяя им мел или меловую пасту, а также его использование в качестве вяжущего (до 50%) в кладочных растворах М 4; 10; 25; 50 и бетонных марках 50, 75 (до 30%) и при изготовлении гипсолита или сухой штукатурки (до 40-45% в составе вяжущего).

Перспективно применение ВПО в качестве защитного огнеупорного покрытия и при изготовлении антикоррозионных композиций. Так, заводом «Азовсталь» (г. Мариуполь) совместно с институтом «УкрНИИмет» (г. Харьков) были проведены промышленные испытания разработанного защитного покрытия на базе осадка Днепровской водопроницаемой станции на футеровке прибыльных подставок изложниц при разливке стали сверху [69]. Осадок влажностью 93-94% наносили пульверизатором на внутреннюю поверхность изложницы слоем толщиной 2-2,5 мм. Надставки с защитным покрытием выдерживали 12 наливов на 20-тонных слитках по сравнению с 10 наливами надставок на известных покрытиях. Стойкость футеровки при применении водопроницаемого осадка повышается на 20%. С целью защиты конструкций водопроницаемых станций от коррозии на основании проведенных лабораторных исследований и промышленных испытаний разработан способ защиты бетонных и металлических поверхностей с использованием осадка в составе антикоррозионных покрытий [69]. В процессе исследований 15% (масс.) эпоксидной смолы ЭД-6 нагревали до 50⁰С, затем вводили 38,5% ацетона, перемешивали и добавляли 45% обезвоженного водопроницаемого осадка, после перемешивания вводили 1,5% отвердителя (олигоамид 19). Композицию наносили на поверхность сооружений при температуре от +5⁰С до -8⁰С в два слоя толщиной 0,5-1,0 мм, с промежуточной выдержкой каждого слоя в течение суток. Композиции готовили при различных соотношениях наполнителя (осадка): 40-45% и соответственно остальных компонентов. Полученное покрытие характеризуется более высокими показателями защитных свойств по сравнению с известными материалами.

В работе [6] предложены технологии использования ВПО для получения экозащитного материала (с максимальной сорбционной емкостью по ионам тяжелым металлов в 1,8 мг/г и по нефтепродуктам в 0,3 мг/г), в производстве жаростойкого пенобетона, легкого конструкционного жаростойкого бетона, сухих теплоизоляционных смесей.

Водопроницаемый осадок рекомендуется использовать при технической рекультивации нарушенных земель [47] и при благоустройстве садово-парковых комплексов [68]. Достаточно давно установлено, что водопроницаемый осадок можно использовать для улучшения когезионных и агрохимических свойств почвы. Так, по оценке специалистов ВИУА им. Д.Н. Прянишникова, ВПО московских водопроницаемых станций по составу аналогичен сапропелям повышенной зольности и соответствует нормативным требованиям, предъявляемым к сапропелевым удобрениям [41, 49] (табл. 12).

Таблица 12. Химический состав и удобрительные свойства водопроводного осадка [49]

Показатель	РВС		ВВС		Норматив по ТУ 2191-022-00483470-93 (сапропелевые удобрения)
	оксихлорид алюминия	сульфат алюминия	оксихлорид алюминия	сульфат алюминия	
pH	7,5	7,4	6,8	6,9	> 5
Органическое вещество, %	30,3	27,5	52,5	46,8	> 50
Зола, %	69,7	72,5	47,5	53,2	< 50
Азот общий, %	0,9	1	0,7	0,9	> 1
Азот аммонийный, %	0,03	0,05	0,04	0,03	
Азот нитратный, мг/кг	Не обн	Следы	Не обн	Не обн	
Фосфор общий (P ₂ O ₅), %	1,4	1,3	1,4	1,1	
Фосфор подвижный (P ₂ O ₅), мг/кг	40	30	35	40	
Калий общий (K ₂ O), %	0,4	0,4	0,09	0,08	
Калий подвижный (K ₂ O), мг/кг	20	20	10	10	
C / N	16	14	36	26	
Кальций, %	2,2	1,7	0,8	0,9	< 12,2
Магний, %	0,5	0,4	0,1	0,2	
Алюминий, %	7,9	11,2	14,4	12,9	
Железо, %	2,18	1,9	0,26	0,65	< 7
Натрий, %	0,58	0,68	0,57	0,57	
Свинец, мг/кг	5	3	3,5	3	< 300 *
Мышьяк	8,4	6	2,7	2,4	
Ртуть, мг/кг	0,06	0,1	0,05	0,4	< 1 *
Кадмий, мг/кг	Не обн	0,1	0,1	0,1	< 3 *
Никель, мг/кг	23	20	11	12	< 500 *
Хром (Cr ³⁺), мг/кг	31	28	6	18	
Марганец, мг/кг	3380	2970	660	500	< 1500 **
Цинк, мг/кг	170	110	74	84	< 50 **
Медь, мг/кг	31	19	31	37	< 100 *
Молибден, мг/кг	1	1	1	1,5	< 20 *
Стронций, мг/кг	107	129	55	74	
Барий, мг/кг	402	373	192	158	
Титан, мг/кг	942	1109	391	397	
Ванадий, мг/кг	40	36	17	16	
Цирконий, мг/кг	77	77	53	47	
Кобальт, мг/кг	4	4	1	1	< 100 *
Литий, мг/кг	16	15	4	4	

* Первый класс пригодности.

** Второй класс пригодности.

Эксперименты по использованию осадка московского (Рублевская водопроводная станция) и волжского (Восточная водопроводная станция) водоисточников в качестве удобрений на дерново-подзолистых почвах показали, что ВПО увеличивает плодородие почвы и повышает урожайность зерновых культур в 1,4-1,7 раза, при этом присутствующий в водопроводном осадке гидроксид алюминия не оказывает существенного токсичного влияния на корневую систему растений (в данном случае ячменя) (табл. 13) и слабо влияет на агрохимические свойства дерново-подзолистых почв (табл. 14). Несмотря на высокие (до 438-875 кг/га) дозы азота, внесенного с водопроводным осадком, содержание его легкогидролизуемых форм по сравнению с контролем практически не изменилось, хотя вынос азота растениями возрос в 1,5-2 раза. Очень слабое влияние водопроводный осадок оказал на содержание подвижного калия в почве, где изменения его концентрации по сравнению с контролем составляли десятые доли мг/100 г почвы. Наибольшее влияние водопроводного осадка проявилось в повышении содержания подвижного фосфора, что с агрономической точки зрения представляет собой существенное повышение эффективного плодородия почвы, так как она из среднеобеспеченной по фосфору (5-10 мг/100 г) перешла в категорию повышенной обеспеченности (11-15 мг/100 г).

Таблица 13. Влияние доз и видов осадка водопроводных станций на химический состав ячменя [41]

Дозы и вид осадка	Содержание, %		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
В среднем по дозам осадка			
Без удобрений	1,7	0,84	0,47
10 т/га	1,9	0,81	0,57
50 т/га	1,9	0,84	0,57
100 т/га	2,1	0,77	0,54
В среднем по посадкам с использованием:			
Осадок, полученный с применением оксихлорида алюминия	2,0	0,83	0,59
Осадок, полученный с применением сульфата алюминия	1,9	0,78	0,52

Таблица 14. Влияние доз и видов осадка водопроводных станций на агрохимические свойства почвы [41]

Дозы и вид осадка	рН _{сол}	Гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г	P ₂ O ₅ K ₂ O N _{дг}			Гумус, %
			мг/100 г			
В среднем по дозам осадка						
Без удобрений	4,9	2,7	8,8	5,2	2,1	1,60
10 т/га	5,0	2,6	11,1	5,3	1,88	1,59
50 т/га	5,2	2,4	13,9	5,6	2,1	1,66
100 т/га	5,4	2,2	15,2	5,6	2,1	1,77
В среднем по посадкам с использованием:						
Осадок (оксихлорид алюминия)	5,2	2,4	13,9	5,5	1,8	1,70
Осадок (сульфат алюминия)	5,2	2,4	12,9	5,6	2,2	1,64

По основным агрохимическим показателям ВПО можно считать ценным органическим удобрением с благоприятной реакцией среды, значительным содержанием органического вещества, азота, фосфора, кальция и магния, но довольно низкой – калия [41]. Из других химических элементов обращает на себя внимание повышенное содержание алюминия (входящего в состав коагулянтов) и марганца. Расчеты баланса питательных веществ (отношение внесения их с осадком к выносу с урожаем) указывают на незначительную долю использования растениями азота, фосфора и калия удобрений. Это свидетельствует о слабой подвижности питательных веществ, содержащихся в осадке, медленном их переходе в доступные для растений формы, что может считаться положительным свойством ВПО, исключающим загрязнение среды указанными элементами при высоких дозах его внесения (при внесении невысоких доз осадка возникает необходимость дополнительного применения минеральных удобрений). При наличии в осадке повышенных количеств алюминия и марганца, которые в условиях кислой среды могут оказывать негативное влияние на растения, особое значение имеет кислотность удобряемой почвы. По сравнению с контрольным вариантом, где значения рН находились на уровне 4,7-4,9, доза осадка в 10 т/га повысила рН до 5, 50 т/га – до 5,2, 100 т/га – до 5,4. Соответственно гидролитическая кислотность снизилась с 2,7 мг-экв на контроле до 2,2 мг-экв на 100 г почвы при внесении максимальной дозы осадка. Данные тенденции указывают на снижение опасности проявления токсических свойств алюминия, марганца и других металлов, исключают необходимость периодического известкования почв. Авторы приходят к выводу о высокой удобрительной ценности водопроводного осадка, применение которого существенно повышает урожайность зерновых культур и плодородие почвы, а также не оказывает отрицательного влияния на экологическое состояние агроценозов [41].

Внесение осадка Краснопавловской водопроводной станции ПУВХ «Днепр» под посевы люцерны и ячменя позволило получить прибавка урожая ячменя на 12-15% и увеличение зеленой массы люцерны до 5 ц/га (по сравнению с действием органических удобрений) [69]. На опытно-экспериментальной базе Чугуево-Бабченского лесничества проводились исследования по влиянию внесения указанного осадка на рост древесных культур. Установлено интенсивное зеленое окрашивание листьев и отсутствие их пожелтения в период засухи. Кроме того, растения не поражались листовой ржавчиной, так как в ВПО присутствуют соли алюминия, способствующие повы-

шению устойчивости растений к грибковым заболеваниям. Осадок указанной станции использовался также вместо гипса на орошаемых угодьях, что привело к повышению урожайности на 10%.

Водопроводный осадок может также применяться вместо гексахлорциклогексана (ГХЦГХ) в качестве средства защиты многолетних бобовых растений от клубеньковых долгоносиков [69]. Эксперименты показали, что при использовании ВПО гибель личинок клубеньковых долгоносиков была в три раза выше по сравнению с результатами, полученными при применении ГХЦГ. Губительными для личинок являются входящие в состав осадка остаточный хлор и сероводород, выделяемые при разложении органической части, а также сульфиды, оксиды алюминия и железа. В результате использования ВПО для борьбы с личинками в полевых условиях получено увеличение прибавки урожая семенной люцерны в 2 раза.

Заключение

Окончательное решение по выбору методов обработки и утилизации водопроводного осадка должно приниматься только с учетом технико-экономического сравнения различных вариантов и их эколого-гигиенической значимости в каждом конкретном случае. В любом случае в целях внедрения уже разработанных методов утилизации необходимо ускорить строительство на водопроводных станциях цехов механического обезвоживания ВПО. Необходимо также дальнейшее развитие исследований по изучению особенностей образования и важнейших свойств водопроводного осадка на различных по своим природным и конструктивным особенностям водопроводных станциях, совершенствование известных и разработка новых способов его экономически и экологически оправданной утилизации, их внедрение в практику. Это позволит не только значительно улучшить работу водоочистных сооружений, но и будет способствовать охране окружающей среды и обеспечит получение значительного народнохозяйственного эффекта.

Литература

1. *Абрамов Н.Н.* Водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1982. – 440 с.
2. *Бабенков Е.Д.* Очистка воды коагулянтами. – М.: Наука, 1977. – 356 с.
3. *Бабенков Е.Д., Лимонова Т.П.* Уплотнение и утилизация осадков водопроводных станций // Химия и технология воды, 1981, № 4, с. 366-374.
4. *Беляева С.Д.* Обработка алюминийсодержащих осадков природных вод // Современные технологии и оборудование для обработки воды на водоочистных станциях. – М.: НИИКВОВ, 1997, с. 75-79.
5. *Бойко Е.В.* Утилизация осадка в технологии подготовки питьевой воды // Реактивы-2006: Мат-лы 19 Междунар. научн.-техн. конф. «Химические реактивы, реагенты и процессы малотоннажной химии», Уфа, 2-4 октября, 2006. Т. 1.- Уфа: Реактив, 2006, с. 178-180.
6. *Бухарина Д.Н.* Технологии ликвидации негативных воздействий осадков природных и сточных вод на окружающую среду: Автореф. дис.... канд. техн. наук. – СПб., 2006. – 19 с.
7. *Вейцер Ю.И., Минц Д.М.* Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки воды. – М.: Стройиздат, 1975. – 191 с.
8. *Волик Ю.И., Терновская О.И., Шевченко Л.Я.* Классификация осадков водопроводных станций Украины в зависимости от качества водоисточников // Основные направления развития водоснабжения, очистки природных вод и обработки осадков: Всес. научн.-техн. конф. Тез. докл. (Харьков, 14-16 мая 1986 г.). – Харьков, 1986, с. 136-140.

9. *Вольхин В.В., Пономарев Е.И., Золотавин В.Л.* Действие замораживания на свойства коагулянтов гидроокисей металлов // Коллоидный журнал, 1973, 35, № 1, с. 144-147.
10. *Гавря Н.А., Новосельцев Л.В., Шевченко Л.Я. и др.* Применение метода электрокоагуляции для интенсификации процессов сгущения и фильтрования водопроводных осадков // Химия и технология воды, 1981, № 6, с. 527-528.
11. *Гетманцев С.В.* Использование коагулянтов в водоподготовке Сибири // ВСТ: Водоснабжение и санитарная техника, 2004, № 10, с. 6-8.
12. *Гетманцев С.В.* Использование современных коагулянтов в практике российских водочистных предприятий // Водоснабжение и санитарная техника, 2006, № 4, с. 38-40.
13. *Гетманцев С.В., Линевиц С.Н., Казанок Л.С.* Коагуляционная водообработка на Таманском групповом водопроводе // ВСТ: Водоснабжение и санитарная техника, 2004, № 9, с. 30-32.
14. *Гироль Н.Н., Гироль А.Н., Якимчук Б.Н. и др.* Обработка технологических стоков и утилизация осадков станций очистки питьевых вод // <http://www.c-o-k.com.ua/content/view/764>.
15. *Драгинский В.Л., Алексеева Л.П.* Обработка промывных вод фильтров водоочистных станций // Водоснабжение и санитарная техника, 2005. № 8.
16. *Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Гетманцев С.В.* Коагуляция в технологии очистки природных вод. – М., 2005. – 576 с.
17. *Душкин С.С.* Современные методы очистки воды и пути их интенсификации // Коммунальное хозяйство городов, 2002, вып. 36, с. 214-219.
18. *Жмаков Г.Н., Хамидов М.Г.* Промышленный опыт совместной обработки водопроводных и канализационных осадков на очистных сооружениях канализации // [http://www.rusnauka.com/NTSB_2006/Stroitelstvo/7_zhmakov%20g.n.%20\(2\).doc.htm](http://www.rusnauka.com/NTSB_2006/Stroitelstvo/7_zhmakov%20g.n.%20(2).doc.htm).
19. *Жуков Н.Н.* Состояние и перспективы развития сооружений по обработке водопроводных и канализационных осадков в городах России // ВСТ: Водоснабжение и санитарная техника, 2002, № 12, ч. 1, с. 3-6.
20. *Жуков Н.Н., Кожин И.В., Драгинский В.Л.* Актуальные задачи в области обеспечения населения России питьевой водой // Современные технологии и оборудование для обработки воды на водоочистных станциях. – М.: НИИКВОВ, 1997, с. 3-12.
21. *Запольский А.К., Баран А.А.* Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды: Свойства. Получение. Применение. – Л.: Химия, 1987. – 208 с.
22. *Кашковский В.И., Зубенко А.В.* Опыт работы с новым высокоэффективным украинским коагулянт-флокулянт «Сизол» по очистке питьевых и сточных вод и обезвоживанию шламов // Матеріали науково-практичних конф. Міжнарод. водного форуму «Аква Україна-2003», Київ, 1-6 лист., 2003. – Київ, 2003, с. 200-201.
23. *Климов Е.С., Бойко Е.В.* Повторное использование коагулянта при очистке питьевой воды // Экология и промышленность России, 2004, октябрь, с. 18-21.
24. *Клячко В.А., Апельцин И.Э.* Очистка природных вод. – М.: Стройиздат, 1971. – 579 с.
25. Концепция федеральной целевой программы «Обеспечение населения России питьевой водой». Утв. постановлением Правительства РФ от 6 марта 1998 г. № 292.
26. *Королева Е.А., Павлинова И.И., Скородумов А.В., Стицей А.П.* Глиноземистые цементы на основе гидроксидных осадков как перспективный строительный материалы // <http://conf.bstu.ru/docs/0011/0187.doc>.
27. *Круглова З.Г., Багоцкий Ю.Б.* Исследование возможности регенерации солей алюминия из осадков отстойников Северной водопроводной станции Московского водопровода // Водоснабжение и санитарная техника, 1974, № 1, с. 3-5.
28. *Кульский Л.А.* Основы технологии кондиционирования воды. – Киев: Наукова думка, 1963. – 452 с.

29. *Кульский Л.А.* Очистка воды на основе классификации ее примесей. – Киев: УкрНИИНТИ, 1967. – 13 с.
30. *Кульский Л.А., Душкин С.С.* Магнитное поле и процессы водообработки. – Киев: Наукова думка, 1988. – 112 с.
31. *Лазарев В.В.* Обезвоживание и утилизация водопроводного осадка на водоочистных станциях Молдовы. – Кишинев: МолНИИТЭИ, 1992. – 45 с.
32. *Лузик В.С.* Гравитационно-механическое уплотнение активного ила // Наука и техника в городском хозяйстве, 1979, вып. 41, с. 56-60.
33. *Лысов В.А., Бутко А.В., Баринов М.Ю., Шуйский А.И.* Утилизация гидроксидных осадков водопроводов юга страны // Водоснабжение и санитарная техника, 1992, № 7, с. 9.
34. *Лысов В.А., Вильсон Е.В., Бутко А.В. и др.* Алумосиликатный флокулянт в процессах водоподготовки и водоочистки // ВСТ: Водоснабжение и санитарная техника, 2002. № 11, с. 5-6.
35. *Любарский В.М.* Осадки природных вод и методы их обработки. – М.: Стройиздат, 1980. – 128 с.
36. *Любарский В.М., Рыбников И.Н.* Обработка и утилизация осадка природных вод поверхностных водоисточников // Повышение качества питьевой воды: (Мат-лы семинара). – М., 1977, с. 125-128.
37. *Любарский В.М., Федоров А.И.* Механическое обезвоживание гидроксидных осадков природных вод на фильтр-прессах // Обработка осадков природных и сточных вод. – М.: АКХ им. К.Д. Панфилова, 1986, с. 70-79.
38. *Любарский В.М., Федоров А.И., Рыбников И.Н., Николаиди Н.П.* Механическая обработка водопроводных осадков // Водоснабжение и санитарная техника, 1992, № 4, с. 25-26.
39. *Маслов В.И., Мхеидзе Н.Д.* Обработка осадка водопроводных очистных сооружений // Вопросы гидравлики и водоснабжения. Сб. трудов МИСИ, 1980, № 174, с. 166-169.
40. *Матвеева Л.А., Соколова Е.И., Рождественская З.С.* Экспериментальное изучение выноса алюминия в зоне гипергенеза. – М.: Наука, 1975. – 168 с.
41. *Мерзлая Г.Е., Афанасьев Р.А.* Применение осадков водопроводных станций на удобрение // <http://www.agroxxi.ru/docs/051999/051999008.htm>.
42. *Нечаева Л.И.* Обезвоживание минеральных осадков природных вод в шламонакопителях: автореф. дис.... канд. техн. наук. – М., 1990. – 18 с.
43. *Николадзе Г.И.* Водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1979. – 238 с.
44. *Новиков М.Г.* Рециркуляция осадка – метод повышения эффективности работы водоочистных сооружений // Современные технологии и оборудование для обработки воды на водоочистных станциях. – М.: НИИКВОВ, 1997, с. 47-50.
45. Обработка и утилизация осадков водопроводных очистных станций // <http://eprints.ksame.kharkov.ua/872/8/4.doc>.
46. Оксихлорид алюминия для очистки питьевой воды // <http://www.we.ur.ru/bopak.htm>.
47. Опыт сертификации // <http://www.bifar.ru/main/sertif/opit.aspx>.
48. *Орлов В.А.* Очистка слабоминерализованных поверхностных вод на станциях водоподготовки во Франции // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 1991, № 3, с. 131-144.
49. *Пахомов А.Н., Штопоров В.Н., Данилович Д.А. и др.* Исследование и практическая реализация процесса обезвоживания осадков водопроводных станций // Водоснабжение и санитарная техника, 2004, № 12, с. 25-31.
50. *Павлов Г.Д., Прошин Э.А., Кузнецов О.Ю., Павлова Г.Т.* Уплотнение осадка при медленном механическом перемешивании // Тр. ВНИИ ВОДГЕО, 1977, № 62, с. 32-40.
51. *Писаренко В.Н.* Борьба с загрязнением водоемов выбросами водопроводных станций. Повторное использование воды и осадка. – Киев: ИПК Минжилкомхоза УССР, 1983. – 37 с.

52. Полимеры и абсорбенты для водоподготовки и водообработки // <http://www.stockhausen.ru/water/waterwork.html>.
53. Пупырев Е.И., Ищенко И.Г., Кузьмина Н.П. и др. Комплексный экологический мониторинг и система управления качеством воды реки Москвы // <http://ecology-mef.narod.ru/ecol/ecol7.htm>.
54. Скрыбин А.Ю. Разработка технологии обезвоживания водопроводных осадков, образованных при осветлении воды с применением флокулянта ВПК-402: Автореф. дис.... канд. техн. наук. – СПб., 2004. – 24 с.
55. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.
56. Сорокина Е.Б., Благодарная Г.И. Влияние активированного раствора коагулянта на гидравлическую крупность коагулируемой взвеси // Коммунальное хозяйство городов, 2000, вып. 23, с. 98-99.
57. Справочник по очистке природных и сточных вод. – М.: Высшая школа, 1994. – 226 с.
58. Сычёв А.В., Гетманцев С.В. Некоторые вопросы применения полиоксихлорида алюминия «АКВА-АУРАТ™30» // ВСТ: Водоснабжение и санитарная техника, 2004, № 9, с. 17-20, 40.
59. Сычёв А.В., Гетманцев С.В. Особенности применения полиоксихлорида алюминия «АКВА-АУРАТ™30» // Технология очистки воды «ТЕХНОВОД-2004». Мат-лы науч.-практ. конф., посв. 100-летию ЮРГТУ (НПИ), Новочеркасск, 5-8 окт., 2004. – Новочеркасск: Изд-во НПО «ТЕМП», 2004, с.78-83.
60. Сычев А.В., Гетманцев С.В. Некоторые вопросы применения полиоксихлорида алюминия «АКВА-АУРАТ™30» // ВСТ: Водоснабжение и санитарная техника, 2004, № 9, с. 17-20.
61. Титановый коагулянт // <http://www.titanfloc.com/ru/history.shtml>.
62. Тихонова Е.А., Усачев А.С. Использование органических коагулянтов для подготовки питьевой воды // ВСТ: Водоснабжение и санитарная техника, 2004, № 9, с. 33-34.
63. Хамидов М.Г. Опыт обработки водопроводных осадков на канализационных очистных сооружениях // Водоснабжение и санитарная техника, 2007, № 3, с. 41-44.
64. Хамидов М.Г. Технологическое взаимодействие коммунальных систем водоподготовки и канализации в процессах очистки воды и обработки осадков: Автореф. дис... канд. техн. наук. – М., 2007. – 25 с.
65. Химическая энциклопедия: В 5 т.: Т. 1. – М.: Сов. Энциклопедия, 1988. – 623 с.
66. Чуриков Ф. И., Снигирев С. В., Рученин А.А., Гетманцев С. В. Барьерная роль водоочистных сооружений в отношении взвешенных веществ природной воды // <http://www.waterclear.ru/articles2/barrier>.
67. Шевелев Ф.А., Орлов Г.А. Водоснабжение больших городов зарубежных стран. – М.: Стройиздат, 1987. – 351 с.
68. Шевченко Е.Г. Обработка промывных вод и осадков водопроводных сооружений. - Новочеркасск: НГТУ, 1993. – 44 с.
69. Шевченко Л. Предотвращение загрязнений поверхностных водоисточников отходами водопроводных станций // J. Environ. Engineering and Landscape Management, 2005, XIII, № 2, p. 97a-102a // <http://www.vtu.lt/english/editions>.
70. Шевченко Л.Я., Дрозд Г.Я., Зотов Н.И., Маслак В.Н. Осадки водопроводных станций: извлечение и утилизация. – СПб., 2004. – 195 с.
71. Шевцов М.Н., Носенко М.О. Особенности обработки осадков водопроводных сооружений г. Хабаровска // Водоснабжение и санитарная техника, 2007, № 6, ч. 2, с. 58-62.
72. Штрюбель Г., Циммер З.Х. Минералогический словарь: Пер. с нем. – М.: Недра, 1987. – 494 с.

73. Яковлев С.В., Ганин Б.А., Матросов А.С., Кольчугин Б.М. Совместная обработка осадков сточных вод и осадков, образующихся на водопроводных станциях. – М.: Стройиздат, 1990. – 104 с.
74. Albrecht A.E. Disposal of alum sludge // J. Amer. Water Works Assoc., 1972, 64, № 1, p. 46-52.
75. Gruninger R.M., Dyksen J.E. Success story times two // Water and Wastes Eng., 1979, 16, № 1, p. 25-30.
76. Pontius F.W. Are water treatment plant wastes hazardous? // J. Amer. Water Works Assoc., 1990, 82, № 12, p. 12, 14, 111.
77. Westfalia Separator Environmental Systems // <http://www.westfalia-separator-moscow.ru>.
78. Water plant waste treatment // Amer. City and County, 1979. 94, № 3, p. 85-88.